

mgr inż. Marta Rokosa

nr albumu: 21032

dyscyplina: Ogrodnictwo

**WPŁYW NIEDOBORU WODY NA STAN FIZJOLOGICZNY WYBRANYCH
GATUNKÓW Z RODZAJU *FRAGARIA* W UPRAWIE WAZONOWEJ,
HYDROPONICZNEJ I W KULTURACH *IN VITRO***

The influence of water deficit on physiological conditions of selected species of the genus
Fragaria in potted cultivation, hydroponics and *in vitro* cultures

praca doktorska

napisana pod kierunkiem:

dr hab. inż. Małgorzaty Mikiciuk, prof. ZUT

Katedra Bioinżynierii
Pracownia Fizjologii Roślin i Entomologii

Szczecin 2022

Cokolwiek robisz lub marzysz, że możesz to zrobić

- Zaczynij tylko.

W zdecydowaniu drzemie geniusz, siła i magia.

Zaczynij teraz.

Johann Wolfgang von Goethe „Faust”

Spis treści

Wykaz skrótów	7
Wstęp	9
1. Przegląd literatury	11
1.1. Problem suszy w ujęciu globalnym	11
1.2. Molekularne i fizjologiczne skutki suszy glebowej dla roślin	13
1.3. Charakterystyka rodzaju <i>Fragaria</i>	15
2. Materiał i metody badań.....	19
2.1. Materiał badawczy.....	19
2.2. Metody badawcze	20
2.2.1. Doświadczenia wazonowe	20
2.2.2. Doświadczenia hydroponiczne.....	25
2.2.3. Kultury <i>in vitro</i>	26
2.3. Metody statystyczne	28
2.4. Wykresy radarowe	28
2.5. Warunki meteorologiczne.....	29
3. Wyniki badań.....	31
3.1. Ocena zróżnicowania parametrów fizjologicznych, składu chemicznego i plonu pomiędzy genotypami oraz pomiędzy roślinami pozyskanymi różnymi metodami rozmnażania	31
3.1.1. Doświadczenia wazonowe	31
3.1.1.1. Porównanie genotypów z gatunku <i>Fragaria vesca</i>	31
3.1.1.2. Porównanie gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	39
3.1.1.3. Porównanie roślin pozyskanych z kultur <i>in vitro</i> i sadzonek zielnych.....	42
3.1.2. Doświadczenia hydroponiczne.....	45
3.1.2.1. Porównanie odmian z gatunku <i>Fragaria vesca</i>	45
3.1.2.2. Porównanie gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	47
3.1.3. Kultury <i>in vitro</i>	48
3.2. Ocena zróżnicowania parametrów fizjologicznych, składu chemicznego i plonu pomiędzy genotypami oraz pomiędzy roślinami pozyskanymi różnymi metodami rozmnażania, w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	49
3.2.1. Doświadczenia wazonowe	49
3.2.1.1. Porównanie odmian z gatunku <i>Fragaria vesca</i>	49
3.2.1.2. Porównanie gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	69
3.2.1.3. Porównanie roślin pozyskanych z kultur <i>in vitro</i> i sadzonek zielnych.....	80

3.2.2.	Doświadczenia hydroponiczne	94
3.2.2.1.	Porównanie odmian z gatunku <i>Fragaria vesca</i>	94
3.2.2.2.	Porównanie gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	98
3.2.3.	Kultury <i>in vitro</i>	101
4.	Dyskusja	105
5.	Wnioski	123
	Literatura	125
	Streszczenie	141
	Abstract	143
	Aneks	145
	Spis rycin	145
	Spis fotografii	147
	Spis tabel.....	147
	Tabele	155

Wykaz skrótów

ABA – kwas abscysynowy	N – <i>F. vesca</i> pozyskana ze stanowiska naturalnego
A _M (Area) – powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu „a”	PAR – promieniowanie fotosyntetycznie czynne
B – <i>F. vesca</i> cv. Baron von Solemacher	PEG – glikol polietylenowy
BAP – 6-benzynyloaminopuryna	P _n – intensywność asymilacji CO ₂ netto
CH – <i>F. chiloensis</i>	PRI – współczynnik odbicia fotochemicznego
C _i – podszparkowe stężenie CO ₂	qN – wygaszanie niefotochemiczne
cv. – <i>cultivar</i>	qP – wygaszanie fotochemiczne
DI – nawadnianie deficytowe	R – <i>F. vesca</i> cv. Rugia
Duch. – Pierre Étienne Simon Duchartre	ROS – reaktywne formy tlenu
DW – sucha masa	RWC – wskaźnik względnej zawartości wody w liściach
E – intensywność transpiracji	SOD – dysmutaza ponadtlenkowa
Ek – ekstynkcja przy określonej długości fali	SPAD – indeks zazielenienia liści
<i>F.</i> – <i>Fragaria</i>	subsp. – <i>subspecies</i>
F ₀ – fluorescencja początkowa (zerowa)	SW – masa po wysyceniu tkanek wodą
F _M – fluorescencja maksymalna	św. m. – świeża masa
FRAP – zdolność antyoksydacyjna	T _{FM} – czas wzrostu fluorescencji chlorofilu od początku pomiaru do osiągnięcia maksimum (F _M)
F _V – fluorescencja zmienna	V – ilość zużytego do ekstrakcji 80% acetonu
F _V /F _M – maksymalna, potencjalna efektywność reakcji fotochemicznej w PSII	VE – <i>F. vesca</i>
FW – świeża masa	VI – <i>F. virginiana</i>
g _s – przewodnictwo szparkowe H ₂ O	W – masa świeżej próbki
IAA – kwas indolilo-3-octowy	WUE – fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody
INV – <i>F. vesca</i> cv. ‘Rugia’ pochodząca z kultur <i>in vitro</i>	Y (Yield) – rzeczywista aktywność PSII
IPCC – Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu	ZIE – <i>F. vesca</i> cv. ‘Rugia’ pozyskane z sadzonek zielnych
L. – Carl von Linné	Ψ _p – potencjał ciśnienia
Mill. – Philip Miller	Ψ _w – potencjał wody
Moco – kofaktor molibdenianowy	
MS – pożywka o składzie mineralnym według Murashige i Skoog (1962)	

Wstęp

Deficyt wody jest jedną z istotnych kwestii zmian klimatycznych. Zjawiska suszy i pustoszenia niekorzystnie wpływają na światową podaż żywności i zdrowie ludzi, a nawet mogą stanowić zagrożenie dla globalnego pokoju (Hamdan i Shafar 2017, Ghaderi i in. 2015, Klamkowski i in. 2015b). Aż 30% powierzchni lądów na kuli ziemskiej jest dotkniętych deficytem opadów, a na 12% występują opady pokrywające jedynie 25% wody wyparowanej (Kacperska 2015).

Ze względu na fakt, iż zjawisko suszy nie jest pojedynczym, wyraźnym zdarzeniem, a często rezultatem wielu oddziałujących na siebie czynników, pojawiają się trudności w jej jednoznacznym zdefiniowaniu (Tokarczyk 2008). Terminem „suszy” określa się zarówno warunki meteorologiczne, jak i glebowe. Jest to cecha klimatu, która charakteryzuje się zauważalnym deficytem wody wpływającym niekorzystnie na środowisko i gospodarkę oraz stanowiącym zagrożenie dla ludzi (Kędziora i in. 2014, Łabędzki 2004).

Stres wywołany niedoborem wody jest poważnym problemem w rolnictwie, a odporność roślin na deficyt wody ma ogromne znaczenie gospodarcze (Shao i in. 2008). W klimacie Polski okresowo występują susze meteorologiczne (Łabędzki i Bąk 2015, Doroszewski i in. 2012), które bezpośrednio wpływają na zakłócenie bilansu wodnego danego terenu, powodując powstawanie susz glebowych obniżających produkcję roślinną (Boczoń i Wróbel 2015). W warunkach klimatu umiarkowanego susza jest jednym z ważniejszych czynników ograniczających plonowanie wielu roślin uprawnych (Kacperska 2015, Treder i in. 2011). Harasim (2006) podaje, że uprawy rolnicze w Polsce są szczególnie narażone na niedobór wody ze względu na stosunkowo duży udział gleb lekkich (ok. 61%) (za: Kędziora i in. 2014). Podstawowym problemem globalnym związanym z narastającym deficytem wody jest to, że zdecydowana większość roślin uprawnych to gatunki i odmiany będące wynikiem prac hodowlanych, które nie przewidywały tak gwałtownego zmniejszenia dostępności wody w glebie (Dietz i in. 2021).

Najważniejszym pod względem gospodarczym przedstawicielem rodzaju *Fragaria* jest truskawka (*Fragaria x ananassa* Duch.), której owoce należą do najczęściej spożywanych na świecie (Liu i in. 2007). Również w Polsce rośliny z rodzaju *Fragaria* posiadają duże znaczenie gospodarcze, a ich udział w produkcji owoców jagodowych wynosił w 2016 roku 34,0% (GUS 2017, Treder i in. 2011, Makosz 2007). W 2020 r. udział roślin z rodzaju *Fragaria* w ogólnej wielkości zbiorów owoców z krzewów owocowych i plantacji jagodowych wyniósł 26,0% (w województwie zachodniopomorskim – 8,1%) (GUS 2021). Poziomka pospolita (*Fragaria vesca* L.) uprawiana jest natomiast głównie na skalę amatorską. Mimo, iż poziomka nie jest komercyjnie uprawianym gatunkiem, to jej wartościowe cechy jako modelu badawczego były wielokrotnie podkreślane, głównie ze względu na krótki czas trwania jednego pokolenia, jasno określony cykl sezonowego

kwitnienia i wzrostu wegetatywnego oraz pojedyncze geny kontrolujące kwitnienie czy barwę owoców (Alsheikh i in. 2002).

Rośliny z rodzaju *Fragaria* charakteryzują się dużą wrażliwością na niedobór wody, co związane jest z ich dużą powierzchnią liści, wysoką zawartością wody w owocach oraz płytkim systemem korzeniowym (Klamkowski i in. 2015b, Caulet i in. 2014, Klamkowski i Treder 2011, Li i in. 2010, Yin i in. 2010, Jensen i in. 2009, Serrano i in. 1992). Pierwszym krokiem w pracach hodowlanych, których celem jest zwiększenie odporności roślin na niedobór wody, poprzez poprawę wydajności jej wykorzystania, jest określenie stopnia adaptacji różnych genotypów (odmian) do ograniczonej dostępności wody.

Pomimo wielu wysiłków poświęconych zrozumieniu reakcji roślin na stres wodny, przeprowadzono niewiele badań, w których jednocześnie porównywano cechy fizjologiczne genotypów (zarówno gatunków, jak i odmian), pozyskanych różnymi metodami rozmnażania, w zróżnicowanych typach doświadczeń. Celem przeprowadzonych badań było porównanie fizjologiczno-biochemicznej reakcji roślin z rodzaju *Fragaria* (*F. virginiana*, *F. chiloensis*, *F. vesca* – ‘Rugia’, ‘Baron von Solemacher’ oraz poziomki pozyskanej ze stanowiska naturalnego) na niedobór wody, w warunkach doświadczeń wazonowych, hydroponicznych oraz kultur *in vitro*. Uzyskane wyniki pozwoliły również określić przydatność wybranych metod fizjologiczno-biochemicznych do oceny stanu fizjologicznego roślin z rodzaju *Fragaria* w warunkach stresu wodnego. Przede wszystkim jednak otrzymane rezultaty badań mają wskazywać kierunek przyszłych prac biotechnologicznych ukierunkowanych na poprawę odporności roślin z rodzaju *Fragaria* na stres związany z deficytem wody.

Realizacja celu badań została wykonana poprzez weryfikację następujących hipotez badawczych:

- porównywane genotypy z rodzaju *Fragaria*, zarówno gatunki jak i odmiany, oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania różnią się między sobą pod względem cech fizjologicznych,
- niedobór wody w podłożu istotnie wpływa na cechy fizjologiczne roślin z rodzaju *Fragaria*,
- porównywane genotypy z rodzaju *Fragaria*, zarówno gatunki jak i odmiany, oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania, różnią się pomiędzy sobą pod względem fizjologicznej reakcji na deficyt wody w podłożu.

1. Przegląd literatury

1.1. Problem suszy w ujęciu globalnym

Susze są uznawane za katastrofę ekologiczną i przyciągają uwagę ekologów, hydrologów, meteorologów, geologów i naukowców zajmujących się rolnictwem. Susze występują praktycznie we wszystkich strefach klimatycznych i są głównie związane ze zmniejszeniem ilości opadów utrzymującym się w dłuższym okresie, takim jak pora roku lub rok. Znaczącą rolę w zwiększaniu częstotliwości występowania susz pełnią takie czynniki jak: temperatura, silne wiatry, niska wilgotność względna, czas i cechy charakterystyczne opadów, w tym rozkład dni deszczowych w okresach wegetacyjnych, intensywność i czas trwania deszczu (Mishra i Singh 2010).

Susza jest w literaturze przedstawiana jako skomplikowana i wielopłaszczyznowa klęska żywiołowa (Li i in. 2020, Yu i in. 2016), która może powodować ogromną ilość strat w rolnictwie, ekosystemach lądowych, środowisku i społeczeństwie (np. zmniejszenie wydajności rolnictwa, degradacja gleby, pustoszczenie, głód, epidemie) (Byakatonda i in. 2018, An i Hao 2017). W przeciwieństwie do innych rodzajów zagrożeń naturalnych (powódzie, trzęsienia ziemi), susza ma zdecydowanie większy zasięg oddziaływania i znacznie dłuższy czas trwania, przez co jej skutki są również większe niż w przypadku innych zagrożeń (Li i in. 2020). Dramatyczne globalne zmiany klimatu i środowiska mają znaczący wpływ na obieg wody w ekosystemach, co jest bezpośrednio związane z częstotliwością występowania ekstremalnych zdarzeń hydrologicznych, w tym właśnie susz (Ahmed i in. 2018, Zhao i in. 2018). Prognozuje się, że częstotliwość występowania susz na świecie wzrośnie najszybciej w środkowych szerokościach geograficznych (Dai 2011a, 2011b). Czynniki takie jak wzrost liczby ludności, rozwój rolnictwa, energetyki i sektorów przemysłowych będą przyczyniały się do przyspieszenia zmian klimatycznych, wiążących się z zintensyfikowaniem globalnych problemów niedoborów wody (Oloruntade i in. 2017, Masih i in. 2014).

Niewiele jest ekstremalnych wydarzeń, które są tak samo szkodliwe ekonomicznie i ekologicznie jak susza, która każdego roku dotyka miliony ludzi na świecie (Dai 2011a). Ciężkie skutki suszy mogą mieć poważny wpływ na rolnictwo, zasoby wodne, turystykę, ekosystemy i podstawowe dobra człowieka. W Stanach Zjednoczonych susza powoduje średnio 6-8 miliardów dolarów strat rocznie, przy czym w 1988 roku straty te sięgnęły aż 40 milionów dolarów (Dai 2011a). W wyniku katastrof spowodowanych suszą w latach 80. w Afryce zginęło ponad pół miliona ludzi (Kallis 2008).

Liczne badania wskazują, że częstotliwość zdarzeń ekstremalnych takich jak susze, wzrosła szczególnie w XX wieku (Hao i in. 2013, Dai 2012, Alexander i in. 2006, Frich i in. 2002, Trenberth 2001). W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat w USA, Afryce, Australii i Europie Południowej

pojawiały się poważne susze. Na przykład w Teksasie odnotowano dwie rekordowe susze w 2011 i 2006 r., które spowodowały straty ekonomiczne liczone w miliardach dolarów (Damberg i AghaKouchak 2014). Z dostępnych danych wynika, że w latach 1900-2013 odnotowano na świecie 642 przypadki suszy, które spowodowały ogromne straty dla ludzkości, wpływając na zgon około 12 milionów ludzi i dotykając w inny sposób kolejne 2 miliardy, przy czym całkowite szkody ekonomiczne wycenia się na 135 miliardów USD (Masih i in. 2014). Szacuje się, że problem niedoboru wody i występowania susz będzie do końca obecnego stulecia znacząco narastać (Dietz i in. 2021, Rugienius i in. 2021, Seleiman i in. 2021, Sun i in., 2020).

Susze wpływają zarówno na zasoby wód powierzchniowych, jak i podziemnych, i mogą prowadzić do zmniejszenia zaopatrzenia w wodę, nieurodzaju, zmniejszenia intensywności wytwarzania energii, zaburzeń funkcjonowania siedlisk lęgowych i zawieszenia działalności rekreacyjnej, a także mogą wpływać na wiele działań gospodarczych i społecznych. Susze mają również wpływ na jakość wody, ponieważ umiarkowane wahania klimatu zmieniają reżimy hydrologiczne, które mają znaczący wpływ na chemię jezior (Webster i in. 1996). Osady, materia organiczna i substancje odżywcze są transportowane do wód powierzchniowych poprzez spływy, które podczas susz są przerywane (Mishra i Singh 2010).

Przyczyny występowania susz są złożone, ponieważ zależą nie tylko od atmosfery, ale także od procesów hydrologicznych, które doprowadzają wodę do atmosfery. Podczas niekorzystnych warunków hydrologicznych pojawia się mechanizm pozytywnego sprzężenia zwrotnego, w którym zmniejszenie wilgotności w górnych warstwach gleby zmniejsza szybkość ewapotranspiracji, co z kolei zmniejsza wilgotność względną powietrza. Im mniejsza wilgotność względna, tym mniej prawdopodobne stają się opady deszczu, ponieważ trudniej jest osiągnąć warunki nasycenia dla regularnego systemu niskiego ciśnienia w całym regionie. Tylko zakłócenia, które przenoszą wystarczającą ilość wilgoci spoza suchego regionu, będą w stanie wytworzyć wystarczającą ilość opadów, aby zakończyć warunki suszy (Bravar i Kavvas 1991).

Warto w tym miejscu przytoczyć zależność pomiędzy suszą rolniczą a suszą meteorologiczną oraz suszą hydrologiczną. Zazwyczaj susze są klasyfikowane na podstawie rodzajów deficytów różnych składników hydrologicznych. Na przykład susze meteorologiczne oparte są na deficycie opadów, rolnicze – na deficytach wilgoci w glebie, a hydrologiczne – na deficytach przepływu strumienia (Huang i in. 2015). Według Misha i Singh (2010) susza rolnicza zwykle odnosi się do okresu, w którym wilgotność gleby spada, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie plonów. Spadek wilgotności gleby zależy od kilku czynników kształtowanych zarówno przez susze meteorologiczne, jak i hydrologiczne. Zmniejszenie wilgotności gleby zależy również od różnic między ewapotranspiracją faktyczną a potencjalną. Zapotrzebowanie roślin na wodę zależy od

panujących warunków pogodowych, cech biologicznych konkretnej rośliny, jej stadium wzrostu oraz właściwości fizycznych i biologicznych gleby. Zasadniczo susze meteorologiczne rozwijają się i kończą stosunkowo szybko, natomiast susza rolnicza występuje później. Biorąc pod uwagę dostępne dane dotyczące opadów na całym świecie, stosunkowo łatwo można ocenić występowanie susz meteorologicznych. Dlatego badanie czasu opóźnienia susz rolniczych w odpowiedzi na susze meteorologiczne zapewnia alternatywne podejście do monitorowania i prognoz susz rolniczych (Huang i in. 2015).

Niedawne badania wykazały, że wraz z globalnym ociepleniem częstotliwość występowania i czas trwania susz znacznie wzrosły, a wpływ suszy na zasoby naturalne ekosystemów staje się coraz bardziej dotkliwy (Zhao i in. 2018). Zrozumienie wpływu suszy na produktywność roślin może pomóc w pogłębieniu wiedzy na temat podatności środowiska naturalnego na zmiany klimatu (Vicente-Serrano i in. 2013). Obecnie brakuje ogólnej teorii opisującej wpływ suszy na ekosystemy lądowe z powodu zarówno ich złożoności, jak i ograniczonej wiedzy na temat sezonowego wpływu suszy na produktywność roślin (Zhao i in. 2018, Vicente-Serrano i in. 2013).

1.2. Molekularne i fizjologiczne skutki suszy glebowej dla roślin

Skutki suszy nie są natychmiastowe. Ze względu na fakt, iż zjawisko to narasta powoli, jego następstwa uwidaczniają się po dłuższym czasie. W początkowych fazach są mniej widoczne, a w środowisku rozciągają się na większe obszary (Łabędzki 2004).

Rośliny reagują na stres wywołany deficytem wody zmianami niemalże we wszystkich procesach (Klamkowski i Treder 2008, Klamkowski i in. 2006, Hsiao 1973). Objawia się to głównie poprzez zmniejszenie potencjału wody, aktywności wody komórkowej, ciśnienia turgorowego, zmianę objętości komórki, a tym samym zmianę stosunków między plazmolemą, tonoplastem, błonami organelli oraz ścianą komórkową. Dochodzi także do zwiększenia stężenia związków zawartych w cytoplazmie wskutek zmniejszenia jej objętości, a także do zmiany struktury i konformacji makromolekuł (Jakubowski 2009, Kacperska 2015). Reakcje fizjologiczne roślin na deficyt wody różnią się w zależności od nasilenia i od czasu trwania stresu wodnego (Shao i in. 2008). Łagodne i umiarkowane poziomy stresu będą miały odzwierciedlenie już w obniżeniu turgoru komórek. Poważniejsze niedobory bardziej będą wpływały na pozostałe zjawiska (Bewley i Krochko 1982).

Należy zaznaczyć, iż wiele reakcji roślin na stres spowodowany deficytem wody w początkowym etapie ich występowania jest całkowicie odwracalnych (Li i in. 2010). Procesy destrukcyjne następują po dłuższym czasie. Uszkodzenie spowodowane stresem niedoboru wody, za jakie można uznać zaburzenie homeostazy metabolicznej, jest bardzo często sygnałem do zmiany

ekspresji genów oraz reorganizacji szlaków metabolicznych. To natomiast bezpośrednio przyczynia się do lepszego przystosowania organizmu do panujących warunków środowiskowych, co nazywa się syndromem reakcji stresowej (Kacperska 2015). Stąd też wniosek, iż długotrwały, umiarkowany niedobór wody może powodować adaptację rośliny do takiego stanu.

Niewielkie zmniejszenie ciśnienia turgorowego jest czynnikiem bezpośrednio przyczyniającym się do zahamowania wzrostu komórek (Olszewska 2009). Wystarczy, iż będzie ono o 0,1 - 0,2 MPa mniejsze niż poziom ciśnienia, poniżej którego ściana komórkowa nie poddaje się odkształceniom plastycznym (Kacperska 2015, Blum 2011, Karthikeyan i in. 2007, Jaleel i in. 2007b). Ta zmniejszona plastyczność jest biochemicznie związana ze zmniejszeniem zakwaszenia ścian komórkowych i zwiększonym usieciowaniem przez substancje fenolowe, takie jak ligniny i mostki diferulowe (Blum 2011). Utrata turgoru może powodować wędnięcie liści, co skutkuje zmniejszeniem wychwytywania fotonów światła i tym samym ograniczeniem intensywności fotosyntezy. Jednak w tych warunkach potencjał ciśnienia (Ψ_p) ma większy wpływ na tempo fotosyntezy niż wędnięcie (Sarker i in. 2005). Obniżenie potencjału wody (Ψ_w) w tkance powoduje zmniejszenie intensywności fotosyntezy (szybciej niż wzrostu komórek) do czego również przyczynia się przemykanie aparatów szparkowych (Suchocka 2011, Olszewska 2009, Sarker i in. 2005, Kaiser i in. 1981).

Susza stymuluje syntezę i gromadzenie w roślinach kwasu abscysynowego (ABA) (Giannina i in. 1997) pochodzącego z karotenoidów w korzeniach. ABA ogranicza wzrost pędów i rozwarcie aparatów szparkowych w liściach, co przyczynia się do zmniejszenia zużycia węgla i energii przez te organy (Blum 2011). Intensyfikacji ulega natomiast transport asymilatów do korzeni znajdujących się w bardziej nawodnionej części gleby. Korzenie zatem rosną szybciej umożliwiając roślinie zaopatrzenie w wodę – stosunek masy pędów do korzeni ulega zmianie na korzyść tych drugich (Caulet i in. 2014, Shao i in. 2008, Rane i Maheshwari 2001, Morgan 1984). Zjawisko to jest metodą obrony roślin przed suszą. W czasie, gdy na pędach znajdują się owoce będące silnym akceptorem metabolitów, wzrost korzeni zachodzi mniej intensywnie (Kacperska 2015). Stąd też rośliny w czasie owocowania są bardziej wrażliwe na deficyt wody (Chmura i in. 2009). Umiarkowany stres wodny może doprowadzić do szybszego kiełkowania nasion oraz do zaburzeń fazy reprodukcji roślin. Natomiast dłuższa ekspozycja roślin na suszę może skutkować pojawieniem się kseromorfizmu. ABA dodatkowo powoduje również zmiany morfologiczne, takie jak zwiększenie zagęszczenia włosków na epidermie oraz wytwarzanie grubszych warstw korka (Kacperska 2015).

Długotrwały stres wodny wywołuje przewagę procesów katabolicznych nad anabolicznymi (Klamkowski i in. 2015), co doprowadza roślinę do zrzucenia liści, a tym samym do redukcji powierzchni transpiracyjnej i zużycia wody (Shao i in. 2008), przy czym początkowo zrzucane są

tylko starsze liście (Blum 2011). Zjawisko to zachodzi pod wpływem etylenu, który jest intensywnie syntetyzowany w komórkach poddanych działaniu silnego stresu (Lynch i Brown 1997).

Bardzo wrażliwe na niedobór wody są procesy metabolizmu białek oraz syntezy aminokwasów (Suchocka 2011, Olszewska 2003). Krótkotrwała susza może bowiem przyczynić się do znacznego zahamowania aktywności reduktazy azotanowej, co powoduje akumulację azotanów w tkankach rośliny (Kacperska 2015, Wyka 2010, Boguszevska 2007, Koszański i in. 2006, Huffaker i in. 1970). Obserwuje się także zintensyfikowaną syntezę aminokwasów (głównie proliny), które biorą udział w dostosowywaniu osmotycznym komórek (Sun i in. 2015, Kacperska 2015, Shao i in. 2008, Bertamini i in. 2006, Sarker i in. 2005). Zjawiska te mogą przyczynić się także do znacznego zahamowania syntezy wielu białek (Klamkowski i in. 2015a) i zwiększenia aktywności enzymów hydrolitycznych, np. proteaz (Kacperska 2015).

Deficyt wody bezpośrednio przyczyna się do zmniejszenia turgoru tkanek (Olszewska 2009). Rośliny bardziej odporne na ten rodzaj stresu aktywują mechanizmy osmoregulacji, pozwalające na regulację potencjału osmotycznego, co nazywa się dostosowywaniem osmotycznym (Jakubowski 2009, Shao i in. 2008). Polega ono na zintensyfikowanej syntezie i akumulacji w wakuoli osmolitów (substancji osmotycznie czynnych) mających na celu odzyskanie turgoru i zdolności komórki do wzrostu (Wyka 2010, Jakubowski 2009, Zhang i Archbold 1993a, Zhang i Archbold 1993b). Mechanizm ten pozwala dostosować się roślinom zarówno do warunków suszy, jak i do podwyższonego zasolenia (Kacperska 2015). Wykazano jednakże, iż wiek fizjologiczny liści ogranicza zdolność do osmotycznego dopasowania w przypadku bardzo młodych i bardzo starych liści, co związane jest z zamknięciem aparatów szparkowych i produkcją ABA (O’Neil 1983).

Efektom silnego stresu wodnego są zmiany strukturalne. Do uszkodzeń dochodzi w wyniku kurczenia się komórki powodującego zmianę oddziaływań pomiędzy ścianą a plazmolemą (Wyka 2010), w tym otwarcia kanałów jonowych zależnych od naprężenia. Silne odwodnienie komórek może być przyczyną liotropowej zmiany fazy błony (przejście zolu w żel) – zmian usytuowania i konformacji białek błonowych (Blum 2011). Może także powodować utlenianie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych błon komórkowych, powodując utratę ich półprzepuszczalnych właściwości. Ponadto, odwodnienie komórki może doprowadzić do zmian struktur trzeciorzędowych białek i dalej do nieodwracalnej denaturacji ich agregatów (Kacperska 2015). To natomiast może skutkować śmiercią rośliny (Shao i in. 2008).

1.3. Charakterystyka rodzaju *Fragaria*

Gatunki zaliczane do rodziny *Rosaceae*, której przedstawicielem jest między innymi rodzaj *Fragaria*, zajmują pod względem ekonomicznym trzecie miejsce wśród gatunków roślin

uprawianych w klimacie umiarkowanym (Oosumi i in. 2006). Światowa produkcja owoców najważniejszego przedstawiciela tego rodzaju – truskawki, wynosi ok. 4500000 ton rocznie, przy czym wiodącymi producentami w Europie są takie państwa jak: Hiszpania (ok. 290000 ton/rok), Niemcy (ok. 156000 ton/rok) oraz Polska (ok. 150000 ton/rok) (Sowik i in. 2015).

Pierwsze wzmianki o rodzaju *Fragaria* pojawiły się w literaturze przedlinnejskiej autorstwa C. Bauhina (1623). Linneusz (1738) opisał ten rodzaj jako monotypowy, zawierający *Fragaria flagellis reptan*. W 1753 r. opisał natomiast już trzy gatunki, w tym odmiany – kilka znanych obecnie gatunków europejskich zostało pominiętych, a jeden z nich należał do *Potentilla* (Staudt 1962). Jednak za najlepszy opis taksonomiczny rodzaju *Fragaria* uznano ten opracowany przez Duchesne w 1766 r. (Hummer i in. 2011).

Aktualnie w rodzaju *Fragaria* znajduje się dwadzieścia nazwanych gatunków występujących na stanowiskach naturalnych, trzy naturalnie występujące gatunki hybrydowe i dwa uprawne gatunki hybrydowe, istotne ze względów gospodarczych (Hummer i in. 2011, Biswas i in. 2009). Truskawki (*Fragaria x ananassa* Duch.) są wynikiem krzyżowania dwóch gatunków: *F. chiloensis* Duch. oraz *F. virginiana* Duch. (Gruchała i in. 2004), które zostały sprowadzone do Europy na przełomie XVI i XVII wieku (Nyman i Wallin 1992). Odmiany znacząco różnią się między sobą wielkością, barwą, smakiem i kształtem owoców, stopniem płodności, terminem dojrzewania, odpornością na choroby oraz składem chemicznym owoców.

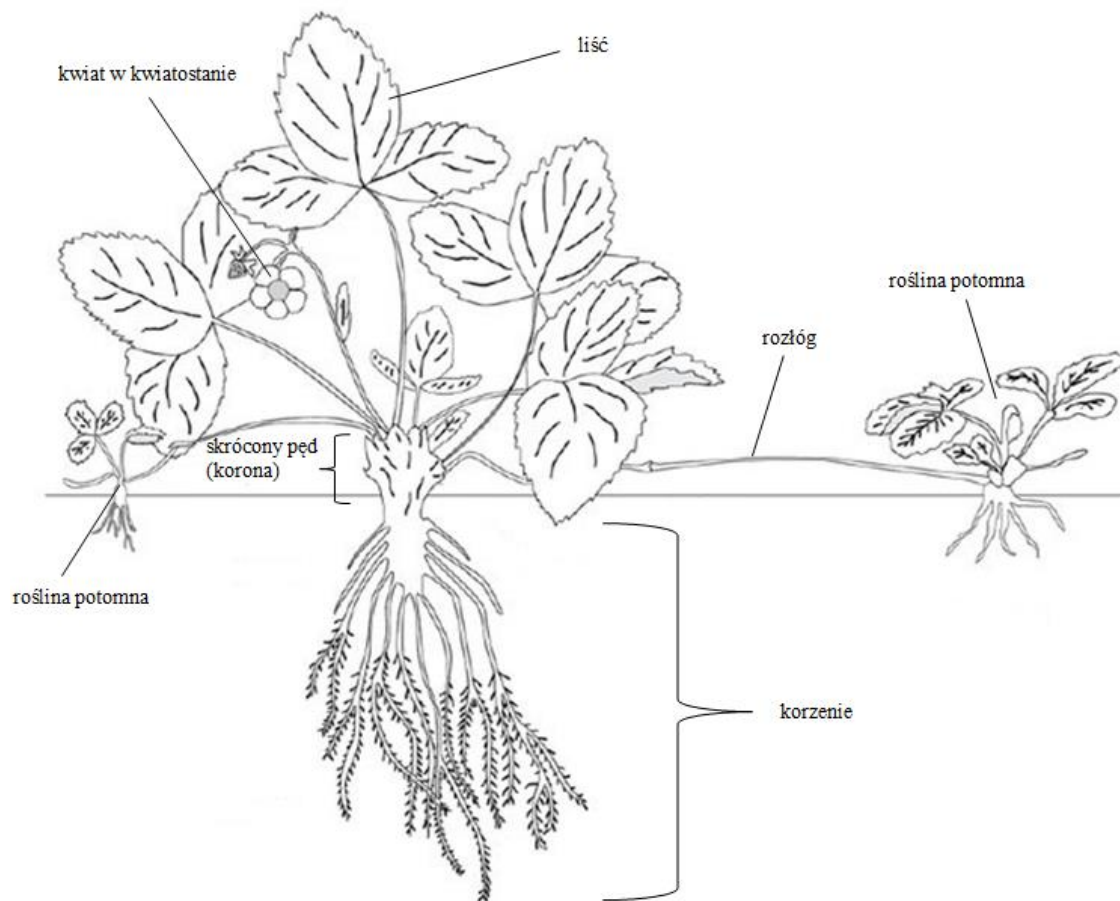
Truskawka (*Fragaria x ananassa* Duch.) jest heterozygotycznym oktoploidem ($2n = 8x = 56$) (Owen i Miller 1996), odmiennie od poziomki pospolitej (*Fragaria vesca* L), której wielkość genomu jest znacznie mniejsza, niewiele większa od genomu *Arabidopsis thaliana* (Oosumi i in. 2006). Przyczynił się do tego fakt, iż poziomka w odróżnieniu od truskawki jest diploidem ($2n=2x=14$) (El Monsouri i in. 1996).

Rośliny z rodzaju *Fragaria* to byliny, morfologicznie określane jako rośliny rozetowe. Osią roślin jest krótka łodyga, nazywana koroną bądź pędem skróconym (ryc. 1). Od korony odrastają korzenie, a w części nadziemnej – liście, pędy kwiatostanowe, rozłogi (w przypadku odmian rozłogowych) oraz nowe skrócone pędy boczne. Dookoła korony w sposób równomierny wyrastają zazwyczaj trójlistkowe liście (wyjątkiem są np. odmiany truskawek Gorella, Syriusz lub Elsanta, które mogą wytworzyć liście cztero- lub pięciolistkowe), w kątach których zawiązują się pąki boczne przekształcające się w zależności od fazy rozwojowej w rozłogi, korony boczne bądź kwiatostany. Zarówno korona główna, jak i korony boczne zakończone są pąkami wierzchołkowymi (Żurawicz 2014).

Truskawka posiada płytki, wiązkowy systemy korzeniowy, co powoduje jej dużą wrażliwość na niedobór lub nadmiar wody oraz wysokie stężenie soli w glebie. Na lekkich glebach piaszczystych

korzenie wnikają w glebę na głębokość około 30 cm, przy czym połowa korzeni znajduje się poniżej 15 cm (Trejo-Téllez i Gómez-Merino 2014).

Kwiaty roślin z rodzaju *Fragaria* zebrane są w kwiatostany (wierzchotki) znajdujące się na osobnych pędach. Składają się z kilku rzędów kwiatów, gdzie kwiaty pierwszego rzędu są największe i znajdują się w dolnej jego części oraz zakwitają w pierwszej kolejności. Większość gatunków i odmian z rodzaju *Fragaria* wytwarza kwiaty obupłciowe (Żurawicz 2005).



Ryc. 1. Budowa morfologiczna roślin z rodzaju *Fragaria*

Źródło: Trejo-Téllez i Gómez-Merino 2014 (zmodyfikowane)

Owoce roślin z rodzaju *Fragaria* powstają z pojedynczego kwiatu posiadającego wiele odrębnych słupków. Składają się z mięsistego i silnie rozrośniętego dna kwiatowego, w którym osadzone są suche orzeszki (Liston i in. 2014). Przez konsumentów na całym świecie uważane są za niezwykle atrakcyjne pod względem smaku (Debnath 2009). Cenione są ze względu na zawartość niskokalorycznych węglowodanów. Wykazują działanie prozdrowotne, są bowiem bogatym źródłem naturalnych antyoksydantów takich jak: karotenoidy, witaminy (witamina C), fenole (kwas elagowy), flawonoidy, dietetyczny glutation i endogenne metabolity (Debnath 2009, Skupień i Oszmiański 2004) Owoce truskawki zawierają witaminę C w ilości przewyższającej pomarańcze czy cytryny

(Bhatt i Dhar 2000). Poziomka (*Fragaria vesca* L.), nazywana także dziką truskawką, posiada właściwości przeczyszczające, moczopędne, ściągające, przeciwbiegunkowe, antyseptyczne oraz jest stosowana jako środek antyreumatyczny w medycynie ludowej (Lamari i in. 2008). Ekstrakty z liści są stosowane w zaburzeniach układu pokarmowego i chorobach skóry, a ekstrakt z owoców w zapaleniu śluzówki jelita (Yildirim i Turker 2014). Mimo, iż poziomka nie jest komercyjnie uprawianym gatunkiem z rodzaju *Fragaria*, jej wartościowe cechy jako modelu badawczego były wielokrotnie podkreślane (Alsheikh i in. 2002).

Gatunki z rodzaju *Fragaria* uznawane są za wymagające pod względem zaopatrzenia w wodę, jednakże wielu autorów zwraca uwagę na międzygatunkowe różnice w tolerancji na suszę (Ariza i in. 2021, Rugienius i in. 2021, Martínez-Ferri i in. 2016, Klamkowski i in. 2015b, Grant i in. 2012a, Grant i in. 2012b, Klamkowski i Treder 2011, Ghaderi i Siosemardeh 2011, Grant i in. 2010, Giné-Bordonaba i Terry 2010, Klamkowski i in. 2013, Klamkowski i Treder 2008, Koszański i in. 2006, Pirker i in. 2002, VunDerZunden i Cameron 1996, Zhang i Archbold 1993a). Podaje się, że najbardziej odpornym na niedobór wody gatunkiem z tego rodzaju jest *Fragaria chiloensis* (Grant i in. 2012b, McDonald i Archbold 1998, VunDerZunden i Cameron 1996, Zhang i Archbold 1993a, Zhang i Archbold 1993b). Badania Zhang i Archbold (1993a) dostarczyły dowodów na większą regulację osmotyczną w odpowiedzi na stres niedoboru wody u *F. chiloensis* niż u *F. virginiana* Duch., co stanowi potencjalne źródło materiału roślinnego do programów hodowlanych, których celem jest zwiększenie tolerancji tych roślin na suszę.

Przeprowadzono również wiele badań poddających ocenie wrażliwość na suszę odmian w obrębie gatunku *Fragaria x ananassa* Duch., uzyskując pomiędzy nimi znaczące różnice (Weber i in. 2016, Klamkowski i in. 2015b, Sun i in. 2015, Caulet i in. 2014, Ghaderi i Siosemardeh 2011, Klamkowski i Treder 2008, Savé i in. 1993, Serrano i in. 1992). Według Savé i in. (1993) odmiana Chandler jest jedną z bardziej odpornych na suszę. Odmienne wnioski otrzymali Serrano i in. (1992), którzy wskazali na fakt, iż odmiana ta jest bardzo wrażliwa na niedobór wody. Nowsze badania sugerują, że to odmiana Elsanta jest najbardziej odporna na stres wywołany deficytem wody (Klamkowski i in. 2015b, Klamkowski i Treder 2008).

2. Materiał i metody badań

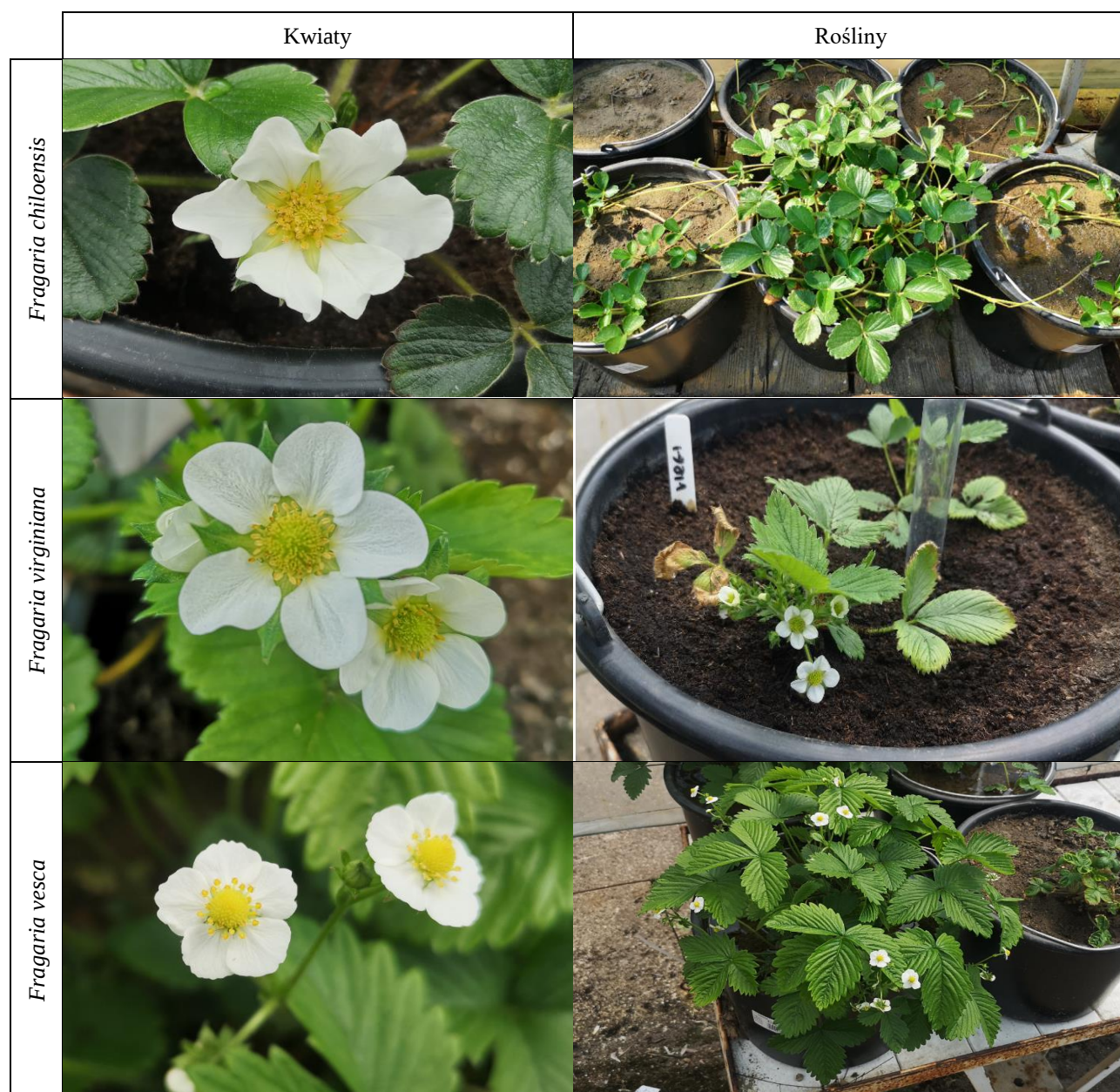
2.1. Materiał badawczy

Do badań wykorzystano rośliny z rodzaju *Fragaria*: *Fragaria virginiana* Mill., *Fragaria chiloensis* (L.) Mill. oraz *Fragaria vesca* L. uzyskane z nasion pochodzących z the National Clonal Germplasm Repository (NCGR) of the U.S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service (USDA ARS) w Corvallis w Oregonie oraz dwie odmiany uprawne *F. vesca*: Rugia oraz Baron von Solemacher (sadzonki: „TOP-PLANT”, Szczecin, Polska; nasiona: „W.Legutko”, Jutrosin, Polska), a także poziomkę pozyskaną z naturalnego stanowiska – obszar leśny na terenie wsi Ciemnik k. Ińska (53°23'N, 15°34'E; 105m n.p.m.).

‘Rugia’ jest odmiana plenną, dorastającą do 20 cm wysokości, o zwartym i wzniesionym pokroju oraz niewytwarzającą rozłogów. Owocuje od czerwca do pierwszych mrozów. Tworzy owoce średniej wielkości o stożkowatym kształcie, wydłużone, ostro zakończone, o intensywnym zapachu. Skórka owoców przyjmuje barwę od intensywnie czerwonej do ciemnoczerwonej, przy czym na wierzchołku jest zazwyczaj żółto-zielona. Miąższ owoców ma kremową konsystencję, zazwyczaj jest zwarty, soczysty i aromatyczny. Smak owoców jest zbliżony do smaku poziomek leśnych. Orzeszki są koloru żółtego i czerwonego (Żurawicz 2005).

‘Baron von Solemacher’ (lub ‘Baron Solemacher’) jest odmianą bardzo plenną, dorastającą do 20 cm wysokości, o mniejszych i jaśniejszych liściach niż ‘Rugia’. Owocuje od początku czerwca do końca października. Wytwarza duże owoce, o jajowatym bądź sercowatym kształcie i barwie od białżółtej do ciemnoczerwonej. Miąższ owoców jest soczysty i aromatyczny. Orzeszki są koloru jasnobrązowego. Odmiana ta jest mniej mrozoodporna i bardziej podatna na choroby niż ‘Rugia’ (Żurawicz 2005).

Gatunki *F. chiloensis* i *F. virginiana*, to oktoploidy, których krzyżowanie doprowadziło do powstania truskawki uprawnej, *Fragaria* x *ananassa* subsp. *ananassa*. *F. virginiana* i *F. vesca* są roślinami jednopiennymi, natomiast *F. chiloensis* jest rośliną rozdzielнопłciową (Liston i in. 2014). *F. virginiana* charakteryzuje się cechami morfologicznymi zbliżonymi do *F. vesca* (fot. 1). Wytwarza jednak liście o większej od niej powierzchni. Wykształca również rozłogi. *F. chiloensis* charakteryzuje się mniejszą powierzchnią liści niż *F. vesca* i *F. virginiana*, jednakże tworzy stosunkowo grube ogonki liściowe oraz mięsiste i ciemnozielone liście pokryte substancją woskową.



Fot. 1. Rośliny z rodzaju *Fragaria* w badaniach własnych

Uwaga: Rośliny *F. virginiana* przedstawiono w początkowej fazie wzrostu, a *F. chiloensis* i *F. vesca* – w pełni sezonu wegetacyjnego.

Źródło: fotografie własne.

2.2. Metody badawcze

2.2.1. Doświadczenia wazonowe

Przeprowadzono trzy niezależne doświadczenia wazonowe, w układzie kompletnej randomizacji, w 15 powtórzeniach (powtórzenie stanowiła 1 roślina), zlokalizowane na terenie hali wegetacyjnej Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (53°25'N, 14°32'E; 25m n.p.m.).

-
- | | |
|-----------------|---|
| Doświadczenie 1 | (dwuletnie, przeprowadzone w latach 2018-2019), gdzie materiałem badawczym były sadzonki zielne odmian <i>F. vesca</i> : Rugia, Baron von Solemacher oraz rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego; |
| Doświadczenie 2 | (jednoroczne, przeprowadzone w 2020 roku), gdzie materiałem badawczym były sadzonki zielne gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> : <i>F. vesca</i> , <i>F. chiloensis</i> oraz <i>F. virginiana</i> ; |
| Doświadczenie 3 | (jednoroczne, przeprowadzone w 2020 roku), gdzie materiałem badawczym były sadzonki <i>F. vesca</i> 'Rugia' wyhodowane w kulturach <i>in vitro</i> i następnie zaaklimatyzowane do warunków szklarniowych oraz pozyskane z sadzonek zielnych i rosnące w glebie przez cały okres wegetacji. |

Proces aklimatyzacji roślin wyhodowanych metodą *in vitro* do warunków zewnętrznych rozpoczęto w styczniu 2019 r. Był on prowadzony w szklarni, w której temperaturę utrzymywano na poziomie 20-25°C. Dobrze ukorzenione w kulturach *in vitro* rośliny posadzono do wielodoniczek wypełnionych podłożem ogrodniczym (Ziemia Kwiatowa, Athena, Verve). Celem utrzymania wysokiej wilgotności powietrza (ok. 80%) rośliny przykryto foliową osłoną. Po upływie tygodnia, przez siedem dób, osłonę zdejmowano na 1-2 godziny dziennie. Przez następne 7 dób wietrzenie stopniowo zwiększano do 7 godzin. W kolejnym tygodniu osłonę pozostawiano jedynie na noc. Po tym czasie uzyskano pełną aklimatyzację roślin do warunków zewnętrznych.

W trakcie trwania doświadczeń wazonowych potencjał wody utrzymywany był na poziomie -10 kPa w warunkach kontrolnych (optymalne uwilgotnienie gleby) oraz -30 kPa w warunkach deficytu wody w podłożu. Potrzebę nawadniania roślin określano na podstawie wskazań kontaktowych tensjometrów glebowych umieszczonych w wazonach poszczególnych wariantów doświadczalnych, na głębokości 20 cm. Nawadnianie przeprowadzono przy pomocy linii kroplującej.

W okresie wegetacyjnym roślin (od maja do października) wazon-y ustawione były w zadaszonej części hali wegetacyjnej. W przypadku doświadczenia dwuletniego, w okresie zimy, przetrzymywano je w nieogrzewanej szklarni.

W eksperymentach wykorzystano pojemniki wykonane z tworzywa sztucznego o pojemności 10 dm³, wypełnione podłożem, które stanowiła mieszanina gleby, posiadającej skład mechaniczny gliny piaszczystej pylastej, pobranej z poziomu ornopróchnicznego (0-30 cm) gleby w Rolniczej Stacji Doświadczalnej ZUT w Szczecinie, w miejscowości Lipnik, oraz piasku, w proporcji objętościowej 1:1.

W celu adaptacji do nowych warunków rośliny posadzono rok przed rozpoczęciem pomiarów w ilości 3 szt./wazon, w następujących terminach:

- 16.05.2017 r. – doświadczenie 1,

- 29.04.2019 r. – doświadczenie 2,
- 09.05.2019 r. – doświadczenie 3.

Nawożenie przeprowadzono dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym, przed posadzeniem roślin, w trakcie napełniania wazonów oraz po zakończeniu owocowania roślin. W drugim roku badań natomiast wczesną wiosną, przed ruszeniem wegetacji oraz po zakończeniu owocowania. Zastosowano wieloskładnikowy nawóz dedykowany truskawce, który jak podaje producent (Agrecol Sp. z o. o.) zawiera: 15,0% N (6,5% N azotanowego, 8,5% N amonowego), 6,0% P_2O_5 (rozpuszczalnego w obojętnym roztworze cytrynianu amonu i w wodzie, w tym 5,2% P_2O_5 rozpuszczalnego w wodzie), 11,0% K_2O rozpuszczalnego w wodzie, 0,04% B całkowitego, 0,1% Cu całkowitej, 0,2% Fe całkowitego, 0,17% Mn całkowitego, 0,01% Mo całkowitego oraz 0,035% Zn całkowitego. Nawóz każdorazowo zastosowano w ilości 4 g/wazon.



Fot. 2. Od góry: rośliny w pierwszym roku doświadczenia oraz rośliny w ostatnim roku doświadczenia
Źródło: fotografie własne.

W trakcie sezonu wegetacyjnego systematycznie prowadzono obserwacje morfologiczne roślin i usuwano pojawiające się rozłogi. Przeprowadzano także lustrację roślin na obecność szkodników, a po przekroczeniu progu szkodliwości wykonywano zabiegi chemiczne:

- Decis Mega 50 EW, przeciwko mszycom (*Aphidoidea*) – $0,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$,

-
- Mospilan 20 SP, przeciwko wciornastkom (*Thysanoptera*), mszycom (*Aphidoidea*) i mączlikowi szklarniowemu (*Trialeurodes vaporariorum*) – 4g w 10 dm³ wody, 3 dm³ · 100 m⁻².

W każdym roku badań, trzykrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego roślin, w drugiej połowie lipca, sierpnia i września wykonano następujące pomiary i analizy:

- zawartości barwników asymilacyjnych w liściach (chlorofilu „a”, chlorofilu „b”, chlorofilu całkowitego, karotenoidów)¹,
- wskaźnika względnej zawartości wody w liściach RWC,
- parametrów wymiany gazowej roślin¹ (intensywności asymilacji CO₂ netto (P_n), intensywności transpiracji H₂O (E), przewodnictwa szparkowego H₂O (g_s), podszparkowego stężenia CO₂ (C_i) (przy pomocy przenośnego analizatora gazu typu TPS-2 z kamerą PLC-4 (PP Systems, USA); na podstawie ilorazu P_n/E obliczono fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE),
- parametrów fluorescencji chlorofilu¹ „a”: fluorescencji początkowej (zerowej), wskaźnika strat energii wzbudzenia w antenach energetycznych (F₀), fluorescencji maksymalnej, po redukcji akceptorów w PS II i po adaptacji ciemniowej (F_M), fluorescencji zmiennej, wyznaczonej po adaptacji ciemniowej (parametr uzależniony od maksymalnej wydajności kwantowej PS II) (F_V = F_M – F₀), maksymalnej, potencjalnej efektywności reakcji fotochemicznej w PS II, wyznaczonej po adaptacji ciemniowej, po redukcji akceptorów w PS II (F_V / F_M), czasu wzrostu fluorescencji chlorofilu od początku pomiaru do osiągnięcia maksimum (T_{FM}), powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu „a” między punktami F₀ i F_M proporcjonalnej do wielkości puli zredukowanych plastochinonowych akceptorów elektronów w PSII (A_M(Area)),
- zawartości wolnej proliny w liściach.

W każdym z sezonów wegetacyjnych określono także wagowo sumaryczny plon owoców poziomki, który wyrażono w g/wazon oraz masę pojedynczego owocu.

Po zakończeniu każdego doświadczenia określono wagowo świeżą i suchą masę systemu korzeniowego oraz określono zawartość K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Mo i stosunek kationów jedno- do dwuwartościowych w liściach, korzeniach oraz koronach roślin.

Określenie zawartości barwników asymilacyjnych wykonywano metodą Arnona i in. (1956) w modyfikacji Lichtenthalera i Wellburna (1983) dla chlorofilu „a”, „b” i chlorofilu całkowitego, oraz metodą Hagera i Mayera-Berthenratha (1966) dla karotenoidów. Materiał (po trzy w pełni

¹ Pomiary parametrów fluorescencji, wymiany gazowej oraz zawartości barwników asymilacyjnych dokonywano na tych samych liściach i w tych samych terminach.

wykształcone, losowo wybrane liście) pobierano z każdego wariantu doświadczalnego, które następnie dzielono na mniejsze fragmenty. Z przygotowanego materiału pobierano po 0,05 g świeżej masy do ekstrakcji barwników. Próbkę rozcierano w moździerzu z 10 cm³ 80% acetonu. Roztwory umieszczano w probówkach, a następnie przenoszono je do wirówki celem oddzielenia fazy ciekłej od stałej. Wirowanie prowadzono przez 10 minut przy 1500 obr. min⁻¹. Gęstość optyczną próbek określono za pomocą spektrofotometru Shimadzu UV-1280 (Japan). Oznaczenia wykonano przy długościach fal: 440, 645 i 663 nm. Zawartość barwników obliczono wg wzorów:

- $\mu\text{g chlorofilu „a”} \cdot \text{g}^{-1} \text{ św. m. } [12,7 (\text{Ek } 663) - 2,69 (\text{Ek } 645)] \cdot V/W;$
- $\mu\text{g chlorofilu „b”} \cdot \text{g}^{-1} \text{ św. m. } [22,9 (\text{Ek } 645) - 4,68 (\text{Ek } 663)] \cdot V/W;$
- $\mu\text{g chlorofilu całkowitego} \cdot \text{g}^{-1} \text{ św. m. } [20,2 (\text{Ek } 645) + 8,02 (\text{Ek } 663)] \cdot V/W;$
- $\mu\text{g karotenoidów} \cdot \text{g}^{-1} \text{ św. m. } [4,16 (\text{Ek } 440) - 0,89 (\text{Ek } 663)] \cdot V/W;$

gdzie:

Ek – ekstynkcyjność przy określonej długości fali;

V – ilość zużytego do ekstrakcji 80% acetonu;

W – masa świeżej próbki w gramach.

Wskaźnik względnej zawartości wody w liściach (RWC) określono według Yamasaki i Dillenburg (1999). Niezbędne dane uzyskano po zważeniu na wadze analitycznej trzech, losowo wybranych z każdego wariantu doświadczalnego, w pełni wyrosniętych liści poziomki. Świeżą masę liści określono bezpośrednio po zbiorze, masę pełnego wysycenia wodą po 24-godzinnym moczeniu w wodzie destylowanej, zaś suchą masę po wysuszeniu liści do stałej masy w temperaturze 105°C w suszarce. Z uzyskanych danych obliczono RWC wg wzoru:

$$\text{RWC (\%)} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{SW} - \text{DW}) \cdot 100\%$$

gdzie:

FW – świeża masa;

DW – sucha masa;

SW – masa po wysyceniu tkanek wodą.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a” określono przy użyciu spektrofluorometru Handy PEA (Hansatech Ltd. Kings Lynn, UK), w oparciu o standardową procedurę aparatu (3 x 650 nm LED, maksymalne natężenie światła aktywnego 3000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Pomiar odbywał się w każdym wariantcie na 15 losowo wybranych, w pełni wyrosniętych liściach poziomki (powtórzeniem był pomiar na jednym liście), w miejscu uprzednio zaciemnionym na 20 minut, przy użyciu fabrycznych klipsów (powierzchnia naświetlania wynosiła 4 mm). Zmierzono takie parametry jak: F_0 , F_M , F_V , F_V / F_M , T_{FM} [ms] oraz A_M (Area) [bms].

Zawartość wolnej proliny w tkance roślinnej oznaczono metodą Batesa i in. (1973), polegającą na pomiarze absorpcji wyekstrahowanego toluenem barwnego kompleksu proliny i kwaśnej ninhydryny, przy długości fali $\lambda=520$ nm. Tkanekę roślinną (ok. 0,5 g) homogenizowano z 10 cm³ 3% kwasu sulfosalicylowego. Zawartość proliny przeliczono z krzywej wzorcowej i wyrażono w mg·g⁻¹ św. m. rośliny.

Zawartość wapnia, magnezu, sodu oraz mikroelementów w tkance roślinnej oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA), przy wykorzystaniu spektrofotometru serii iCE 3000 (ThermoScientific, Waltham, Massachusetts, Stany Zjednoczone), która polega na pomiarze absorpcji promieniowania lampy katodowej przez wolne atomy pierwiastka w próbce zmineralizowanej na mokro, w mieszaninie kwasu azotowego (V) i kwasu chlorowego (VII), w proporcji 1:1. Zawartość fosforu oznaczano kolorymetrycznie przy wykorzystaniu spektrofotometru Marcel Mini. Na podstawie uzyskanych wyników zawartości składników, dodatkowo określono równoważnikowy stosunek jonów jedno- do dwuwartościowych, tj. $K^+:(Ca^{2+}+Mg^{2+})$.

2.2.2. Doświadczenia hydroponiczne

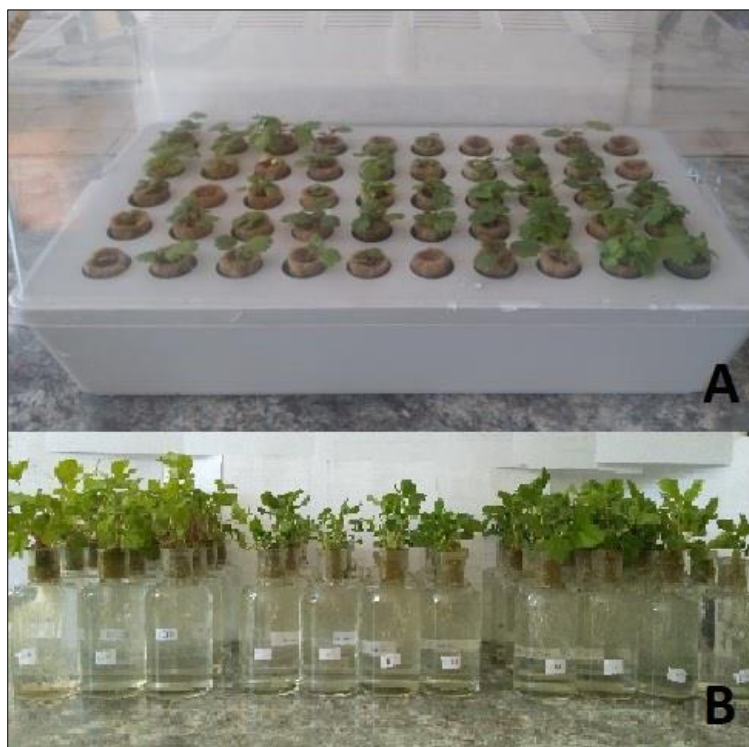
W latach 2018 i 2021, w fitotronie Katedry Fizjologii Roślin i Biochemii (obecnie Katedra Bioinżynierii) przeprowadzono dwa niezależne doświadczenia hydroponiczne w układzie kompletnej randomizacji, w dziesięciu powtórzeniach. Powtórzenie stanowił pojedynczy pojemnik, w którym umieszczano po trzy rośliny. Warunki niedoboru wody (stres suszy) wywoływano poprzez dodanie glikolu polietylenowego (PEG) do pożywek (kontrola – pożywka pełna Hoaglanda, pożywka pełna Hoaglanda + PEG [v/v]). PEG dodawano w ilości 288,58 g·dm⁻³ pożywki, co odpowiadało wartości -1,0 MPa potencjału osmotycznego.

W poszczególnych doświadczeniach biologiczny materiał badań stanowiły:

Doświadczenie 1 odmiany: Rugia i Baron von Solemacher;

Doświadczenie 2 gatunki: *F. vesca*, *F. virginiana* i *F. chiloensis*.

Przygotowanie materiału roślinnego polegało na wysianiu nasion poziomki w fitotronie, w optymalnych warunkach temperatury (24°C), oświetlenia (16h światła, 8h ciemności), PAR wynoszącym 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ i wilgotności (70% wilgotności względnej), na wełnie kamiennej zanurzonej w wodzie (fot. 2A). Po upływie dwóch miesięcy, gdy rośliny osiągnęły ok. 5 cm wysokości zostały umieszczone w szklanych pojemnikach o pojemności 400 cm³, wypełnionych pożywką pełną Hoaglanda (Arnon i Hoagland 1940), po trzy rośliny w każdym (fot. 2B).



Fot. 3. A) badane rośliny w czasie wzrostu na wełnie kamiennej w uprawie hydroponicznej; B) od lewej: *F. vesca*, *F. chiloensis* i *F. virginiana* w czasie wzrostu w pożywce pełnej Hoaglanda.

Źródło: fotografie własne.

Po 31 dobach zróżnicowano skład pożywek zgodnie z układem doświadczeń, wprowadzając do odpowiednich hydroponik PEG.

Po 48 godzinach ekspozycji na PEG wykonano następujące pomiary i analizy:

- zawartości barwników asymilacyjnych w liściach (chlorofilu „a”, chlorofilu „b”, chlorofilu całkowitego, karotenoidów),
- wskaźnika względnej zawartości wody w liściach (RWC),
- parametrów fluorescencji chlorofilu „a” (F_0 , F_M , F_V , F_V/F_M , T_{FM} , A_M (Area))².

2.2.3. Kultury *in vitro*

Na wszystkich etapach badań pH pożywek ustalano na 5,7, przy użyciu 0,1 M roztworów kwasu solnego (HCl) oraz wodorotlenku sodu (NaOH). Pożywki uzupełniano 8 g·dm⁻³ agaru, 30 g·dm⁻³ sacharozy oraz 100 mg·dm⁻³ inozytolu. W etapie namnażania i badania wpływu deficytu wody kultury prowadzono w słoikach o objętości 300 cm³, zawierających po 30 cm³ pożywki, które poddawano sterylizacji w temperaturze 121°C przez 20 minut. Założone kultury umieszczano w fitotronie, w temperaturze 25±1°C, na półkach oświetlonych przez 16 godzin na dobę białym światłem o natężeniu 40 μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR.

² Metody oznaczeń poszczególnych parametrów były identyczne, jak w przypadku doświadczeń wazonowych.

Etap inicjacji. W celu dezynfekcji nasiona *F. vesca* odmian Rugia i Baron von Solemacher moczono w wodzie z dodatkiem detergentu „Ludwik” przez 20 minut. Następnie płukano je kilkakrotnie pod bieżącą wodą i zanurzono na 30 sekund w 70% roztworze etanolu. Odkażone wstępnie nasiona wytrząsano w roztworze 10% podchlorynu sodu przez 15 minut i wykładano pojedynczo do probówek o pojemności 15 cm³ zawierających po 3 cm³ pożywki MS (Murashige i Skoog 1962) (fot. 4).



Fot. 4. Etap inicjacji kultur *in vitro*. Od lewej: dwie probówki z zainicjowanymi kulturami pędowymi, probówka z niedokładnie odkążonym nasieniem (pożywka z namnożonym drobnoustrojem), dwie probówki z nieskiełkowanymi nasionami

Źródło: fotografie własne.

Etap namnażania. W kolejnym etapie badań jednowęzłowe pędy o długości 1 cm w ilości 5 ekspandorów/słoik wykładano na pożywkę MS z dodatkiem 3 mg·dm⁻³ cytokininy BAP (6-benzyloaminopuryny). Uzyskane w ten sposób kultury, namnożone kilkakrotnie na optymalnej pożywce stanowiły populację do założenia kolejnego doświadczenia.

Etap badania wpływu deficytu wody. Jednowęzłowe pędy o długości 1 cm w ilości 5 eksplantatów/słoik wykładano na pożywkę MS z dodatkiem 0,1 mg·dm⁻³ mannitolu. Doświadczenie prowadzono w 7 powtórzeniach, gdzie jedno powtórzenie stanowił 1 słoik.

Po upływie 5 tygodni od założenia doświadczenia określano liczbę i długość pędów [cm], liczbę i długość korzeni [cm] oraz masę roślin [g]. Wykonano również ocenę zawartości wolnej proliny w tkance roślinnej, zgodnie z metodyką przyjętą dla oznaczeń w doświadczeniach wazonowych.

2.3. Metody statystyczne

Wyniki badań przeanalizowano statystycznie w programie STATISTICA w wersji 13.3 przy użyciu testów jednoczynnikowej analizy wariancji, w układzie kompletnej randomizacji. Istotność różnic pomiędzy średnimi określono przy pomocy testu Duncana, przy poziomie istotności $\alpha=0,05$. Tymi samymi oznaczeniami jednoliterowymi wskazywano średnie nieróżniące się statystycznie między sobą.

2.4. Wykresy radarowe

Na wykresach radarowych przedstawiono wartości wybranych analizowanych parametrów dla danego doświadczenia. Do obliczeń wartości parametrów uwzględnianych na wykresach posłużono się różnicami pomiędzy wartościami dla roślin rosnących w warunkach optymalnego i niedoborowego uwilgotnienia podłoża.

Stosowano następujące wzory:

- dla parametrów S, tj. takich, których mniejsze obniżenie w warunkach niedoboru wody w stosunku do wartości stwierdzonych w warunkach optymalnego uwilgotnienia wskazywało na lepsze dostosowanie do warunków stresu (E , g_s , P_n , C_i , WUE, F_0 , F_M , F_V , F_V/F_M , chl a , chl b , chl $a+b$, carot, RWC, plon owoców, masa pojedynczego owocu):

$$S = \frac{S_{def} \times 100}{S_{opt}}$$

gdzie:

S_{def} – wartość parametru w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża;

S_{opt} – wartość parametru w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża.

- dla parametrów D, tj. takich, których mniejszy wzrost w warunkach niedoboru wody w stosunku do wartości stwierdzonych w warunkach optymalnego uwilgotnienia wskazywał na lepsze dostosowanie do warunków stresu (T_{FM} , A_M , PRO):

$$D = 100 - \left(\frac{D_{def} \times 100}{D_{opt}} - 100 \right)$$

gdzie:

D_{def} – wartość parametru w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża;

D_{opt} – wartość parametru w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża.

Do budowy wykresów wykorzystywano serię analiz istotności różnic pomiędzy średnimi dla poszczególnych rodzajów obiektów przy zastosowaniu testów jednoczynnikowej analizy wariancji. Dla średnich nie różniących się istotnie od siebie oraz w przypadku wartości, które wykazywały odmienne tendencje od ogólnych, tj. w przypadku parametrów S – wartości w deficycie były istotnie

wyższe niż w optimum, a w przypadku parametrów D – wartości w deficycie były istotnie niższe niż w optimum - na wykresach radarowych przyjmowano wartość 100.

Porównania badanych obiektów dokonywano poprzez obliczenie pola powierzchni wielokąta tworzonego przez linię wykresu.

2.5. Warunki meteorologiczne

Szczecin leży w rejonie klimatu subatlantyckiego, na który w głównej mierze wpływ ma szerokość geograficzna, ukształtowanie terenu, odległość od morza oraz obecność dużych zakładów przemysłowych i produkcyjnych (UM 2014). Czynniki te powodują, iż teren ten charakteryzuje się stosunkowo wysokimi średnimi rocznymi temperaturami powietrza oraz niską roczną amplitudą temperatur. Ponadto w Szczecinie zazwyczaj występują łagodne zimy oraz chłodne okresy lata (Koźmiński i Czarnecka 1993). Średnia roczna temperatura powietrza w Szczecinie i okolicach oraz długość okresu wegetacyjnego należą do najdłuższych w kraju i wynoszą odpowiednio: 8,0-8,5°C oraz 212-226 dni (Mikiciuk 2013). Jak podaje Biernacik i in. (2018), w ostatnich kilku dekadach obserwowany jest wzrost częstości zjawisk ekstremalnych, w tym wzrost długości fal upałów (okresów co najmniej trzech dni z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 30°C) (Michalska 2011, Gregorczyk i Michalska 2011). Prognozy IPCC (2013) wskazują, że fale upałów będą stawać się coraz dłuższe i częstsze, przez co będą bardziej dotkliwe. Biernacik i in. (2018) wskazują również, iż na przestrzeni ostatnich dekad zauważa się rosnącą roczną sumę opadów oraz liczbę dni z opadem umiarkowanym, umiarkowanie silnym i silnym.

Charakterystyka najważniejszych z punktu widzenia prowadzonych badań elementów meteorologicznych w latach prowadzenia doświadczeń wraz z odniesieniem do norm z wielolecia przedstawiono w tabeli 1. Dane wykorzystane do niniejszego opracowania pochodzą z najbliższej położonej Stacji Meteorologicznej Szczecin-Dąbie (ul. Przestrzenna 10).

W pierwszym roku badań (2017 r.) średnia temperatura powietrza w okresie wegetacyjnym była niższa od średniej wieloletniej o 0,2°C. Najchłodniejszym miesiącem w analizowanym okresie był kwiecień (7,4°C), najcieplejszym natomiast sierpień (18,2°C). Usłonecznienie w okresie wegetacyjnym roślin w 2017 r. było niższe o 21,9% od normy za wielolecie. W żadnym miesiącu nie zanotowano usłonecznienia powyżej wartości przeciętnej.

W drugim roku badań (2018 r.) średnia temperatura powietrza dla okresu wegetacyjnego była wyższa od średniej wieloletniej o 1,8°C. Najniższą średnią temperaturę odnotowano w październiku (10,3°C), a najwyższą – w lipcu i sierpniu (20,0°C). Usłonecznienie w analizowanym okresie było wyższe o 27,0% od normy za wielolecie. W każdym miesiącu odnotowywano wartości powyżej wartości przeciętnej.

Tab. 1. Warunki meteorologiczne w okresie wegetacyjnym badanych roślin w latach 2017-2020 na tle średnich wieloletnich dla Stacji Meteorologicznej w Szczecinie-Dąbiu

Lata	Miesiące							Średnia/suma
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Średnia temperatura powietrza (°C)								
2017	7,4	14,1	17,2	17,7	18,2	13,6	11,2	14,2
Odchylenie	-1,8	0,5	0,4	-1,2	-0,3	-0,7	1,7	-0,2
2018	12,3	16,6	18,5	20,0	20,0	15,4	10,3	16,2
Odchylenie	3,1	3,0	1,7	1,1	1,5	1,1	0,8	1,8
2019	10,1	12,1	21,5	18,8	20,1	14,5	10,7	15,4
Odchylenie	0,9	-1,5	4,7	-0,1	1,6	0,2	1,2	1,0
2020	9,2	11,8	18,1	17,8	20,4	14,8	11,1	14,7
Odchylenie	0,0	-1,8	1,3	-1,1	1,9	0,5	1,6	0,3
1991-2020	9,2	13,6	16,8	18,9	18,5	14,3	9,5	14,4
Usłonecznienie (h)								
2017	143,2	240,3	215,5	197,1	229,1	130,6	96,4	1252,2
Procent normy	71,9	98,3	89,0	80,1	99,5	81,6	96,8	88,1
2018	257,6	349,8	253,6	301,0	269,2	204,0	170,6	1805,8
Procent normy	129,3	143,1	104,7	122,3	116,9	127,5	171,3	127,0
2019	285,7	198,2	345,5	222,3	239,1	168,5	-	1459,3
Procent normy	143,4	81,1	142,7	90,3	103,8	105,3	x	102,6
2020	289,1	269,9	259,3	221,9	277,9	219,5	88,4	1626,0
Procent normy	145,1	110,4	107,1	90,1	120,7	137,2	88,8	114,3
1991-2020	199,3	244,5	242,2	246,2	230,3	160,0	99,6	1422,1
Suma opadów (mm)								
2017	42,2	90,8	132,7	192,5	43,8	30,4	93,9	626,3
Procent normy	135,3	162,7	224,5	252,6	72,6	63,7	215,9	167,5
2018	26,8	22,5	15,0	92,8	21,4	16,3	20,2	215,0
Procent normy	85,9	40,3	25,4	121,8	35,5	34,2	46,4	57,5
2019	10,7	68,7	70,8	23,5	41,8	63,2	46,1	324,8
Procent normy	34,3	123,1	119,8	30,8	69,3	132,5	106,0	86,9
2020	22,8	30,9	26,2	21,2	43,0	69,6	44,9	258,6
Procent normy	73,1	55,4	44,3	27,8	71,3	145,9	103,2	69,2
1991-2020	31,2	55,8	59,1	76,2	60,3	47,7	43,5	373,8
Wilgotność względna powietrza (%)								
2017	73,8	70,9	74,5	79,4	76,5	82,1	85,6	77,5
Odchylenie	3,0	-0,6	1,6	5,0	0,6	0,9	0,1	1,5
2018	69,3	63,7	66,4	71,5	67,8	74,2	79,1	70,3
Odchylenie	-1,5	-7,8	-6,5	-2,9	-8,1	-7,0	-6,4	-5,7
2019	60,0	71,2	65,5	70,0	69,7	78,2	84,3	71,3
Odchylenie	-10,8	-0,3	-7,4	-4,4	-6,2	-3,0	-1,2	-4,8
2020	60,3	68,3	70,8	70,7	70,0	80,4	86,6	72,4
Odchylenie	-10,5	-3,2	-2,1	-3,7	-5,9	-0,8	1,1	-3,6
1991-2020	70,8	71,5	72,9	74,4	75,9	81,2	85,5	76,0

-- brak danych; x – dane niecelowe

Źródło: stacja IMGW w Szczecinie-Dąbiu

Trzeci rok badań (2019 r.) w okresie wegetacyjnym charakteryzował się wyższą o 1,0°C średnią temperaturą powietrza od średniej wieloletniej. Najchłodniejszym miesiącem był kwiecień (10,1°C), najcieplejszym natomiast czerwiec (21,5°C). Usłonecznienie w analizowanym okresie było wyższe o 2,6% od normy za wielolecie. W kwietniu, czerwcu, sierpniu i wrześniu odnotowano usłonecznienie o wartości wyższej niż w analogicznych miesiącach wielolecia. W pozostałych miesiącach usłonecznienie było natomiast mniejsze od normy wieloletniej.

W czwartym roku badań (2020 r.) w okresie wegetacyjnym średnia temperatura powietrza była wyższa niż dla wielolecia o 0,3°C. Najchłodniejszym miesiącem był kwiecień (9,9%), a najcieplejszym – sierpień (20,4°C). Usłonecznienie rzeczywiste w analizowanym okresie było wyższe niż w wieloleciu o 14,3%. W kwietniu, maju, czerwcu, sierpniu i we wrześniu wartości te były wyższe od przeciętnej. W pozostałych miesiącach usłonecznienie było natomiast mniejsze od normy wieloletniej.

3. Wyniki badań

3.1. Ocena zróżnicowania parametrów fizjologicznych, składu chemicznego i plonu pomiędzy genotypami oraz pomiędzy roślinami pozyskanymi różnymi metodami rozmnażania

W pierwszym etapie badań podjęto próbę weryfikacji założenia, że poszczególne genotypy z rodzaju *Fragaria*, zarówno gatunki, jak i odmiany oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania różnią się między sobą pod względem cech fizjologicznych, składu chemicznego oraz plonu. W tym celu porównano ze sobą wartości wybranych cech badanych roślin rosnących w optymalnych warunkach uwilgotnienia podłoża, we wszystkich przeprowadzonych typach doświadczeń.

3.1.1. Doświadczenia wazonowe

3.1.1.1. Porównanie genotypów z gatunku *Fragaria vesca*

Parametry wymiany gazowej

Wykazano, że w każdym terminie oznaczeń najwyższymi wartościami intensywności transpiracji (E) w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża charakteryzowała się inna odmiana (tab. 2). W pierwszym terminie każdego roku badań odmiana Rugia wykazywała niższą wartość E w porównaniu z odmianą Baron von Solemacher oraz roślinami pozyskanymi ze środowiska naturalnego. W przypadku pozostałych terminów, z wyjątkiem III terminu II roku badań, najczęściej najwyższą wartość E wykazywano jednak u odmiany Rugia. W ostatnim terminie pomiarowym w analizowanym doświadczeniu odmiana ta cechowała się ponownie najniższą wartością E spośród badanych genotypów.

Tab. 2. Intensywność transpiracji (E) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	1,105	a	0,502	b	0,967	a
	R	1,017	b	0,645	a	1,036	a
	N	1,120	a	0,653	a	0,726	b
	II rok badań						
	B	0,707	a	0,841	ab	0,573	b
	R	0,571	b	0,992	a	0,525	c
	N	0,687	a	0,737	b	0,907	a

Objaśnienia: B – odmiana Baron von Solemacher; R – odmiana Rugia; N – pozyskana ze stanowiska naturalnego.

Podobne zróżnicowanie wykazano w przypadku wartości przewodności szparkowej H₂O (g_s) (tab. 3). W I terminie I roku badań nie wykazano różnic pomiędzy badanymi genotypami. Odmiana Rugia charakteryzowała się najniższą wartością g_s w II terminie I roku badań, I terminie II roku badań

oraz wraz z odmianą Baron von Solemacher – w III terminie II roku badań. Jednocześnie jednak, w II terminie II roku badań, dla tej odmiany wykazano najwyższą wśród analizowanych genotypów wartość g_s .

Tab. 3. Przewodność szparkowa H_2O (g_s) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [$mol\ H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]

		Termin pomiaru		
		I	II	III
Genotyp	I rok badań			
	B	0,094 a	0,137 a	0,061 ab
	R	0,087 a	0,107 b	0,064 a
	N	0,086 a	0,150 a	0,050 b
	II rok badań			
	B	0,064 a	0,043 b	0,063 b
	R	0,048 b	0,053 a	0,049 b
	N	0,060 a	0,038 b	0,120 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Duże zróżnicowanie pomiędzy analizowanymi genotypami, zależne od terminu pomiaru, zaobserwowano również w przypadku intensywności asymilacji CO_2 netto (P_n) (tab. 4). W I terminie każdego roku badań nie wykazano różnic w wartości P_n pomiędzy wszystkimi genotypami. Rośliny pobrane ze środowiska naturalnego charakteryzowały się natomiast najwyższą wartością P_n w II terminie I roku badań oraz wspólnie z odmianą Rugia – w II i III terminie II roku badań.

Tab. 4. Intensywność asymilacji CO_2 netto (P_n) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [$mmol\ H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]

		Termin pomiaru		
		I	II	III
Genotyp	I rok badań			
	B	6,747 a	2,200 b	4,727 a
	R	6,847 a	1,780 b	3,740 ab
	N	7,307 a	3,253 a	3,427 b
	II rok badań			
	B	3,760 a	1,520 b	2,513 b
	R	3,487 a	3,873 a	4,107 a
	N	3,760 a	4,260 a	4,893 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Analogicznie jak w przypadku pozostałych parametrów wymiany gazowej, również wartość podszparkowego stężenia CO_2 (c_i) była zróżnicowana w poszczególnych terminach oznaczeń (tab. 5). Biorąc pod uwagę wszystkie terminy, odmiana Baron von Solemacher najczęściej wykazywała najwyższą spośród badanych genotypów wartość c_i .

Tab. 5. Podszparkowe stężenie CO_2 (c_i) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [$\mu mol\ CO_2 \cdot mol^{-1}$]

		Termin pomiaru		
		I	II	III
Genotyp	I rok badań			
	B	311,000 a	421,333 ab	315,000 a
	R	299,933 a	426,200 a	302,533 a
	N	279,800 b	411,733 b	304,533 a
	II rok badań			
	B	298,200 a	355,733 a	498,467 a
	R	280,867 a	289,400 b	371,467 b
	N	298,867 a	244,333 c	449,800 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Nie zaobserwowano różnic pomiędzy badanymi genotypami pod względem fotosyntetycznego współczynnika wykorzystania wody (WUE) w I i III terminie I roku badań oraz I terminie II roku badań (tab. 6). W przypadku pozostałych terminów najwyższymi wartościami WUE charakteryzowały się rośliny pobrane ze środowiska naturalnego.

Tab. 6. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca*

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	6,201	a	3,484	b	5,167	a
	R	6,747	a	3,812	b	3,799	a
	N	6,519	a	5,168	a	5,173	a
	II rok badań						
	B	5,409	a	1,922	c	4,656	b
	R	6,253	a	4,028	b	5,432	b
	N	5,328	a	6,533	a	20,713	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

W większości terminów oznaczeń nie wykazano różnic w wartości fluorescencji początkowej (zerowej) (F_0) pomiędzy badanymi genotypami (tab. 7). Wyjątkiem był II termin II roku badań, gdzie najniższą wartość F_0 stwierdzono dla roślin pobranych ze środowiska naturalnego.

Tab. 7. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca*

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	600,786	a	616,857	a	587,429	a
	R	594,375	a	612,857	a	598,250	a
	N	600,429	a	594,000	a	582,929	a
	II rok badań						
	B	259,143	a	261,857	a	266,857	a
	R	268,625	a	273,125	a	278,188	a
	N	258,571	a	229,857	b	250,643	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

W przypadku fluorescencji maksymalnej (F_M) nie zaobserwowano różnic pomiędzy badanymi genotypami w I terminie I roku badań oraz w III terminie II roku badań (tab. 8). W przypadku pozostałych oznaczeń, najczęściej najwyższą wartością F_M cechowały się rośliny pobrane ze środowiska naturalnego, jednak wskazania te nie były jednoznaczne.

Tab. 8. Fluorescencja maksymalna (F_M) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca*

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	2804,571	a	2523,143	b	2917,929	ab
	R	2795,000	a	2680,688	ab	2821,563	b
	N	2998,429	a	2782,643	a	3067,071	a
	II rok badań						
	B	1246,571	b	1222,714	b	1270,500	a
	R	1346,688	a	1398,500	a	1323,500	a
N	1333,143	a	992,571	c	1258,643	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Podobnie jak w przypadku F_M , również dla fluorescencji zmiennej (F_V) nie zaobserwowano różnic pomiędzy badanymi genotypami w I terminie I roku badań oraz w III terminie II roku badań (tab. 9). W przypadku pozostałych terminów wykazano, że odmiana Baron von Solemacher najczęściej charakteryzowała się najniższą wartością F_V w porównaniu z odmianą Rugia oraz roślinami pobranymi ze środowiska naturalnego.

Tab. 9. Fluorescencja zmienna (F_V) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca*

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	2203,786	a	1906,286	b	2330,500	ab
	R	2200,625	a	2068,250	ab	2223,313	b
	N	2398,000	a	2188,643	a	2484,143	a
	II rok badań						
	B	987,429	b	960,857	b	1003,643	a
	R	1078,063	a	1125,375	a	954,313	a
	N	1074,571	a	762,714	c	1008,000	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Nie wykazano różnic pomiędzy porównywanymi genotypami pod względem stosunku fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M) w I terminie I i II roku badań (tab. 10). Mimo, że wyniki w pozostałych terminach nie były jednoznaczne, to można stwierdzić, że odmiana Baron von Solemacher najczęściej wykazywała najniższe, a rośliny pobrane ze środowiska naturalnego – najwyższe wartości F_V/F_M .

Tab. 10. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca*

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	0,782	a	0,754	b	0,796	ab
	R	0,784	a	0,771	ab	0,785	b
	N	0,793	a	0,779	a	0,809	a
	II rok badań						
	B	0,792	a	0,785	b	0,780	ab
	R	0,799	a	0,804	a	0,772	b
	N	0,805	a	0,743	ab	0,801	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

We wszystkich terminach oznaczeń, z wyjątkiem II i III terminu II roku badań, gdzie nie wykazano różnic, najwyższym czasem wzrostu fluorescencji (T_{FM}) charakteryzowały się rośliny pobrane ze środowiska naturalnego (tab. 11). Należy jednakże zaznaczyć, że w III terminie I roku badań wyniki nie wskazywały na to jednoznacznie.

Tab. 11. Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [ms]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	373,571	b	240,714	b	305,000	ab
	R	404,375	b	236,875	b	279,375	b
	N	507,143	a	273,571	a	339,286	a
	II rok badań						
	B	578,571	b	277,857	a	535,000	a
	R	493,751	c	324,375	a	518,750	a
	N	671,429	a	317,144	a	560,000	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Podobnie w przypadku powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M), najwyższymi wartościami najczęściej charakteryzowały się rośliny pobrane ze środowiska naturalnego (tab. 12). Wyjątkiem był II termin I roku badań, gdy wyniki były niejednoznaczne, oraz II termin II roku badań, kiedy najwyższą wartość A_M uzyskano dla odmiany Rugia.

Tab. 12. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [bms]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	52530,786	b	31023,786	b	45809,500	b
	R	54069,125	b	35609,250	ab	42670,813	b
	N	68608,929	a	39444,500	a	57824,214	a
	II rok badań						
	B	28356,286	b	16458,857	b	22092,714	b
	R	30417,688	b	23104,000	a	23176,813	b
	N	40694,786	a	17188,714	b	32145,643	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

W większości terminów pomiaru obydwu lat badań, najwyższą zawartością chlorofilu „a” w liściach charakteryzowały się poziomki pobrane ze środowiska naturalnego (tab. 13). Jednocześnie najniższe wartości uzyskiwano zazwyczaj dla odmiany Rugia.

Tab. 13. Zawartość chlorofilu „a” w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	1,711	ab	0,851	b	1,427	b
	R	1,360	b	1,090	b	1,042	c
	N	1,995	a	1,420	a	1,777	a
	II rok badań						
	B	1,327	b	1,952	a	1,857	b
	R	1,355	b	1,528	b	1,641	b
	N	2,116	a	1,780	ab	2,201	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

W trzech terminach oznaczeń nie wykazano różnic pomiędzy badanymi genotypami pod względem zawartości chlorofilu „b” w liściach (tab. 14). W III terminie I roku badań, najwyższą zawartość tego barwnika stwierdzono w liściach poziomki pozyskanej ze środowiska naturalnego. W II terminie II roku badań większą zawartość chlorofilu „b” wykazano w liściach odmiany Baron von Solemacher w porównaniu z odmianą Rugia. W III terminie tego roku badań, liście poziomki pozyskanej ze środowiska naturalnego charakteryzowały się większą zawartością chlorofilu „b” w porównaniu z odmianą Rugia.

Tab. 14. Zawartość chlorofilu „b” w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	0,622	a	0,565	a	0,531	b
	R	0,523	a	0,562	a	0,523	b
	N	0,702	a	0,700	a	0,855	a

		Termin pomiaru		
		I	II	III
Genotyp	II rok badań			
	B	0,564 a	0,627 a	0,627 ab
	R	0,654 a	0,486 b	0,591 b
	N	0,846 a	0,508 ab	0,721 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

W I i III terminie I roku badań oraz I terminie II roku badań nie wykazano różnic pomiędzy porównywanymi genotypami pod względem stosunku zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” (tab. 15). W przypadku pozostałych terminów oznaczeń najwyższymi wartościami omawianego parametru cechowały się rośliny pobrane ze środowiska naturalnego, przy czym w II terminie I roku badań była to również odmiana Rugia, a w III terminie II roku badań – ‘Baron von Solemacher’.

Tab. 15. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach genotypów z gatunku *F. vesca*

		Termin pomiaru		
		I	II	III
Genotyp	I rok badań			
	B	2,747 a	1,528 b	2,684 a
	R	2,632 a	1,932 a	2,074 a
	N	2,839 a	2,028 a	2,107 a
	II rok badań			
	B	2,385 a	3,113 b	2,963 a
	R	2,208 a	3,154 b	2,780 b
	N	2,523 a	3,504 a	3,056 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach badanych genotypów z gatunku *F. vesca*, wykazywała podobne zależności jak w przypadku wcześniej omawianych barwników asymilacyjnych (tab. 16). We wszystkich terminach oznaczeń, poza I terminem I roku badań oraz II terminem II roku, najwyższą, spośród wszystkich badanych genotypów, zawartość chlorofilu całkowitego w liściach wykazywały rośliny pozyskane ze stanowiska naturalnego. W I terminie I roku doświadczalnego równie dużą zawartością tego barwnika cechowały się liście odmiany Baron von Solemacher.

Tab. 16. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [mg · g⁻¹ św. m.]

		Termin pomiaru		
		I	II	III
Genotyp	I rok badań			
	B	2,333 ab	1,415 b	1,958 b
	R	1,882 b	1,652 b	1,565 c
	N	2,697 a	2,119 a	2,631 a
	II rok badań			
	B	1,890 b	2,579 a	2,483 b
	R	2,008 b	2,014 b	2,231 b
	N	2,962 a	2,288 ab	2,921 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość karotenoidów w liściach badanych genotypów także była najwyższa w większości terminów pomiaru u roślin pobranych ze środowiska naturalnego (tab. 17). Wyjątkiem był I termin I roku badań, w którym równie duża zawartość cechowała liście odmiany Baron von Solemacher oraz II termin II roku, gdy odmiana ta przewyższała pod względem tej cechy poziomkę pozyskaną ze środowiska naturalnego.

Tab. 17. Zawartość karotenoidów w liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [mg · g⁻¹ św. m.]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	0,959	ab	0,672	b	0,866	b
	R	0,728	b	0,748	b	0,639	c
	N	1,179	a	1,009	a	1,170	a
	II rok badań						
	B	0,683	b	0,966	a	0,933	b
	R	0,696	b	0,902	ab	0,825	b
	N	1,050	a	0,772	b	1,120	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

W I terminie II roku badań nie wykazano różnic w wartości RWC pomiędzy badanymi genotypami, a wyniki uzyskane w pozostałych terminach również nie pozwalały jednoznacznie wskazać na rośliny o najwyższej i najniższej wartości RWC (tab. 18). Jedynie w II terminie I roku badań największą względną zawartością wody charakteryzowały się liście poziomki pozyskanej ze środowiska naturalnego.

Tab. 18. Względna zawartość wody w liściach (RWC) genotypów z gatunku *F. vesca* [%]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Genotyp	I rok badań						
	B	54,445	b	54,765	b	56,308	ab
	R	62,644	a	55,159	b	61,177	a
	N	58,285	ab	65,073	a	54,813	b
	II rok badań						
	B	45,247	a	42,064	a	46,258	b
	R	39,875	a	40,545	ab	58,035	a
	N	37,150	a	30,509	b	52,958	ab

Objaśnienia jak w tab. 2.

Plon owoców oraz masa pojedynczego owocu poziomki

W trakcie dwuletniego doświadczenia, mimo zaobserwowanego w drugim roku badań kwitnienia, nie uzyskano owoców z roślin pobranych ze środowiska naturalnego, stąd niemożliwe było określenie wielkości ich plonu owoców.

W II roku wyższy plon owoców uzyskano u odmiany Baron von Solemacher w porównaniu z odmianą Rugia. W obu latach badań nie wykazano różnic pomiędzy odmianą Rugia a Baron von Solemacher pod względem masy pojedynczego owocu (tab. 19).

Tab. 19. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny oraz masa pojedynczego owocu w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) u genotypów z gatunku *F. vesca* [g]

		Plon owoców		Masa pojedynczego owocu	
Genotyp	I rok badań				
	B	23,787	a	0,653	a
	R	22,204	a	0,587	a
	N	-	x	-	x
	II rok badań				
	B	33,112	a	0,554	a
	R	23,270	b	0,540	a
	N	-	x	-	x

Objaśnienia jak w tab. 2.

-- brak danych; x – dane niecelowe

Świeża i sucha masa systemu korzeniowego

Świeżą oraz suchą masę systemu korzeniowego oznaczono po zakończeniu dwuletniego doświadczenia. Nie wykazano różnic pomiędzy badanymi genotypami roślin z gatunku *F. vesca* zarówno pod względem świeżej, jak i suchej masy systemu korzeniowego (tab. 20).

Tab. 20. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego genotypów z gatunku *F. vesca* [g]

		Świeża masa systemu korzeniowego		Sucha masa systemu korzeniowego	
Genotyp	II rok badań				
	B	11,813	a	6,832	a
	R	13,303	a	6,832	a
	N	17.796	a	10.469	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość wolnej proliny w liściach

Zawartość wolnej proliny w liściach badanych genotypów z gatunku *F. vesca* oznaczono w II roku badań. W I terminie oznaczeń, najniższą wartością tej cechy charakteryzowały się liście odmiany Baron von Solemacher, w II terminie – ‘Baron von Solemacher’ oraz rośliny pobrane ze środowiska naturalnego, a w III – ‘Rugia’ (tab. 21).

Tab. 21. Zawartość wolnej proliny liściach genotypów z gatunku *F. vesca* [mg · g⁻¹ św. m.]

Genotyp		Termin pomiarowy II roku badań		
		I	II	III
B		0,591 c	0,906 b	0,753 a
R		0,873 b	1,147 a	0,509 b
N		3,844 a	0,991 b	0,866 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość wybranych pierwiastków

Analiza średniej zawartości oznaczanych pierwiastków w badanych genotypach *F. vesca* wykazała, że nie różniły się one od siebie pod względem zawartości K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn oraz Fe (zał. Tabele; tab. A). Wykazano natomiast, że odmiana Rugia charakteryzowała się niższą od pozostałych genotypów zawartością Mo oraz większą w stosunku do roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego zawartością Cu.

Analizując zawartość pierwiastków w poszczególnych organach stwierdzono natomiast, że poziomki pozyskane ze środowiska naturalnego cechowały się niższą od odmian Rugia i Baron von Solemacher zawartością Ca, Mn oraz Fe **w liściach**, a także niższą zawartością Zn w liściach w stosunku do roślin odmiany Rugia. Najniższą zawartością Mg w liściach cechowały się rośliny odmiany Baron von Solemacher, a Mo – ‘Rugia’. Nie wykazano natomiast różnic w zawartości K, Na i Cu w liściach wśród badanych genotypów.

Badane genotypy nie różniły się między sobą zawartością Mo i Fe **w koronach**. Rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego charakteryzowały się wyższą zawartością Ca, Mg, Zn i Mn w koronach, w stosunku do obu odmian uprawnych, oraz wyższą zawartością Na i Cu w porównaniu

z odmianą Rugia. Wykazano również, że rośliny te miały niższą zawartość K w koronach niż pozostałe genotypy.

Zawartość Ca, Na oraz Mo w **korzeniach** nie różnicowała badanych genotypów. Rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego cechowały się niższą zawartością K i Mg oraz wyższą – Mn i Fe w korzeniach w stosunku do obu odmian uprawnych. U roślin tych wykazano również wyższą zawartość Zn w korzeniach niż u roślin odmiany Rugia oraz najniższą zawartość Cu (najwyższą zawartością Cu w korzeniach charakteryzowała się odmiana Rugia).

3.1.1.2. Porównanie gatunków z rodzaju *Fragaria*

Parametry wymiany gazowej

Pod względem parametrów wymiany gazowej wykazano istotne zróżnicowanie pomiędzy badanymi gatunkami z rodzaju *Fragaria* (tab. 22). W przypadku intensywności transpiracji, w III terminie pomiaru, najwyższą jej wartością charakteryzował się gatunek *F. virginiana*, a najniższą – *F. chiloensis*. W II terminie badań nie wykazano różnic pomiędzy analizowanymi gatunkami, a w I terminie wykazano większe natężenie transpiracji u *F. chiloensis* w porównaniu z *F. vesca*. Analizując wyniki przewodności szparkowej stwierdzono, że najwyższe jej wartości w I i II terminie oznaczeń uzyskano dla *F. virginiana* i *F. chiloensis*, a w III dla *F. virginiana*. W przypadku parametru P_n najwyższe wartości wykazano dla *F. chiloensis* we wszystkich terminach oznaczeń, przy czym w I terminie była to również *F. virginiana*, a w II terminie – *F. vesca*. W II i III terminie oznaczeń *F. vesca* cechowała się najwyższą wartością c_i , przy czym w II terminie była to również *F. virginiana*. Natomiast najwyższe wartości WUE w II i III terminie pomiarowym uzyskano dla *F. chiloensis*.

Tab. 22. Parametry wymiany gazowej w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Gatunek	Intensywność transpiracji (E) [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]						
	VI	0,832	ab	0,795	a	0,733	a
	CH	0,932	a	0,781	a	0,321	c
	VE	0,707	b	0,841	a	0,573	b
	Przewodność szparkowa H ₂ O (g _s) [mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]						
	VI	0,090	a	0,081	a	0,076	a
	CH	0,098	a	0,067	a	0,032	c
	VE	0,064	b	0,043	b	0,063	b
	Intensywność asymilacji CO ₂ netto (P _n) [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]						
	VI	6,073	a	2,380	b	0,960	c
	CH	6,427	a	4,260	a	3,000	a
	VE	3,760	b	1,520	c	2,513	a
	Podszparkowe stężenie CO ₂ (c _i) [μmol CO ₂ ·mol ⁻¹]						
	VI	326,867	a	348,000	a	398,800	b
	CH	300,867	a	394,467	b	268,800	c
VE	298,200	a	355,733	a	498,467	a	
Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE)							
VI	7,683	a	3,355	b	1,282	c	
CH	8,037	a	5,607	a	9,967	a	
VE	5,409	a	1,922	c	3,007	b	

Objaśnienia: VI – gatunek *F. virginiana*; CH – gatunek *F. chiloensis*; VE – gatunek *F. vesca*

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

W przypadku analizowanych parametrów fluorescencji chlorofilu również wykazano różnice pomiędzy badanymi gatunkami z rodzaju *Fragaria* (tab. 23). Najwyższymi wartościami F_0 we wszystkich terminach badań cechowała się *F. vesca*. W II i III terminie oznaczeń wyższe niż u *F. virginiana* wartości F_M i F_V wykazano u *F. chiloensis*. Najwyższe wartości F_V/F_M we wszystkich terminach uzyskano dla *F. chiloensis*, przy czym w I terminie badań wartość ta była wyższa jedynie w stosunku do *F. vesca*. Najwyższymi wartościami T_{FM} oraz A_M we wszystkich terminach pomiaru cechowała się *F. chiloensis*, jednak dla T_{FM} w II i III terminie oznaczeń oraz dla A_M w I terminie była to również *F. virginiana*.

Tab. 23. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*

		Termin pomiaru						
		I		II		III		
Gatunek	Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0)							
	VI	241,214	b	239,143	b	227,857	b	
	CH	223,143	c	214,000	c	218,429	b	
	VE	259,143	a	261,857	a	266,857	a	
	Fluorescencja maksymalna (F_M)							
	VI	1271,857	a	1134,500	b	1145,715	b	
	CH	1271,000	a	1265,426	a	1340,214	a	
	VE	1246,571	a	1222,714	ab	1270,500	ab	
	Fluorescencja zmienna (F_V)							
	VI	1030,643	a	895,357	b	917,857	b	
	CH	1047,857	a	1051,429	a	1121,786	a	
	VE	987,429	a	960,857	ab	1003,643	ab	
	Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M)							
	VI	0,807	ab	0,782	b	0,799	b	
	CH	0,819	a	0,830	a	0,836	a	
	VE	0,792	b	0,785	b	0,780	b	
	Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) [ms]							
	VI	707,143	b	785,715	a	835,714	a	
	CH	807,143	a	807,143	a	857,143	a	
	VE	578,571	c	277,857	b	535,00	b	
	Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) [bms]							
	VI	39243,214	a	34927,000	b	37315,143	b	
	CH	43817,571	a	44507,714	a	55044,214	a	
	VE	28356,286	b	16458,857	c	22092,714	c	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

W I terminie oznaczeń najwyższą zawartość chlorofilu „a”, karotenoidów oraz wartość stosunku chlorofilu „a” do „b” wykazano dla *F. virginiana* (tab. 24). Jednocześnie najwyższą zawartością chlorofilu całkowitego w tym terminie charakteryzowała się zarówno *F. virginiana*, jak i *F. chiloensis*. W II terminie badań najwyższą, spośród porównywanych gatunków, zawartość wszystkich oznaczanych barwników asymilacyjnych w liściach stwierdzono w przypadku *F. vesca*. Natomiast w III terminie pomiaru najwyższą zawartość chlorofilu „a” oraz karotenoidów wykazano dla *F. virginiana*, chlorofilu całkowitego i stosunku chlorofilu „a” do „b” – dla *F. vesca*, a dla chlorofilu „b” – *F. virginiana* oraz *F. chiloensis*.

Tab. 24. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*

		Termin pomiaru						
		I		II		III		
Gatunek	Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	VI	2,087	a	1,328	b	1,834	b	
	CH	1,721	b	1,386	b	1,508	c	
	VE	1,327	c	1,952	a	3,119	a	
	Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	VI	0,716	ab	0,485	b	0,603	a	
	CH	0,856	a	0,481	b	0,494	a	
	VE	0,594	b	0,627	a	0,162	b	
	Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”							
	VI	2,917	a	2,757	b	3,046	b	
	CH	2,039	b	2,885	b	3,176	b	
	VE	2,385	b	3,113	a	19,529	a	
	Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	VI	2,803	a	1,809	b	2,436	b	
	CH	2,576	a	1,867	b	2,001	b	
VE	1,890	b	2,579	a	3,281	a		
Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]								
VI	0,941	a	0,655	b	0,891	a		
CH	0,801	b	0,663	b	0,731	b		
VE	0,683	c	0,966	a	0,431	c		

Objaśnienia jak w tab. 22.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

Istotne różnice w wartości RWC pomiędzy badanymi gatunkami z rodzaju *Fragaria* wykazano jedynie w II terminie badań (tab. 25). Wyższymi wartościami RWC w tym terminie charakteryzowały się gatunki *F. virginiana* i *F. chiloensis*, w porównaniu z *F. vesca*.

Tab. 25. Względna zawartość wody w liściach (RWC) gatunków z rodzaju *Fragaria* [%]

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Gatunek	VI	56,617	a	55,657	a	52,838	a
	CH	54,508	a	58,370	a	53,974	a
	VE	45,247	a	42,064	b	46,258	a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Świeża i sucha masa systemu korzeniowego

Większą świeżą masą systemu korzeniowego cechowała się *F. virginiana*, w porównaniu z *F. chiloensis* i *F. vesca* (tab. 26). Natomiast sucha masa systemu korzeniowego była wyższa u *F. virginiana* w porównaniu z *F. chiloensis*.

Tab. 26. Masa systemu korzeniowego badanych genotypów *F. vesca* [g]

		Świeża masa systemu korzeniowego		Sucha masa systemu korzeniowego	
Gatunek	VI	42,258	a	11,378	a
	CH	3,440	b	1,269	b
	VE	12,195	b	6,429	ab

Objaśnienia jak w tab. 22.

Zawartość wolnej proliny w liściach

Istotne różnice w zawartości wolnej proliny w liściach pomiędzy badanymi gatunkami z rodzaju *Fragaria* wykazano jedynie w II terminie pomiaru (tab. 27). Wyższą niż u *F. virginiana* zawartość wolnej proliny wykazano u *F. chiloensis*.

Tab. 27. Zawartość wolnej proliny liściach gatunków z rodzaju *Fragaria* [mg · g⁻¹ św. m.]

Gatunek	VI	Termin pomiaru		
		I	II	III
	CH	0,479 a	0,660 b	0,545 a
	VE	0,467 a	1,081 a	0,722 a
	VE	0,591 a	0,906 ab	0,753 a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Zawartość wybranych pierwiastków

Analiza średniej zawartości oznaczanych pierwiastków w roślinach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* wykazała, że nie różniły się one od siebie pod względem zawartości K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn oraz Fe (zał. Tabele; tab. B). Wykazano natomiast, że gatunek *F. virginiana* charakteryzowała się wyższą średnią zawartością Mo niż *F. vesca*.

Analizując zawartość pierwiastków w poszczególnych organach stwierdzono brak różnic pomiędzy gatunkami pod względem zawartości Na, Zn, Mn, Mo i Fe **w liściach**. Rośliny z gatunku *F. virginiana* charakteryzowały się natomiast wyższą zawartością Mg niż pozostałe genotypy, niższą zawartością K niż *F. chiloensis* i wyższą zawartością Ca niż *F. vesca*. Ponadto u roślin z gatunku *F. vesca* wykazano wyższą zawartość Cu w liściach niż u *F. chiloensis*.

Badane genotypy nie różniły się między sobą zawartością K, Mg, Na, Cu oraz Fe **w koronach**. *F. virginiana* charakteryzowała się natomiast niższą zawartością Zn w koronach, a *F. chiloensis* – niższą zawartością Mn niż wszystkie pozostałe genotypy. Ponadto, u *F. virginiana* wykazano wyższą zawartość Ca w koronach niż u *F. vesca* oraz wyższą zawartość Mo niż u *F. chiloensis*.

Zawartość K, Mg oraz Zn **w korzeniach** nie różnicowała badanych genotypów. *F. chiloensis* charakteryzowała się wyższą zawartością Na oraz niższą – Mn i Fe w korzeniach niż wszystkie pozostałe genotypy. Ponadto u tych roślin wykazano również wyższą zawartość Ca w korzeniach w porównaniu z *F. chiloensis*. Natomiast *F. vesca* cechowała się niższą zawartością Mo w stosunku do *F. chiloensis* i *F. vesca* oraz wyższą zawartością Cu w porównaniu z *F. virginiana*.

3.1.1.3. Porównanie roślin pozyskanych z kultur *in vitro* i sadzonek zielnych

Parametry wymiany gazowej

W I terminie pomiaru różnice pomiędzy roślinami z gatunku *F. vesca* cv. Rugia pozyskanymi różnymi metodami rozmnażania uzyskano jedynie dla parametru E – wyższą wartość wykazano dla roślin pozyskanych z sadzonek zielnych (ZIE) niż dla roślin pochodzących z kultur *in vitro* (INV) oraz dla parametru c_i – wyższą wartość wykazano dla roślin INV, niż dla roślin ZIE. W II terminie pomiarowym rośliny INV charakteryzowały się wyższą wartością P_n oraz WUE, a rośliny ZIE – E, g_s oraz c_i . W III terminie wyższą wartość wszystkich badanych parametrów wymiany gazowej, z wyjątkiem E, dla którego nie wykazano różnic, uzyskano u roślin INV.

Tab. 28. Parametry wymiany gazowej w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Metoda pozyskania	Intensywność transpiracji (E) [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]						
	INV	0,587	b	0,492	b	0,561	a
	ZIE	0,707	a	0,841	a	0,573	a
	Przewodność szparkowa H ₂ O (g _s) [mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]						
	INV	0,061	a	0,034	b	0,083	a
	ZIE	0,064	a	0,043	a	0,063	b
	Intensywność asymilacji CO ₂ netto (P _n) [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]						
	INV	3,540	a	2,147	a	4,387	a
	ZIE	3,760	a	1,520	b	2,513	b
	Podszparkowe stężenie CO ₂ (c _i) [μmol CO ₂ ·mol ⁻¹]						
	INV	326,667	a	301,600	b	575,867	a
	ZIE	298,200	b	355,733	a	498,467	b
	Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE)						
	INV	6,167	a	4,651	a	7,856	a
ZIE	5,409	a	1,922	b	4,656	b	

Objaśnienia: INV – rośliny pochodzące z kultur *in vitro*; ZIE – rośliny pozyskane z sadzonek zielnych

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Pod względem parametrów fluorescencji chlorofilu, w I terminie pomiaru różnice pomiędzy roślinami pozyskanymi różnymi metodami uzyskano jedynie dla T_{FM} i A_M, gdzie wyższą wartość wykazano dla roślin ZIE (tab. 29). Podobną zależność wykazano w II terminie oznaczeń, gdy dla parametrów F₀, F_M, F_V, F_V/F_M oraz A_M wyższą wartość wykazano dla roślin ZIE. W III terminie pomiaru rośliny ZIE i INV różniły się jedynie pod względem F_V/F_M oraz A_M – wyższą wartość wykazano dla roślin INV.

Tab. 29. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania

		Termin pomiaru					
		I		II		III	
Metoda pozyskania	Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0)						
	INV	244,533	a	229,600	b	244,133	a
	ZIE	256,733	a	262,733	a	266,733	a
	Fluorescencja maksymalna (F_M)						
	INV	1186,533	a	970,867	b	1280,667	a
	ZIE	1240,333	a	1255,133	a	1265,067	a
	Fluorescencja zmienna (F_V)						
	INV	942,000	a	741,267	b	1036,533	a
	ZIE	983,600	a	992,400	a	998,333	a
	Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M)						
	INV	0,791	a	0,758	b	0,808	a
	ZIE	0,793	a	0,789	a	0,779	b
	Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) [ms]						
	INV	295,333	b	258,000	a	593,333	a
ZIE	580,000	a	278,667	a	546,000	a	
Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) [bms]							
INV	17274,800	b	12996,800	b	29260,333	a	
ZIE	28656,733	a	16712,667	a	22610,267	b	

Objaśnienia jak w tab. 28.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach (RWC)

W przypadku zawartości barwników asymilacyjnych w liściach poziomki, w I terminie pomiaru różnice pomiędzy roślinami pozyskanymi różnymi metodami rozmnażania wykazano jedynie dla zawartości chlorofilu „a” oraz karotenoidów – każdorazowo wyższą zawartość uzyskano

dla roślin ZIE (tab. 30). W II terminie oznaczeń wyższą zawartością wszystkich oznaczanych barwników asymilacyjnych oraz większym stosunkiem zawartości chlorofilu „a” do „b” charakteryzowały się rośliny ZIE. Analogiczne zależności, z wyjątkiem stosunku zawartości chlorofilu „a” do „b”, w przypadku którego nie wykazano różnic, uzyskano w III terminie badań.

Tab. 30. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania

		Termin pomiaru						
		I		II		III		
Metoda pozyskania	Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	INV	1,068 b		0,864 b		1,392 b		
	ZIE	1,327 a		1,952 a		1,857 a		
	Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	INV	0,440 a		0,365 b		0,469 b		
	ZIE	0,564 a		0,627 a		0,627 a		
	Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”							
	INV	2,428 a		2,372 b		2,968 a		
	ZIE	2,385 a		3,113 a		2,963 a		
	Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	INV	1,508 a		1,229 b		1,861 b		
	ZIE	1,890 a		2,579 a		2,483 a		
	Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]							
	INV	0,550 b		0,460 b		0,706 b		
	ZIE	0,683 a		0,966 a		0,933 a		

Objaśnienia jak w tab. 28.

Względna zawartość wody w liściach

W żadnym terminie pomiarowym nie wykazano różnic pod względem wartości RWC w liściach roślin *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania (tab. 31).

Tab. 31. Względna zawartość wody (RWC) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania [%]

		Termin pomiarowy					
		I		II		III	
Metoda	INV	41,534	a	48,263	a	53,085	a
pozyskania	ZIE	45,247	a	42,064	a	46,258	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

Plon owoców oraz masa pojedynczego owocu poziomki

Rośliny pozyskane metodą *in vitro* (INV) charakteryzowały się wyższym sumarycznym plonem owoców w porównaniu z roślinami uzyskanymi z sadzonek zielnych (ZIE). W przypadku tych samych roślin wykazano także większą masę pojedynczego owocu (tab. 32).

Tab. 32. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny oraz masa pojedynczego owocu w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) roślin z gatunku *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanych różnymi metodami rozmnażania [g]

		Plon świeżej masy owoców		Masa pojedynczego owocu	
Metoda	INV	123,216	a	0,859	a
pozyskania	ZIE	28,322	b	0,614	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Świeża i sucha masa systemu korzeniowego

Podobnie jak w przypadku plonu owoców, większą zarówno świeżą, jak i suchą masę systemu korzeniowego uzyskano dla roślin INV w porównaniu z roślinami ZIE (tab. 33).

Tab. 33. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania [g]

Metoda pozyskania	INV ZIE	Świeża masa systemu korzeniowego		Sucha masa systemu korzeniowego	
		82,702	a	34,218	a
		12,334	b	7,286	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Zawartość wolnej proliny w liściach

W żadnym terminie pomiarowym nie wykazano różnic pod względem zawartości wolnej proliny w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania (tab. 34).

Tab. 34. Zawartość wolnej proliny w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

Metoda pozyskania	INV ZIE	Termin pomiaru					
		I		II		III	
		0,571	a	0,678	a	0,586	a
		0,516	a	0,721	a	0,646	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

Zawartość wybranych pierwiastków

Analiza średniej zawartości oznaczanych pierwiastków u *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania wykazała, że nie różniły się one od siebie pod względem zawartości K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mo oraz Fe (zał. Tabele; tab. C). Wykazano natomiast, że rośliny INV charakteryzowały się wyższą od roślin ZIE zawartością Mn.

Analizując zawartość pierwiastków w poszczególnych organach stwierdzono natomiast, że rośliny ZIE charakteryzowały się wyższą zawartością Zn w liściach niż rośliny INV. W pozostałych przypadkach nie wykazano różnic pomiędzy badanymi wariantami doświadczalnymi.

W przypadku **koron**, badane warianty doświadczenia różniły się między sobą zawartością jedynie Cu oraz Zn. Rośliny INV zawierały więcej Cu i Zn w koronach niż rośliny ZIE.

Obiekty wariantów doświadczalnych różnicowała zawartość w **korzeniach** jedynie Mg, Zn i Mo. W przypadku każdego z tych pierwiastków wyższą zawartość wykazano u roślin INV.

3.1.2. Doświadczenia hydroponiczne

3.1.2.1. Porównanie odmian z gatunku *Fragaria vesca*

Parametry wymiany gazowej

Analizując parametry wymiany gazowej badanych odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym, zróżnicowanie wykazano jedynie w przypadku intensywności transpiracji – wyższą wartość tej cechy uzyskano dla odmiany Rugia niż dla Baron von Solemacher (tab. 35).

Tab. 35. Parametry wymiany gazowej w liściach badanych odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana	
		B	R
Parametr wymiany gazowej	Intensywność transpiracji [$\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,308 b	0,411 a
	Przewodność szparkowa H_2O [$\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,020 a	0,025 a
	Intensywność asymilacji CO_2 netto [$\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,700 a	1,820 a
	Podszparkowe stężenie CO_2 [$\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$]	402,000 a	388,000 a
	Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE)	5,750 a	4,513 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

W doświadczeniu prowadzonym metodą hydroponiczną, nie wykazano różnic pomiędzy odmianą Rugia a Baron von Solemacher, pod względem wszystkich określanych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” (tab. 36).

Tab. 36. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana	
		B	R
Parametr fluorescencji chlorofilu „a”	Fluorescencja początkowa (F_0)	240,733 a	232,867 a
	Fluorescencja maksymalna (F_M)	1436,467 a	1379,933 a
	Fluorescencja zmienna (F_V)	1195,733 a	1147,067 a
	Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M)	0,832 a	0,831 a
	Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) [ms]	352,667 a	365,333 a
	Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) [bms]	24658,533 a	22636,400 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

Podobnie jak w przypadku parametrów fluorescencji chlorofilu „a”, również zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian gatunku *F. vesca* nie różniły się od siebie (tab. 37).

Tab. 37. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana	
		B	R
Zawartość chlorofilu „a” [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ św. m.]		2,293 a	2,533 a
Zawartość chlorofilu „b” [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ św. m.]		0,869 a	0,984 a
Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”		2,639 a	2,569 a
Zawartość chlorofilu całkowitego [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ św. m.]		3,161 a	3,516 a
Zawartość karotenoidów [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ św. m.]		1,069 a	1,175 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

Badane odmiany gatunku *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym charakteryzowały się także statystycznie jednakową względną zawartością wody w liściach (tab. 38).

Tab. 38. Względna zawartość wody w liściach badanych odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana	
		B	R
RWC [%]		49,654 a	39,670 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

3.1.2.2. Porównanie gatunków z rodzaju *Fragaria*

Parametry wymiany gazowej

W doświadczeniu hydroponicznym, w przypadku wszystkich określanych parametrów wymiany gazowej, z wyjątkiem WUE, wykazano różnice pomiędzy badanymi gatunkami z rodzaju *Fragaria* (tab. 39). Najwyższe wartości intensywności transpiracji, przewodności szparkowej oraz podszparkowego stężenia CO₂ wykazano dla *F. virginiana*. Natomiast w przypadku intensywności asymilacji CO₂ była to *F. chiloensis*.

Tab. 39. Parametry wymiany gazowej w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym

		Gatunek					
		VI		CH		VE	
Parametr wymiany gazowej	Intensywność transpiracji [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]	2,895	a	2,454	b	1,683	c
	Przewodność szparkowa H ₂ O [mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]	0,125	a	0,102	b	0,065	c
	Intensywność asymilacji CO ₂ netto [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹]	13,980	b	17,860	a	13,060	b
	Podszparkowe stężenie CO ₂ [μmol CO ₂ ·mol ⁻¹]	298,300	a	173,700	b	190,200	b
	Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE)	4,862	a	7,564	a	28,250	a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Istotne zróżnicowanie pomiędzy badanymi gatunkami pod względem fluorescencji chlorofilu „a” wykazano dla większości parametrów z wyjątkiem F₀ (tab. 40). W przypadku F_M, F_V oraz F_V/F_M wykazano, że wartości uzyskane dla *F. chiloensis* były wyższe niż dla *F. vesca*. Jednocześnie *F. virginiana* i *F. chiloensis* cechowały się wyższym T_{FM} niż *F. vesca*, a wyższą A_M – *F. chiloensis* w porównaniu zarówno z *F. virginiana*, jak i *F. vesca*.

Tab. 40. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym

		Gatunek					
		VI		CH		VE	
Parametr fluorescencji chlorofilu	Fluorescencja początkowa (F ₀)	600,700	a	607,900	a	597,400	a
	Fluorescencja maksymalna (F _M)	2894,200	ab	3173,800	a	2731,600	b
	Fluorescencja zmienna (F _V)	2293,500	ab	2565,900	a	2134,200	b
	Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F _V /F _M)	0,790	ab	0,807	a	0,776	b
	Czas wzrostu fluorescencji (T _{FM}) [ms]	518,000	a	610,000	a	303,000	b
	Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A _M) [bms]	66316,800	b	82044,300	a	47716,200	b

Objaśnienia jak w tab. 22.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

Wyższą zawartością chlorofilu „a” oraz chlorofilu całkowitego cechowały się *F. chiloensis* oraz *F. virginiana* (tab. 41). Jednocześnie dla *F. chiloensis* wykazano wyższą zawartość chlorofilu „b” niż u *F. vesca*, a u *F. virginiana* – wyższą zawartość karotenoidów niż u *F. vesca*. Badane gatunki nie różniły się pod względem wartości stosunku chlorofilu „a” do „b”.

Tab. 41. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym

	Gatunek					
	VI		CH		VE	
Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]	1,526	a	1,493	a	1,218	b
Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]	0,653	ab	0,799	a	0,547	b
Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”	2,336	a	1,894	a	2,280	a
Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]	2,179	a	2,292	a	1,766	b
Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]	0,861	a	0,805	ab	0,708	b

Objaśnienia jak w tab. 22.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

W doświadczeniu hydroponicznym, badane gatunki z rodzaju *Fragaria* nie różniły się względną zawartością wody w liściach (tab. 42).

Tab. 42. Względna zawartość wody w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym

	Gatunek					
	VI		CH		VE	
RWC [%]	54,788	a	64,522	a	54,693	a

Objaśnienia jak w tab. 22.

3.1.3. Kultury *in vitro*

Analiza wybranych cech morfologicznych badanych odmian gatunku *F. vesca* w kulturach *in vitro* wykazała, że rośliny różniły się od siebie jedynie pod względem liczby wykształconych korzeni (tab. 43). Wyższą ich liczbę uzyskano dla odmiany Baron von Solemacher w stosunku do ‘Rugii’.

Tab. 43. Wybrane cechy morfologiczne badanych odmian *F. vesca* w kulturach *in vitro*

	Odmiana			
	B		R	
Liczba liści	11,538	a	11,857	a
Liczba pędów	7,846	a	7,214	a
Długość pędów [cm]	2,708	a	2,843	a
Liczba korzeni	8,385	a	5,143	b
Długość korzeni [cm]	3,592	a	4,671	a
Masa roślin [g]	0,273	a	0,205	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Badane odmiany *F. vesca* w kulturach *in vitro* nie różniły się również zawartością barwników asymilacyjnych i proliny w liściach (tab. 44).

Tab. 44. Zawartość barwników asymilacyjnych i proliny w liściach badanych odmian *F. vesca* w kulturach *in vitro*

	Odmiana			
	B		R	
Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]	2,602	a	2,186	a
Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]	0,923	a	0,886	a
Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”	2,818	a	2,474	a
Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]	3,524	a	3,071	a
Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]	1,224	a	1,177	a
Zawartość wolnej proliny [mg · g ⁻¹ św. m.]	2,718	a	2,780	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

3.2. Ocena zróżnicowania parametrów fizjologicznych, składu chemicznego i plonu pomiędzy genotypami oraz pomiędzy roślinami pozyskanymi różnymi metodami rozmnażania, w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

Drugi etap badań polegał na weryfikacji założenia, że poszczególne genotypy z rodzaju *Fragaria*, zarówno odmiany jak i gatunki, oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania różnią się między sobą pod względem cech fizjologicznych, składu chemicznego oraz plonu w reakcji na deficyt wody w podłożu. W tym celu porównano ze sobą wartości wybranych parametrów roślin rosnących w optymalnych warunkach uwilgotnienia podłoża oraz w warunkach jego niedoboru, we wszystkich przeprowadzonych typach doświadczeń. W tabelach zestawiono średnie osobno dla każdego gatunku, a na wykresach radarowych porównywano odpowiedź na stres pomiędzy genotypami.

3.2.1. Doświadczenia wazonowe

3.2.1.1. Porównanie odmian z gatunku *Fragaria vesca*

Parametry wymiany gazowej

Analizując średnie wartości intensywności transpiracji stwierdzone w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, wykazano, że we wszystkich terminach pomiarów, poza II terminem II roku badań, wyższymi wartościami *E* charakteryzowały się poziomki rosnące w warunkach optymalnej zawartości wody w glebie (tab. 45). Taką samą zależność wykazano dla wszystkich badanych genotypów *F. vesca* we wszystkich terminach oznaczeń w I roku badań oraz w III terminie II roku badań. W I terminie II roku badań analogiczną sytuację zaobserwowano u odmiany Baron von Solemacher oraz u genotypu pobranego ze środowiska naturalnego. W II terminie II roku badań, mniejszą intensywność transpiracji w warunkach deficytu wody wykazano w przypadku odmiany Rugia. W tym samym terminie u roślin pobranych ze środowiska naturalnego nie zaobserwowano zmiany w wartości *E*, a u odmiany Baron von Solemacher wartość ta w warunkach deficytu była wyższa niż w warunkach uwodnienia optymalnego.

Tab. 45. Intensywność transpiracji (*E*) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	1,105	a	1,017	a	1,120	a	1,081	a	
	Deficyt	0,417	b	0,405	b	0,789	b	0,537	b	
	Termin II									
	Optimum	1,041	a	1,021	a	1,059	a	1,040	a	
	Deficvt	0,645	b	0,502	b	0,653	b	0,600	b	

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin III									
	Optimum	0,967	a	1,036	a	0,726	a	0,910	a	
	Deficyt	0,727	b	0,579	b	0,619	b	0,642	b	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	0,707	a	0,571	a	0,687	a	0,655	a	
	Deficyt	0,465	b	0,565	a	0,530	b	0,520	b	
	Termin II									
	Optimum	0,841	b	0,992	a	0,735	a	0,856	a	
	Deficyt	1,097	a	0,578	b	0,733	a	0,803	a	
	Termin III									
	Optimum	0,573	a	0,525	a	0,907	a	0,577	a	
Deficyt	0,499	b	0,431	b	0,801	b	0,574	b		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Podobnie jak w przypadku intensywności transpiracji, również wartość g_s , w większości terminów oznaczeń, była niezależnie od badanego genotypu niższa u roślin rosnących w warunkach niedoboru wody w podłożu. Wyjątkiem był II termin I roku badań, gdy niższą wartość przewodności szparkowej wykazywały rośliny rosnące w warunkach optymalnego uwilgotnienia, oraz III termin II roku badań, gdy nie wykazano różnic (tab. 46). Obniżenie wartości g_s w warunkach stresu wodnego u odmiany Baron von Solemacher zaobserwowano w trzech z sześciu terminów oznaczeń. Jednocześnie w II terminie I roku badań oraz III terminie II roku badań wartość ta była wyższa u roślin rosnących w warunkach deficytu wody. Również u odmiany Rugia zmniejszenie przewodności szparkowej pod wpływem niedoboru wody zaobserwowano w trzech terminach badań, przy czym w pozostałych dwóch nie wykazano różnic, a w jednym – zależność była odwrotna. W przypadku roślin pobranych ze środowiska naturalnego, w trzech terminach nie wykazano różnic w wartości g_s pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża. Obniżenie tego parametru w warunkach suszy zaobserwowano w dwóch terminach, a zależność odwrotną – w jednym.

Tab. 46. Przewodność szparkowa H_2O (g_s) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$mol\ H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	0,094	a	0,087	a	0,086	a	0,089	a	
	Deficyt	0,039	b	0,043	b	0,066	b	0,049	b	
	Termin II									
	Optimum	0,137	b	0,107	b	0,150	b	0,131	b	
	Deficyt	0,254	a	0,182	a	0,305	a	0,247	a	
	Termin III									
	Optimum	0,061	a	0,064	a	0,050	a	0,058	a	
	Deficyt	0,045	b	0,038	b	0,042	a	0,042	b	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	0,064	a	0,048	a	0,060	a	0,058	a	
	Deficyt	0,036	b	0,046	a	0,045	b	0,042	b	
	Termin II									
Optimum	0,043	a	0,053	a	0,038	a	0,045	a		
Deficyt	0,050	a	0,026	b	0,032	a	0,036	b		

		Genotyp				Średnia			
		B	R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin III								
	Optimum	0,063	b	0,055	a	0,113	a	0,083	a
	Deficyt	0,082	a	0,049	a	0,120	a	0,077	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

W większości terminów pomiarowych (z wyjątkiem II terminu I roku badań) wartość P_n , niezależnie od genotypu, była niższa u roślin rosnących w warunkach niedoboru wody w podłożu (tab. 47). U odmiany Baron von Solemacher obniżenie tego parametru w warunkach stresowych zaobserwowano w trzech terminach oznaczeń. W III terminie I roku badań nie wykazano dla tej odmiany różnic pomiędzy analizowanymi wariantami, natomiast w II i III terminie II roku badań wyższą wartość P_n zanotowano u roślin rosnących w warunkach suszy. W przypadku odmiany Rugia niższą wartość P_n u roślin rosnących w stresie suszy zaobserwowano w czterech terminach oznaczeń, a u roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego – w pięciu. W przypadku pozostałych terminów, dla obu genotypów, nie zaobserwowano różnic pomiędzy średnimi wartościami asymilacji CO_2 netto.

Tab. 47. Intensywność asymilacji CO_2 netto (P_n) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$mmol\ H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	6,747	a	6,847	a	7,307	a	6,697	a	
	Deficyt	4,313	b	5,380	b	5,800	b	5,164	b	
	Termin II									
	Optimum	2,200	a	1,780	a	3,253	a	2,411	a	
	Deficyt	1,667	b	1,773	a	2,553	b	1,998	a	
	Termin III									
	Optimum	4,727	a	3,740	a	3,427	a	3,964	a	
	Deficyt	3,873	a	2,607	b	2,673	b	3,051	b	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	3,760	a	3,487	a	3,533	a	3,593	a	
	Deficyt	2,787	b	2,060	b	3,840	a	2,896	b	
Termin II										
Optimum	1,520	b	3,873	a	4,260	a	3,218	a		
Deficyt	3,133	a	2,300	b	1,787	b	2,407	b		
Termin III										
Optimum	2,513	b	3,667	a	7,780	a	5,320	a		
Deficvt	4,513	a	4,107	a	4,893	b	3,838	b		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Różnice w wartości c_i pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża, niezależnie od genotypu, były bardziej zróżnicowane niż w przypadku pozostałych parametrów wymiany gazowej. Obniżenie tego parametru w warunkach niedoboru wody wykazano w trzech terminach oznaczeń, brak różnic pomiędzy średnimi – w dwóch, a podwyższenie – w jednym (tab. 48). U odmiany Baron von Solemacher niższą wartość c_i w warunkach deficytu wody wykazano w pięciu terminach pomiarów, w jednym natomiast (II termin I roku badań) wartość ta była wyższa. W przypadku odmiany Rugia w czterech terminach oznaczeń nie wykazano różnic w wartości c_i pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych podłoża. Jednocześnie u roślin rosnących w warunkach suszy, w I terminie I roku badań,

zaobserwowano obniżenie tego parametru, a w I terminie II roku badań – podwyższenie. Natomiast u roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego obniżenie c_i w warunkach stresu suszy wykazano w trzech terminach oznaczeń, podwyższenie – w dwóch, a brak różnic pomiędzy średnimi – w jednym.

Tab. 48. Podszparkowe stężenie CO_2 (c_i) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	311,000	a	299,933	a	279,800	a	296,911	a	
	Deficyt	220,667	b	225,933	b	250,000	b	232,200	b	
	Termin II									
	Optimum	421,333	b	426,200	a	411,733	b	419,756	b	
	Deficyt	441,600	a	434,200	a	434,733	a	436,844	a	
	Termin III									
	Optimum	315,000	a	302,533	a	304,533	a	307,356	a	
	Deficyt	257,133	b	282,533	a	286,467	a	275,378	b	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	298,200	a	280,867	b	298,867	a	292,644	a	
	Deficyt	290,800	b	320,133	a	255,400	b	278,778	a	
Termin II										
Optimum	355,733	a	289,400	a	244,333	b	296,489	a		
Deficyt	316,133	b	300,533	a	319,000	a	311,889	a		
Termin III										
Optimum	498,467	a	371,467	a	449,800	a	439,911	a		
Deficvt	361.333	b	323,800	a	339,800	b	341.644	b		

Objaśnienia jak w tab. 2.

W przypadku współczynnika WUE, niezależnie od genotypu, znaczne obniżenie jego wartości u roślin rosnących w warunkach niedoboru wody wykazano w czterech terminach pomiarów, a podwyższenie – w jednym (I termin I roku badań) (tab. 49). U odmiany Baron von Solemacher w trzech terminach oznaczeń zaobserwowano wyższą wartość WUE w warunkach deficytu wody w podłożu. Obniżenie wskaźnika WUE pod wpływem niedoboru wody wykazano u tej odmiany jedynie w II i III terminie I roku badań. Natomiast w przypadku odmiany Rugia współczynnik WUE przyjmował niższe wartości w warunkach suszy w czterech terminach oznaczeń. Podobnie jak u odmiany Baron von Solemacher, w I terminie I roku badań, współczynnik ten był wyższy u roślin rosnących w stresie suszy. U roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego obniżenie współczynnika WUE w warunkach niedoboru wody zaobserwowano w trzech terminach pomiaru. Jednocześnie w I i III terminie II roku badań wskaźnik ten był wyższy u roślin rosnących w stresie suszy.

Tab. 49. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Genotyp			Średnia
		B	R	N	
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań				
	Termin I				
	Optimum	6,201 b	6,747 b	6,519 a	6,489 b
	Deficyt	11,071 a	13,763 a	7,561 a	10,798 a

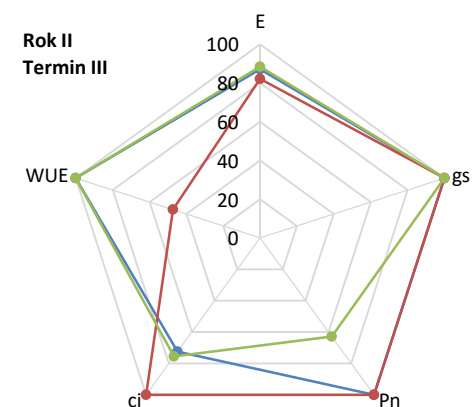
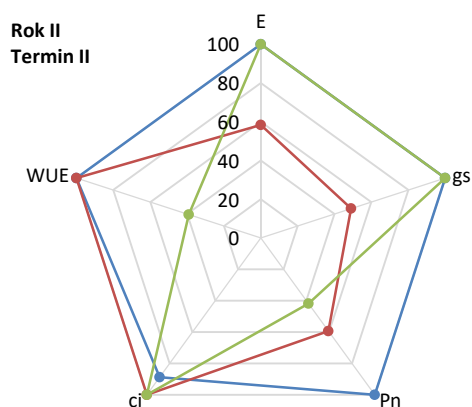
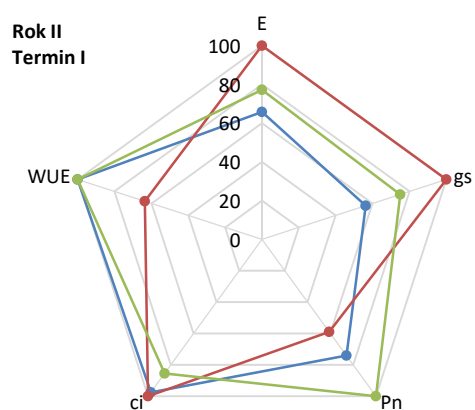
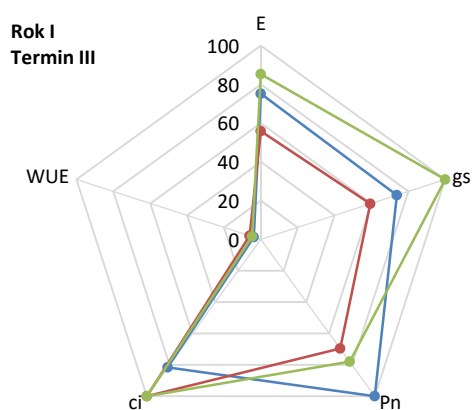
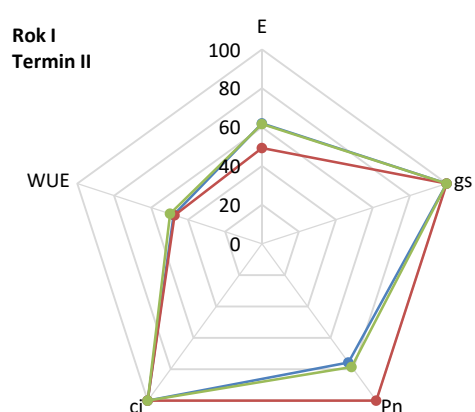
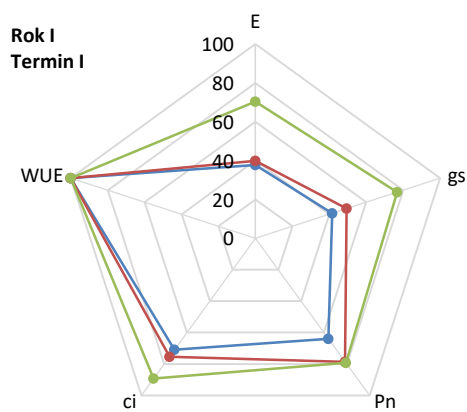
		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin II									
	Optimum	3,484	a	3,812	a	5,168	a	4,155	a	
	Deficyt	1,668	b	1,806	b	2,569	b	2,014	b	
	Termin III									
	Optimum	5,167	a	3,799	a	5,173	a	4,713	a	
	Deficyt	0,196	b	0,231	b	0,243	b	0,223	b	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	5,409	a	6,253	a	5,328	b	5,663	a	
	Deficyt	6,593	a	3,979	b	7,685	a	6,089	a	
	Termin II									
	Optimum	1,922	b	4,028	a	6,533	a	4,161	a	
	Deficyt	2,938	a	3,760	a	2,554	b	3,084	b	
	Termin III									
	Optimum	4,656	b	20,713	a	5,432	b	10,267	a	
	Deficyt	9 285	a	9 805	b	9 967	a	9 686	b	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 2 przedstawiono analizę zmian średnich wartości oznaczanych parametrów wymiany gazowej dla poszczególnych terminów badań oraz genotypów *F. vesca*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, największym obniżeniem analizowanych parametrów w I i II terminie I roku badań, oraz I terminie II roku badań, wyrażonym najmniejszym polem powierzchni pod wykresem, cechowała się odmiana Baron von Solemacher. Wskazuje to na fakt, że odmiana ta wykazywała największe średnie obniżenie parametrów wymiany gazowej w warunkach stresu wodnego. W III terminie II roku badań była to odmiana Rugia, a w dwóch ostatnich terminach pomiarowych – rośliny pobrane ze środowiska naturalnego. Jednocześnie największym dostosowaniem do warunków stresowych, czyli najmniejszym obniżeniem wartości parametrów wymiany gazowej u roślin rosnących w warunkach deficytu wody w stosunku do roślin kontrolnych (największe pole powierzchni pod wykresem), w I i III terminie I roku badań oraz I terminie II roku badań cechowały się rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego. W II terminie I roku badań była to natomiast odmiana Rugia, a w dwóch ostatnich terminach pomiarowych – ‘Baron von Solemacher’.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Analiza wartości fluorescencji zerowej stwierdzonych w liściach roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża, niezależnie od badanego genotypu, wykazała obniżenie F_0 w warunkach deficytu wody tylko w przypadku I terminu II roku badań – w pozostałych terminach nie wykazano różnic (tab. 50). Zarówno u odmiany Baron von Solemacher, jak również Rugia w żadnym z sześciu terminów pomiarowych nie wykazano różnic w wartości F_0 pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach wilgotności. U roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego, w czterech terminach oznaczeń wykazano brak różnic pomiędzy średnimi. W III terminie I roku badań wykazano wartość wyższą, a w III terminie II roku – niższą, u roślin rosnących w warunkach deficytu wody w porównaniu z roślinami kontrolnymi.



—●— *F. vesca* cv. Baron von Solemacher —●— *F. vesca* cv. Rugia —●— *F. vesca* pobrana ze środowiska naturalnego

Ryc. 2. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach genotypów *F. vesca* w warunkach niedoboru wody w podłożu w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego w doświadczeniu wazonowym nr 1

Objaśnienia: E - intensywność transpiracji H_2O , g_s - przewodnictwo szparkowe H_2O , P_n - intensywność asymilacji CO_2 netto, c_i - podszparkowe stężenie CO_2 , WUE - fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody

Tab. 50. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	600,786	a	594,375	a	600,429	a	598,341	a	
	Deficyt	598,333	a	608,929	a	603,867	a	603,591	a	
	Termin II									
	Optimum	616,857	a	610,143	a	594,000	a	607,977	a	
	Deficyt	620,000	a	612,438	a	593,200	a	907,727	a	
	Termin III									
	Optimum	587,429	a	598,250	a	582,929	b	589,932	a	
	Deficyt	585,933	a	594,000	a	593,600	a	591,114	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	259,143	a	268,625	a	258,571	a	262,409	a	
	Deficyt	252,200	a	258,214	a	247,200	a	252,409	b	
	Termin II									
Optimum	261,857	a	273,125	a	229,857	a	255,773	a		
Deficyt	266,733	a	267,500	a	223,067	a	252,091	a		
Termin III										
Optimum	266,857	a	278,188	a	250,643	a	265,818	a		
Deficvt	274,867	a	271,857	a	211,933	b	252,455	a		

Objaśnienia jak w tab. 2.

W przypadku F_M różnice pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, niezależnie od badanego genotypu, wykazano jedynie w II terminie I roku badań, gdy rośliny rosnące w warunkach deficytu wody charakteryzowały się wyższą F_M od roślin kontrolnych, oraz w I terminie II roku badań, gdy zależność była odwrotna (tab. 51). U odmiany Baron von Solemacher, w II terminie II roku badań, wykazano podwyższenie wartości F_M u roślin rosnących w warunkach suszy. W przypadku odmiany Rugia oraz roślin pobranych ze środowiska naturalnego różnice wykazano jedynie w dwóch terminach II roku badań, przy czym każdorazowo rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody wykazywały niższą wartość F_M .

Tab. 51. Fluorescencja maksymalna (F_M) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	2804,571	a	2701,214	a	2998,429	a	2862,773	a	
	Deficyt	2936,867	a	2795,000	a	3005,067	a	2885,136	a	
	Termin II									
	Optimum	2523,143	a	2680,688	a	2782,643	a	2663,000	b	
	Deficyt	2729,667	a	2733,000	a	2928,533	a	2798,523	a	
	Termin III									
	Optimum	2917,929	a	2821,563	a	3067,071	a	2930,341	a	
	Deficyt	2959,667	a	2998,643	a	2922,600	a	2959,432	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	1246,571	a	1346,688	a	1333,143	a	1310,523	a	
	Deficyt	1272,400	a	1201,357	b	1237,867	b	1238,023	b	
	Termin II									
Optimum	1222,714	b	1398,500	a	992,571	a	1213,409	a		
Deficyt	1305,333	a	1237,857	b	887,333	a	1141,364	a		
Termin III										
Optimum	1270,500	a	1232,500	a	1258,643	a	1525,909	a		
Deficvt	1179,800	a	1162,857	a	1097,000	b	1146,182	a		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Podobnie jak w przypadku wcześniej opisywanych parametrów, różnice w wartości F_v pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach niedoboru wody i kontrolnych zaobserwowano jedynie w II roku badań (tab. 52). Niezależnie od analizowanego genotypu *F. vesca* obniżenie F_v u roślin rosnących w warunkach niedoboru wody wykazano w I i III terminie II roku badań. U obu odmian uprawnych różnice pomiędzy średnimi wartościami parametru F_v zaobserwowano w II terminie II roku badań, przy czym w przypadku odmiany Baron von Solemacher wyższą jego wartość stwierdzono u roślin rosnących w warunkach deficytu wody, a u odmiany Rugia – w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża. Rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego charakteryzowały się natomiast niższą wartością F_v w stresie suszy – zależność taką wykazano w I i III terminie II roku badań.

Tab. 52. Fluorescencja zmienna (F_v) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	2203,786	a	2200,625	a	2398,000	a	2264,432	a	
	Deficyt	2338,533	a	2092,286	a	2401,200	a	2281,545	a	
	Termin II									
	Optimum	1906,286	a	2068,250	a	2188,643	a	2055,023	a	
	Deficyt	2109,667	a	2122,857	a	2335,333	a	2190,795	a	
	Termin III									
	Optimum	2330,500	a	2223,313	a	2484,143	a	2340,409	a	
	Deficyt	2373,733	a	2404,643	a	2329,000	a	2368,318	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	987,429	a	1078,063	a	1074,571	a	1048,114	a	
	Deficyt	1020,200	a	943,143	a	990,667	b	985,614	b	
	Termin II									
Optimum	960,857	b	1125,375	a	762,714	a	957,636	a		
Deficyt	1038,600	a	970,357	b	664,267	a	889,273	a		
Termin III										
Optimum	1003,643	a	954,313	a	1008,000	a	987,091	a		
Deficyt	904,933	a	891,000	a	885,067	b	893,727	b		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Niezależnie od badanego genotypu, nie wykazano różnic w wartości parametru F_v/F_m pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach zróżnicowanej wilgotności podłoża (tab. 53). W przypadku odmiany Rugia we wszystkich terminach II roku badań niższe wartości F_v/F_m stwierdzono w warunkach suszy. Taką samą zależność wykazano również w jednym terminie (III termin I roku badań) u roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego.

Tab. 53. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_v/F_m) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Genotyp			Średnia
		B	R	N	
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań				
	Termin I				
	Optimum	0,782 a	0,784 a	0,793 a	0,786 a
	Deficvt	0,796 a	0,765 a	0,797 a	0,787 a

		Genotyp				Średnia			
		B		R			N		
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin II								
	Optimum	0,754	a	0,771	a	0,779	a	0,768	a
	Deficyt	0,769	a	0,775	a	0,796	a	0,780	a
	Termin III								
	Optimum	0,796	a	0,785	a	0,809	a	0,796	a
	Deficyt	0,800	a	0,800	a	0,796	b	0,798	a
	II rok badań								
	Termin I								
	Optimum	0,792	a	0,799	a	0,805	a	0,799	a
	Deficyt	0,801	a	0,784	b	0,800	a	0,795	a
	Termin II								
	Optimum	0,785	a	0,804	a	0,743	a	0,779	a
	Deficyt	0,795	a	0,783	b	0,737	a	0,772	a
	Termin III								
	Optimum	0,780	a	0,772	a	0,801	a	0,783	a
	Deficyt	0,765	a	0,764	b	0,805	a	0,778	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

We wszystkich terminach pomiaru, poza III terminem I roku badań, gdy nie wykazano różnic pomiędzy średnimi, rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody, niezależnie od analizowanego genotypu, charakteryzowały się wyższą wartością T_{FM} (tab. 54). Podobne zależności wykazano również dla odmiany Baron von Solemacher (z wyjątkiem III terminu obu lat badań), Rugia (z wyjątkiem II terminu I roku badań) oraz roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego (z wyjątkiem II i III terminu I roku badań).

Tab. 54. Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [ms]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	373,571	b	404,375	b	507,143	b	427,273	b	
	Deficyt	506,667	a	507,143	a	620,000	a	545,455	a	
	Termin II									
	Optimum	240,714	b	236,875	a	273,571	a	249,773	b	
	Deficyt	266,667	a	251,429	a	276,000	a	265,000	a	
	Termin III									
	Optimum	305,000	a	279,375	b	339,286	a	306,591	a	
	Deficyt	341,333	a	309,286	a	356,667	a	336,364	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	578,571	b	493,751	b	671,429	b	577,273	b	
	Deficyt	726,667	a	821,429	a	806,667	a	784,091	a	
	Termin II									
Optimum	277,857	b	324,375	b	317,144	b	307,273	b		
Deficyt	500,000	a	491,429	a	462,000	a	484,318	a		
Termin III										
Optimum	535,000	a	518,750	b	560,000	b	537,045	b		
Deficyt	611,333	a	628,571	a	713,333	a	651,591	a		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Niezależnie od analizowanego genotypu, w I roku badań nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach zróżnicowanej wilgotności podłoża pod względem wartości A_M (tab. 55). Natomiast we wszystkich terminach II roku badań, wyższe wartości A_M stwierdzono u roślin rosnących w stresie suszy. Taką samą zależność wykazano we wszystkich terminach pomiarowych, z wyjątkiem III terminu I roku badań dla odmiany Baron von Solemacher oraz I i II

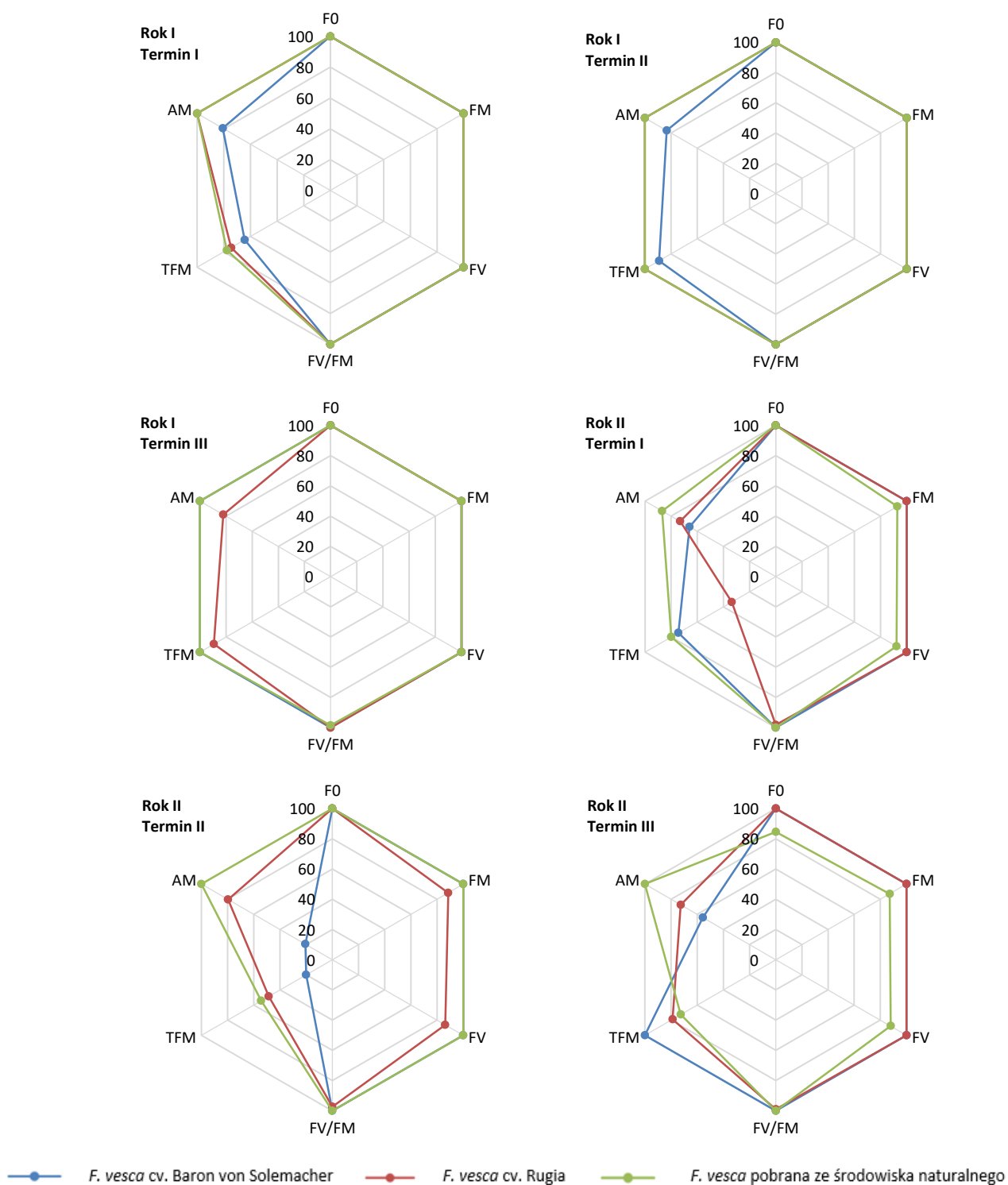
terminu I roku badań – dla odmiany Rugia. W przypadku roślin pobranych ze środowiska naturalnego w czterech terminach oznaczeń nie wykazano różnic w wartości A_M pomiędzy porównywanymi obiektami doświadczalnymi. W przypadku pozostałych terminów zależność ta była analogiczna z ogólną tendencją.

Tab. 55. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [bms]

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań								
	Termin I								
	Optimum	52530,786	b	54069,125	a	68608,929	a	58205,955	a
	Deficyt	62576,733	a	52151,143	a	73210,200	a	62884,545	a
	Termin II								
	Optimum	31023,786	b	35609,250	a	39444,500	a	35370,545	a
	Deficyt	36214,733	a	34992,357	a	43184,267	a	38201,773	a
	Termin III								
	Optimum	45809,500	a	42670,813	b	57824,214	a	48491,023	a
	Deficyt	52129,733	a	50287,571	a	50782,267	a	51084,023	a
	II rok badań								
	Termin I								
	Optimum	28356,286	b	30417,688	b	40694,786	b	33031,773	b
	Deficyt	38018,533	a	38595,500	a	46048,600	a	40939,636	a
Termin II									
Optimum	16458,857	b	23104,000	b	17188,715	a	19107,500	b	
Deficyt	29509,933	a	27784,214	a	19009,800	a	25381,250	a	
Termin III									
Optimum	22092,714	b	23176,813	b	32145,643	a	25685,591	b	
Deficvt	31889,933	a	29535,429	a	36060,133	a	32562,432	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 3 przedstawiono analizę zmian średnich wartości badanych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” dla poszczególnych terminów oznaczeń oraz genotypów *F. vesca*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, największym obniżeniem (F_0 , F_M , F_V , F_V/F_M) lub podwyższeniem (T_{FM} , A_M) analizowanych parametrów, co wskazuje na najmniejsze dostosowanie do warunków niedoboru wody i najsilniejszą niekorzystną reakcję na stres suszy w I i II terminie I roku badań oraz II terminie II roku badań charakteryzowała się odmiana Baron von Solemacher, w III terminie I roku badań i I terminie II roku badań – odmiana Rugia, a w III terminie II roku badań – rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego. Jednocześnie najmniejszymi zmianami analizowanych parametrów w III terminie II roku badań oraz w I i III terminie II roku badań charakteryzowała się odmiana Baron von Solemacher, w I terminie I roku badań oraz III terminie II roku badań – rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego, a w II terminie I roku badań – zarówno rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego, jak i odmiana Rugia.



Ryc. 3. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach genotypów *F. vesca* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 1

Objaśnienia: F0 - fluorescencja początkowa, FM – fluorescencja maksymalna, FV – fluorescencja zmienna, FV/FM - maksymalna, potencjalna efektywność reakcji fotochemicznej w PS II, TFM - czas wzrostu fluorescencji chlorofilu, AM - powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

W większości terminów oznaczeń, niezależnie od badanego genotypu, nie wykazano różnic w zawartości chlorofilu „a” w liściach roślin rosnących w warunkach zróżnicowanej wilgotności podłoża (tab. 56). W II terminie obu lat badań, wykazano natomiast wzrost zawartości tego barwnika pod wpływem stresu suszy. Podobne zależności uzyskano dla odmiany Baron von Solemacher. W przypadku odmiany Rugia większą zawartość chlorofilu „a” w warunkach niedoboru wody w podłożu stwierdzono w III terminie obu lat badań. Natomiast u roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego zależność taką wykazano jedynie w II terminie II roku badań. W przypadku tego genotypu, w III terminie obu lat badań większą zawartość chlorofilu „a” wykazywały rośliny kontrolne.

Tab. 56. Zawartość chlorofilu „a” w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [mg · g⁻¹ św. m.]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	1,711	a	1,360	a	1,995	a	1,689	a	
	Deficyt	1,727	a	1,629	a	2,194	a	1,850	a	
	Termin II									
	Optimum	0,851	b	1,090	a	1,420	a	1,120	b	
	Deficyt	1,409	a	1,274	a	1,629	a	1,437	a	
	Termin III									
	Optimum	1,427	a	1,042	b	1,777	a	1,415	a	
	Deficyt	1,386	a	1,460	a	0,923	b	1,256	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	1,327	a	1,355	a	2,116	a	1,599	a	
	Deficyt	1,852	a	1,553	a	2,250	a	1,885	a	
	Termin II									
	Optimum	1,952	b	1,528	a	1,780	b	1,754	b	
Deficyt	2,372	a	2,143	a	2,034	a	2,183	a		
Termin III										
Optimum	1,857	a	1,641	b	2,201	a	1,900	a		
Deficyt	1,717	a	2,009	a	1,685	b	1,804	a		

Objaśnienia jak w tab. 2.

W trzech terminach pomiaru, niezależnie od badanego genotypu, większą zawartość chlorofilu „b” stwierdzono w liściach roślin rosnących w warunkach deficytu wody w podłożu (tab. 57). W pozostałych terminach nie wykazano różnic pomiędzy średnimi. W przypadku odmian Baron von Solemacher oraz Rugia wyższą zawartość tego barwnika w warunkach suszy stwierdzono odpowiednio w II i III terminie II roku badań. U roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego zależność taką wykazano w trzech terminach oznaczeń. W III terminie II roku badań u tego genotypu wyższą zawartością chlorofilu „b” charakteryzowały się natomiast liście roślin kontrolnych.

Tab. 57. Zawartość chlorofilu „b” w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [mg · g⁻¹ św. m.]

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań								
	Termin I								
	Optimum	0,622	a	0,523	a	0,702	a	0,616	b
	Deficyt	0,685	a	0,741	a	0,860	a	0,762	a
	Termin II								
	Optimum	0,565	a	0,562	a	0,700	b	0,609	b
	Deficyt	0,709	a	0,652	a	1,037	a	0,800	a
	Termin III								
	Optimum	0,531	a	0,523	a	0,387	b	0,637	a
	Deficyt	0,553	a	0,601	a	0,855	a	0,514	a
	II rok badań								
	Termin I								
	Optimum	0,564	a	0,606	a	0,846	a	0,688	a
	Deficyt	0,705	a	0,654	a	0,824	a	0,712	a
	Termin II								
Optimum	0,627	b	0,486	a	0,508	b	0,541	b	
Deficyt	0,768	a	0,695	a	0,637	a	0,700	a	
Termin III									
Optimum	0,627	a	0,591	b	0,721	a	0,646	a	
Deficyt	0,627	a	0,693	a	0,537	b	0,619	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

W większości terminów oznaczeń, niezależnie od badanego genotypu, nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach zróżnicowanej wilgotności podłoża pod względem stosunku zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach (tab. 58). Wyjątkiem był I termin I roku badań, gdy wyższą wartość tego parametru wykazano dla roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia. W przypadku odmiany Baron von Solemacher, w I i III terminie I roku badań większą wartość stosunku zawartości chlorofilu „a” do „b” w liściach wykazano dla roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża, a w II terminie tego roku – dla roślin rosnących w stresie suszy. Dla odmiany Rugia nie wykazano różnic pomiędzy średnimi wartościami tej cechy. Natomiast w trzech terminach oznaczeń, rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego, rosnące w warunkach stresu suszy charakteryzowały się niższą wartością stosunku zawartości chlorofilu „a” do „b” w porównaniu z roślinami kontrolnymi.

Tab. 58. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań								
	Termin I								
	Optimum	2,747	a	2,632	a	2,839	a	2,739	a
	Deficyt	2,525	b	2,190	a	2,557	b	2,424	b
	Termin II								
	Optimum	1,528	b	1,932	a	2,028	a	1,829	a
	Deficyt	1,986	a	1,950	a	1,573	b	1,836	a
	Termin III								
	Optimum	2,684	a	2,074	a	2,107	a	2,288	a
	Deficyt	2,506	b	2,429	a	2,386	a	2,440	a
II rok badań									
Termin I									
Optimum	2,385	a	2,208	a	2,523	a	2,372	a	
Deficyt	2,607	a	2,565	a	2,732	a	2,635	a	

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin II									
	Optimum	3,113	a	3,154	a	3,504	a	3,257	a	
	Deficyt	3,091	a	3,083	a	3,196	b	3,123	a	
	Termin III									
	Optimum	2,963	a	2,780	a	3,056	a	2,933	a	
	Deficyt	2,730	a	2,898	a	3,136	a	2,921	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

W II terminie pomiaru obydwu lat badań, wyższą zawartością chlorofilu całkowitego w liściach, niezależnie od badanego genotypu, charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach stresu suszy (tab. 59). W pozostałych terminach zawartości te nie różniły się od siebie. Podobną zależność wykazano u odmiany Baron von Solemacher w II terminie II roku badań, u odmiany Rugia – w III terminie I i II roku badań, i dla roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego – w II terminie obu lat badań. Jednocześnie ostatni z wymienionych genotypów w III terminie I i II roku badań wykazywał zależność odwrotną.

Tab. 59. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	2,333	a	1,882	a	2,697	a	2,304	a	
	Deficyt	2,411	a	2,369	a	3,053	a	2,611	a	
	Termin II									
	Optimum	1,415	a	1,652	a	2,119	b	1,729	b	
	Deficyt	2,117	a	1,926	a	2,666	a	2,236	a	
	Termin III									
	Optimum	1,958	a	1,565	b	2,631	a	2,051	a	
	Deficyt	1,938	a	2,061	a	1,309	b	1,769	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	1,890	a	2,008	a	2,962	a	2,286	a	
	Deficyt	2,556	a	2,159	a	3,073	a	2,596	a	
	Termin II									
	Optimum	2,579	b	2,014	a	2,288	b	2,294	b	
Deficyt	3,139	a	2,837	a	2,670	a	2,882	a		
Termin III										
Optimum	2,483	a	2,231	b	2,921	a	2,545	a		
Deficyt	2,343	a	2,701	a	2,222	b	2,422	a		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Niezależnie od badanego genotypu, w II terminie obu lat badań, wyższą zawartość karotenoidów stwierdzono w liściach poziomki rosnącej w warunkach deficytu wody w podłożu. W pozostałych terminach pomiaru nie zaobserwowano różnic pomiędzy analizowanymi wariantami (tab. 60). Analogiczną zależność wykazano dla odmiany Baron von Solemacher w II terminie obydwu lat badań, dla ‘Rugii’ – w II terminie I roku badań i III terminie II roku badań oraz dla roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego – w II terminie II roku badań. Jednocześnie, dla ostatniego wymienionego genotypu, w III terminie I i II roku badań większą zawartość karotenoidów stwierdzono w przypadku roślin kontrolnych.

Tab. 60. Zawartość karotenoidów w liściach genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań								
	Termin I								
	Optimum	0,959	a	0,728	a	1,179	a	0,955	a
	Deficyt	1,023	a	0,992	a	1,403	a	1,139	a
	Termin II								
	Optimum	0,672	b	0,748	a	1,009	a	0,810	b
	Deficyt	0,983	a	0,866	a	1,204	a	1,018	a
	Termin III								
	Optimum	0,866	a	0,639	b	1,170	a	0,891	a
	Deficyt	0,920	a	0,846	a	0,667	b	0,811	a
	II rok badań								
	Termin I								
	Optimum	0,683	a	0,696	a	1,050	a	0,810	a
	Deficyt	0,917	a	0,808	a	1,108	a	0,944	a
	Termin II								
Optimum	0,966	b	0,772	a	0,902	b	0,880	b	
Deficyt	1,155	a	1,058	a	1,047	a	1,087	a	
Termin III									
Optimum	0,933	a	0,825	b	1,120	a	0,959	a	
Deficvt	0,912	a	1,047	a	0,902	b	0,954	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 4 przedstawiono analizę zmian średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach dla poszczególnych terminów oznaczeń oraz genotypów *F. vesca*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, największym obniżeniem analizowanych parametrów (najmniejszym polem powierzchni pod wykresem), co wskazuje na najmniejsze dostosowanie do warunków deficytu wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcję na stres suszy, w większości terminów pomiaru charakteryzowały się rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego. Wyjątkiem był I termin II roku badań, gdy pole powierzchni pod wykresem dla wszystkich analizowanych genotypów było takie samo. Natomiast najmniejszym obniżeniem analizowanych parametrów (największym polem powierzchni pod wykresem), w większości terminów badań, charakteryzowały się obie odmiany uprawne, dla których pole przyjmowało takie same wartości. Jedynie w III terminie I roku badań, w przypadku odmiany Rugia, pole powierzchni było większe zarówno od pola dla odmiany Baron von Solemacher, jak i roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

W większości terminów oznaczeń, niezależnie od badanego genotypu, nie wykazano różnic pod względem wartości wskaźnika RWC u roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża (tab. 61). Jedynie w II terminie II roku badań, niższy RWC uzyskano dla roślin rosnących w warunkach stresu suszy. Podobnie, w przypadku odmiany Baron von Solemacher, w większości terminów oznaczeń nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w różnych warunkach uwilgotnienia, za wyjątkiem I terminu I roku badań, gdy wyższą wartość RWC wykazano u roślin w stresie suszy. Dla odmiany Rugia różnice pomiędzy omawianymi wariantami doświadczalnymi wykazano jedynie w I roku badań, gdy we wszystkich terminach pomiarowych

niższe wartości RWC charakteryzowały rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody. Natomiast dla roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego, we wszystkich terminach oznaczeń, nie wykazano różnic w wartości RWC pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.



Ryc. 4. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach genotypów *F. vesca* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich zawartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 1

Objaśnienia: chla – zawartość chlorofilu „a”, chlb – zawartość chlorofilu „b”, chl/b – stosunek zawartości chlorofilu „a” do „b”, chl – zawartość chlorofilu całkowitego, carot – zawartość karotenoidów

Tab. 61. Względna zawartość wody w liściach (RWC) genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [%]

		Genotyp						Średnia		
		B		R		N				
Poziom uwilgotnienia podłoża	I rok badań									
	Termin I									
	Optimum	54,445	b	62,644	a	58,285	a	58,458	a	
	Deficyt	57,062	a	53,366	b	56,126	a	55,518	a	
	Termin II									
	Optimum	54,765	a	55,159	a	65,073	a	58,332	a	
	Deficyt	55,160	a	43,781	b	60,660	a	53,200	a	
	Termin III									
	Optimum	56,308	a	61,177	a	54,813	a	57,432	a	
	Deficyt	63,152	a	52,717	b	56,865	a	57,578	a	
	II rok badań									
	Termin I									
	Optimum	45,245	a	39,875	a	37,150	a	40,757	a	
	Deficyt	45,247	a	38,022	a	35,471	a	37,285	a	
Termin II										
Optimum	42,064	a	40,545	a	30,509	a	37,706	a		
Deficyt	29,790	a	31,226	a	18,812	a	26,609	b		
Termin III										
Optimum	46,258	a	58,035	a	52,958	a	52,417	a		
Deficvt	42,738	a	50,866	a	47,108	a	46,904	a		

Objaśnienia jak w tab. 2.

Plon owoców i masa pojedynczego owocu

Niezależnie od analizowanego genotypu, zarówno w I, jak i II roku badań, rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody w podłożu charakteryzowały się mniejszym plonem owoców oraz mniejszą masą pojedynczego owocu od roślin kontrolnych (tab. 62). Taką samą zależność zarówno dla sumarycznego plonu, jak i masy jednego owocu, wykazano w przypadku obydwu badanych odmian uprawnych. Rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego w żadnym z wariantów doświadczalnych nie wykształciły owoców.

Tab. 62. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) u badanych genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [g]

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Plon owoców								
	I rok								
	Optimum	23,787	a	22,204	a	0,000	x	22,996	a
	Deficyt	5,292	b	5,636	b	0,000	x	5,464	b
	II rok								
	Optimum	33,112	a	23,270	a	0,000	x	29,191	a
	Deficyt	14,825	b	14,618	b	0,000	x	14,722	b
	Masa pojedynczego owocu								
	I rok								
	Optimum	0,653	a	0,587	a	0,000	x	0,620	a
	Deficyt	0,359	b	0,386	b	0,000	x	0,372	b
	II rok								
	Optimum	0,554	a	0,540	a	0,000	x	0,547	a
	Deficyt	0,383	b	0,381	b	0,000	x	0,382	b

Objaśnienia jak w tab. 2.

Świeża i sucha masa systemu korzeniowego

Zarówno w ujęciu ogólnym (niezależnie od genotypu), jak i dla poszczególnych genotypów nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża pod względem świeżej oraz suchej masy korzeni (tab. 63).

Tab. 63. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego badanych genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [g]

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Świeża masa sytemu korzeniowego								
	Optimum	11,813	a	12,303	a	17,796	a	13,637	a
	Deficyt	6,740	a	8,260	a	23,796	a	16,610	a
	Sucha masa systemu korzeniowego								
	Optimum	6,832	a	6,531	a	10,469	a	7,662	a
	Deficvt	4,400	a	4,397	a	15,313	a	10,462	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość wolnej proliny w liściach

Zawartość wolnej proliny w liściach badanych genotypów oznaczono w II roku badań. W I i II terminie oznaczeń, niezależnie od genotypu, wyższą zawartość proliny w liściach wykazano u roślin rosnących w warunkach niedoboru wody w podłożu (tab. 64). Dla odmian uprawnych – ‘Baron von Solemacher’ oraz ‘Rugia’, we wszystkich terminach badań, wyższą zawartość wolnej proliny wykazano u roślin rosnących w stresie suszy. Taka samą zależność wykazano w przypadku roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego, jednak jedynie w II i III terminie pomiaru – w I terminie nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczenia.

Tab. 64. Zawartość wolnej proliny liściach badanych genotypów *F. vesca*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Genotyp						Średnia	
		B		R		N			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	0,591	b	0,843	b	0,873	a	0,769	b
	Deficyt	2,036	a	3,844	a	0,880	a	2,253	a
	Termin II								
	Optimum	0,906	b	1,147	b	0,991	b	1,015	b
	Deficyt	2,926	a	1,610	a	2,695	a	2,410	a
	Termin III								
	Optimum	0,753	b	0,509	b	0,866	b	0,709	a
Deficyt	1,044	a	0,994	a	2,058	a	1,366	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość wybranych pierwiastków

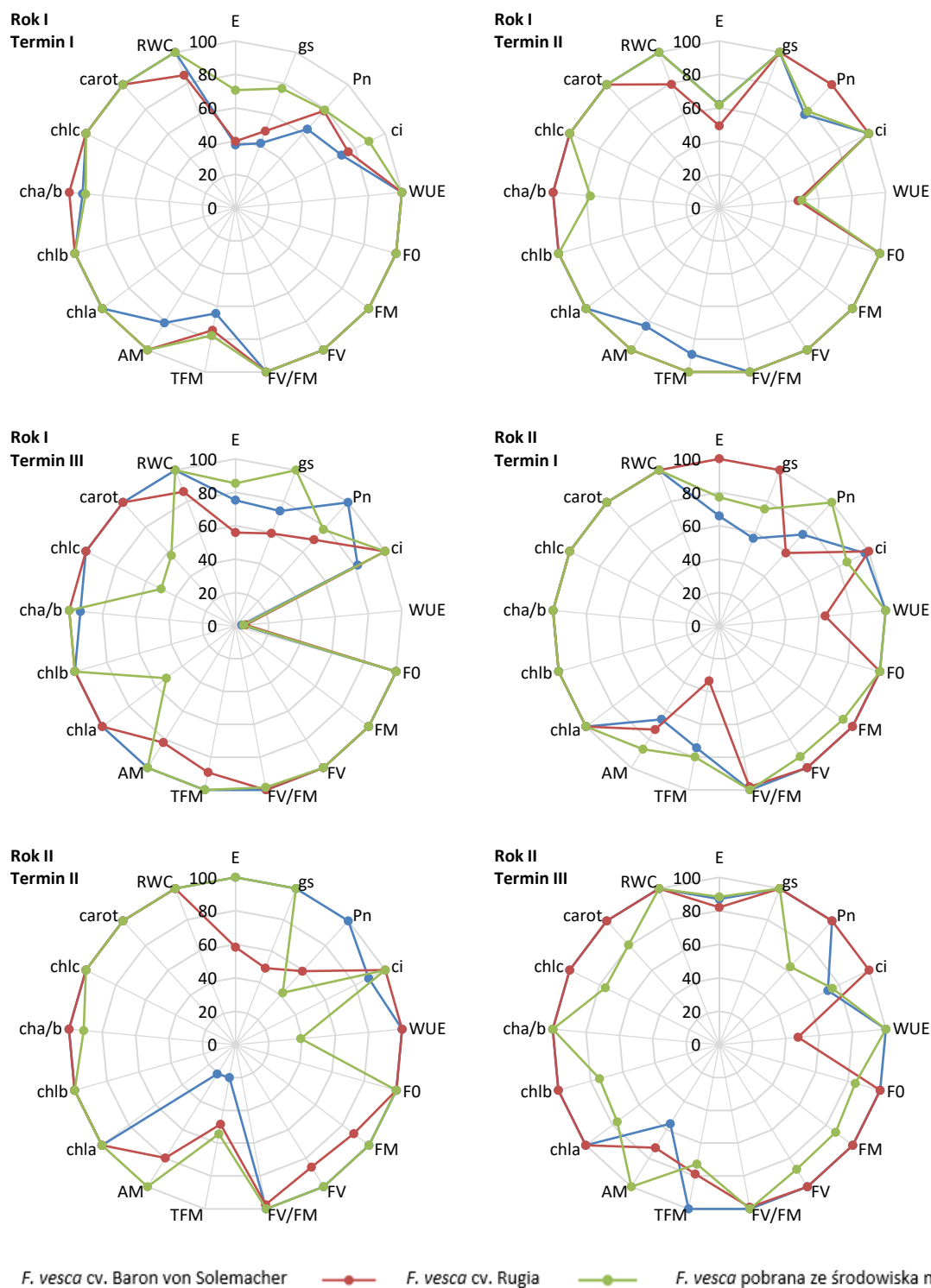
Niezależnie od genotypu wykazano, że rośliny rosnące w stresie suszy oraz w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża nie różniły się między sobą zawartością K, Ca, Na, Cu, Mo, Fe oraz wartością stosunku K:(Ca+Mg) w liściach (zał. Tabele; tab. D). Jednocześnie wykazano, że liście roślin rosnących w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża zawierały więcej Mg, Zn i Mn niż liście roślin kontrolnych. U odmiany Baron von Solemacher wykazano brak różnic w zawartości K, Ca, Na, Zn, Mn, Mo, Fe i stosunku K:(Ca+Mg) oraz wyższą zawartość Mg i Cu w liściach roślin rosnących w stresie suszy. W przypadku odmiany Rugia brak różnic wykazano dla zawartości K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Mo i stosunku K:(Ca+Mg), a wyższą zawartość Na oraz niższą zawartość Fe w liściach – u roślin rosnących w stresie suszy. Liście roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego wykazywały natomiast większe zróżnicowanie składu mineralnego w zależności od warunków uwilgotnienia podłoża w porównaniu z odmianami uprawnymi. Rośliny rosnące

w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża charakteryzowały się wyższą zawartością w liściach Ca oraz niższą – K, Na, Mn, Fe, a także niższym stosunkiem $K:(Ca+Mg)$ niż rośliny rosnące w stresie suszy. W przypadku Mg, Ca, Zn oraz Mo nie wykazano różnic pomiędzy obiektami doświadczalnymi.

Porównując zawartość pierwiastków w **koronach** roślin rosnących w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, niezależnie od genotypu, różnice stwierdzono jedynie w zawartości Na oraz Fe – wyższe wartości uzyskano u roślin rosnących w stresie suszy. U odmiany Baron von Solemacher analogiczne różnice wykazano jedynie dla Mn i Fe. W przypadku odmiany Rugia rosnącej w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, nie wykazano różnic w zawartości oznaczanych pierwiastków oraz wartości stosunku $K:(Ca+Mg)$ w koronach. Natomiast w koronach roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego udowodniono jedynie niższą zawartość Ca oraz wyższy stosunek $K:(Ca+Mg)$ u roślin rosnących w stresie suszy.

Spośród wszystkich analizowanych organów, w **korzeniach** wykazano najwięcej różnic w zawartości oznaczanych pierwiastków pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach optymalnego i deficytowego uwilgotnienia podłoża. Niezależnie od genotypu, wykazano wyższą zawartość Ca, Na, Cu i Zn w korzeniach roślin rosnących w warunkach suszy w stosunku do roślin kontrolnych. W stresie niedoboru wody zaobserwowano podwyższenie zawartości Na i Cu w korzeniach odmiany Baron von Solemacher, Na i Zn – w korzeniach odmiany Rugia oraz K, Mg, Na, Cu i Zn – w korzeniach roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego.

Na ryc. 5. przedstawiono analizę zmian średnich wartości badanych parametrów stanu fizjologicznego roślin, dla poszczególnych terminów oznaczeń oraz genotypów *F. vesca*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) w I i II terminie I roku badań charakteryzowała się odmiana Baron von Solemacher, w III terminie obydwu lat badań – odmiana Rugia, a w I i II terminie II roku badań – rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego. Jednocześnie największym dostosowaniem do warunków suszy (największe pole powierzchni pod wykresem) w III terminie I roku badań oraz II i III terminie II roku badań charakteryzowała się odmiana Baron von Solemacher, w I terminie obydwu lat badań – rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego, a w II terminie I roku badań – odmiana Rugia.



Ryc. 5. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych genotypów *F. vesca* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 1

Objaśnienia: E - intensywność transpiracji H_2O , g_s - przewodnictwo szparkowe H_2O , P_n - intensywność asymilacji CO_2 netto, c_i - podszparkowego stężenia CO_2 , WUE - fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody, F0 - fluorescencja początkowa, FM - fluorescencja maksymalna, FV - fluorescencja zmienna, FV/FM - maksymalna, potencjalna efektywność reakcji fotochemicznej w PS II, TFM - czas wzrostu fluorescencji chlorofilu, AM - powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu, chl a - zawartość chlorofilu „a”, chl b - zawartość chlorofilu „b”, chl a/b - stosunek zawartości chlorofilu „a” do „b”, chl c - zawartość chlorofilu całkowitego, carot - zawartość karotenoidów, RWC - wskaźnik względnej zawartości wody w liściach

3.2.1.2. Porównanie gatunków z rodzaju *Fragaria*

Parametry wymiany gazowej

W I i II terminie pomiaru, niezależnie od badanego gatunku, niższą wartość E wykazano u roślin rosnących w warunkach deficytu wody w podłożu w porównaniu z roślinami kontrolnymi (tab. 65). W przypadku *F. virginiana* zależność taką zaobserwowano we wszystkich terminach badań, u *F. chiloensis* – w I i II, a u *F. vesca* – w I i III terminie. Dla dwóch ostatnich gatunków, w II i III terminie, wykazano natomiast wyższą transpirację u roślin kontrolnych.

Tab. 65. Intensywność transpiracji (E) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]

		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	0,832	a	0,932	a	0,707	a	0,824	a	
	Deficyt	0,501	b	0,654	b	0,465	b	0,540	b	
	Termin II									
	Optimum	0,795	a	0,781	a	0,841	b	0,806	a	
	Deficyt	0,476	b	0,485	b	1,097	a	0,686	b	
	Termin III									
	Optimum	0,733	a	0,321	b	0,573	a	0,542	a	
	Deficyt	0,636	b	0,507	a	0,491	b	0,545	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Niższą wartość g_s dla roślin rosnących w warunkach niedoboru wody w podłożu, niezależnie od gatunku, oraz w przypadku *F. chiloensis*, zaobserwowano w I i II terminie pomiaru (tab. 66). W III terminie wyższą wartością g_s charakteryzowały się poziomki rosnące w warunkach deficytowej wilgotności podłoża. We wszystkich terminach badań *F. virginiana* rosnąca w stresie suszy wykazywała niższą wartość g_s . Dla *F. vesca* zależność taką zaobserwowano jedynie w I terminie pomiaru. W terminie II różnice pomiędzy wariantami doświadczalnymi były nieistotne, a w III – wyższą przewodność szparkową wykazano dla roślin rosnących w stresie suszy.

Tab. 66. Przewodność szparkowa H_2O (g_s) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]

		Gatunek			Średnia
		VI	CH	VE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I				
	Optimum	0,090 a	0,098 a	0,064 a	0,084 a
	Deficyt	0,053 b	0,065 b	0,036 b	0,051 b
	Termin II				
	Optimum	0,081 a	0,067 a	0,043 a	0,064 a
	Deficyt	0,044 b	0,042 b	0,050 a	0,045 b
	Termin III				
	Optimum	0,076 a	0,032 b	0,063 b	0,057 b
Deficyt	0,067 b	0,049 a	0,082 a	0,066 a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

W I i II terminie pomiaru, niezależnie od badanego gatunku, oraz dla *F. virginiana*, nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi pod względem asymilacji CO_2 netto (tab. 67). W III terminie natomiast niższą wartością P_n charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach

optymalnego uwilgotnienia podłoża. Dla *F. chiloensis* niższą wartość P_n w stresie suszy wykazano w II terminie pomiaru – w pozostałych terminach warianty nie różniły się pod względem P_n . W przypadku *F. vesca* zależność taką stwierdzono w I terminie oznaczeń – w II i III wyższą wartością P_n charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody w podłożu.

Tab. 67. Intensywność asymilacji CO_2 netto (P_n) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$mmol\ H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	6,073	a	6,427	a	3,760	a	5,420	a
	Deficyt	5,533	a	6,600	a	2,787	b	4,973	a
	Termin II								
	Optimum	2,380	a	4,260	a	1,520	b	2,720	a
	Deficyt	2,293	a	2,353	b	3,133	a	2,593	a
	Termin III								
	Optimum	0,960	b	3,000	a	2,513	b	2,158	b
Deficyt	1,873	a	3,260	a	4,513	a	3,216	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Niezależnie od gatunku, niższe wartości podszparkowego stężenia CO_2 wykazano w I i II terminie pomiaru u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża (tab. 68). W III terminie warianty doświadczalne nie różniły się od siebie pod względem wartości c_i . U *F. virginiana*, w I terminie pomiaru, niższą wartość c_i stwierdzono u roślin rosnących w stresie suszy – w II i III terminie wartości c_i dla obu wariantów były statystycznie takie same. W przypadku *F. chiloensis* niższą wartość c_i u roślin rosnących w stresie suszy wykazano w I terminie badań, zależność odwrotną – w III terminie, a brak różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi – w terminie II. U *F. vesca* niższą wartość c_i dla obiektów rosnących w stresie suszy wykazano w II i III terminie oznaczeń – w I terminie nie wykazano różnic pomiędzy średnimi.

Tab. 68. Podszparkowe stężenie CO_2 (c_i) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\mu mol\ CO_2 \cdot mol^{-1}$]

		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	326,867	a	300,867	a	298,200	a	3,08,644	a	
	Deficyt	285,133	b	250,400	b	260,800	a	265,444	b	
	Termin II									
	Optimum	348,000	a	294,467	a	355,733	a	332,733	a	
	Deficyt	323,467	a	300,467	a	316,133	b	313,356	b	
	Termin III									
	Optimum	398,800	a	268,800	b	498,467	a	388,689	a	
Deficyt	388,667	a	345,667	a	361,333	b	365,222	a		

Objaśnienia jak w tab. 22.

Różnice pod względem wartości współczynnika WUE pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża, niezależnie od genotypu, wykazano jedynie w I terminie pomiaru, gdy wyższą wartość zaobserwowano u roślin rosnących w warunkach deficytu wody (tab. 69). Taka samą zależność wykazano we wszystkich terminach badań dla *F. virginiana* oraz w II i III terminie dla *F. vesca*. W przypadku *F. chiloensis* różnice w wartości WUE pomiędzy

roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża zaobserwowano jedynie w III terminie pomiaru – wyższy współczynnik wykazano dla poziomek rosnących w warunkach optymalnej wilgotności podłoża.

Tab. 69. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Gatunek			Średnia
		VI	CH	VE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I				
	Optimum	7,683 b	8,037 a	5,409 a	7,043 b
	Deficyt	11,891 a	10,157 a	6,593 a	9,547 a
	Termin II				
	Optimum	3,355 b	5,607 a	1,922 b	3,628 a
	Deficyt	5,186 a	5,012 a	2,938 a	4,379 a
	Termin III				
	Optimum	1,282 b	9,967 a	4,656 b	5,302 a
	Deficyt	3,007 a	6,502 b	9,285 a	6,265 a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Na ryc. 6. przedstawiono analizę zmian średnich wartości parametrów wymiany gazowej dla poszczególnych terminów oznaczeń oraz gatunków z rodzaju *Fragaria*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni pod linią wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) w I i III terminie pomiarowym charakteryzowała się *F. vesca*, a w II terminie – *F. chiloensis*. Jednocześnie największym dostosowaniem do warunków suszy (największe pole powierzchni pod wykresem), w każdym terminie pomiarowym, charakteryzowały się rośliny innego gatunku: w I terminie – *F. chiloensis*, w II – *F. vesca*, a w III terminie – *F. virginiana*.

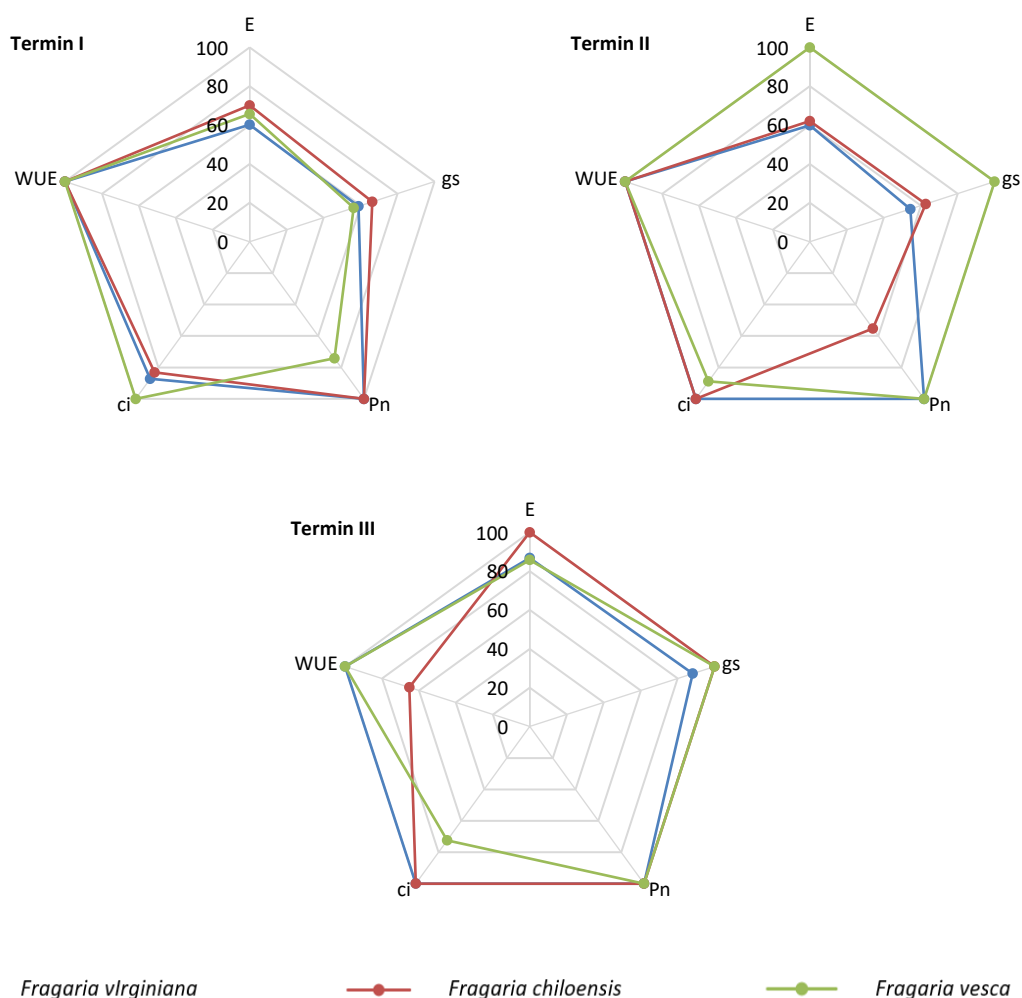
Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Analizując średnie wartości parametru F_0 , nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża (tab. 70). Obniżenie tego parametru u *F. virginiana* rosnącej w stresie suszy zaobserwowano jedynie w II terminie pomiarowym, a podwyższenie – u *F. chiloensis*.

Tab. 70. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	241,214	a	223,143	a	259,143	a	241,167	a
	Deficyt	230,500	a	249,000	a	251,000	a	243,500	a
	Termin II								
	Optimum	239,143	a	214,000	b	261,857	a	238,333	a
	Deficyt	222,286	b	234,786	a	267,000	a	241,357	a
	Termin III								
	Optimum	227,857	a	218,429	a	266,857	a	237,714	a
Deficyt	226,643	a	215,071	a	275,857	a	239,190	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.



Ryc. 6. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 2.

Niezależnie od badanego gatunku oraz dla *F. chiloensis*, w II i III terminie pomiaru, niższą wartość F_M stwierdzono u roślin rosnących w warunkach stresu suszy (tab. 71). W I terminie nie wykazano różnic pomiędzy średnimi. W przypadku *F. virginiana* i *F. vesca* warianty doświadczalne nie różniły się od siebie pod względem wartości F_M we wszystkich terminach badań.

Tab. 71. Fluorescencja maksymalna (F_M) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	1271,857	a	1271,000	a	1246,571	a	1263,143	a	
	Deficyt	1223,143	a	1327,929	a	1252,429	a	1267,833	a	
	Termin II									
	Optimum	1134,500	a	1265,429	a	1222,714	a	1207,548	a	
	Deficyt	1089,857	a	957,071	b	1295,143	a	1114,024	b	
	Termin III									
	Optimum	1145,714	a	1340,214	a	1173,929	a	1252,143	a	
	Deficyt	1155,786	a	1094,643	b	1270,500	a	1141,452	b	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Analogicznie jak w przypadku parametru F_M , niższą wartość F_V u roślin rosnących w warunkach suszy, niezależnie od gatunku, oraz dla *F. chiloensis* zaobserwowano w II i III terminie pomiaru (tab. 72). W I terminie nie wykazano różnic pomiędzy średnimi dla porównywanych wariantów doświadczalnych. *F. virginiana* i *F. vesca* nie różniły się od siebie pod względem wartości parametru F_V we wszystkich terminach pomiaru.

Tab. 72. Fluorescencja zmienna (F_V) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	1030,643	a	1047,857	a	987,429	a	1021,976	a	
	Deficyt	992,643	a	1078,929	a	1001,429	a	1024,333	a	
	Termin II									
	Optimum	895,357	a	1051,429	a	960,857	a	969,214	a	
	Deficyt	867,571	a	722,286	b	1028,143	a	872,667	b	
	Termin III									
	Optimum	917,857	a	1121,786	a	1003,643	a	1014,429	a	
	Deficyt	929,143	a	879,571	b	898,071	a	902,262	b	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Niższą wartość F_V/F_M u roślin rosnących w warunkach suszy, niezależnie od gatunku, zaobserwowano jedynie w II terminie badań (tab. 73). W I i III terminie nie wykazano różnic pomiędzy średnimi dla porównywanych wariantów doświadczalnych. *F. chiloensis* rosnąca w warunkach niedoboru wody w podłożu charakteryzowała się niższą wartością F_V/F_M w II i III terminie badań. W przypadku *F. virginiana* i *F. vesca* rosnących w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych podłoża, nie wykazano różnic pod względem wartości F_V/F_M .

Tab. 73. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Gatunek			Średnia
		VI	CH	VE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I				
	Optimum	0,807 a	0,819 a	0,792 a	0,806 a
	Deficyt	0,810 a	0,811 a	0,799 a	0,807 a
	Termin II				
	Optimum	0,782 a	0,830 a	0,785 a	0,799 a
	Deficyt	0,794 a	0,746 b	0,793 a	0,778 b
	Termin III				
	Optimum	0,799 a	0,836 a	0,780 a	0,805 a
	Deficyt	0,803 a	0,800 b	0,763 a	0,788 a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Wyższą wartość T_{FM} u roślin rosnących w warunkach suszy, niezależnie od gatunku oraz dla *F. chiloensis* zaobserwowano jedynie w II terminie pomiaru (tab. 74). W I i III terminie nie wykazano różnic pomiędzy średnimi dla porównywanych wariantów. W przypadku *F. virginiana* rosnącej w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych podłoża, nie wykazano różnic pod względem wartości T_{FM} we wszystkich terminach pomiaru. Natomiast dla *F. vesca* wykazano wyższą wartość tego parametru w warunkach niedoboru wody – zależność taką zanotowano w I i II terminie pomiarowym.

Tab. 74. Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [ms]

		Gatunek						Średnia		
		VI			CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	707,143	a	807,143	a	578,571	b	697,619	a	
	Deficyt	750,000	a	771,429	a	707,143	a	742,857	a	
	Termin II									
	Optimum	785,714	a	807,144	b	277,857	b	623,587	b	
	Deficyt	850,000	a	885,714	a	507,143	a	747,619	a	
	Termin III									
	Optimum	835,714	a	857,143	a	535,000	a	742,619	a	
	Deficyt	850,000	a	864,286	a	612,143	a	775,476	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Wyższą wartość A_M u roślin rosnących w warunkach suszy, niezależnie od gatunku oraz dla *F. virginiana* zaobserwowano w II terminie pomiaru, a dla *F. vesca* – we wszystkich terminach pomiarowych (tab. 75). Jednocześnie, w III terminie pomiaru, dla *F. chiloensis* zaobserwowano zależność odwrotną.

Tab. 75. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [bms]

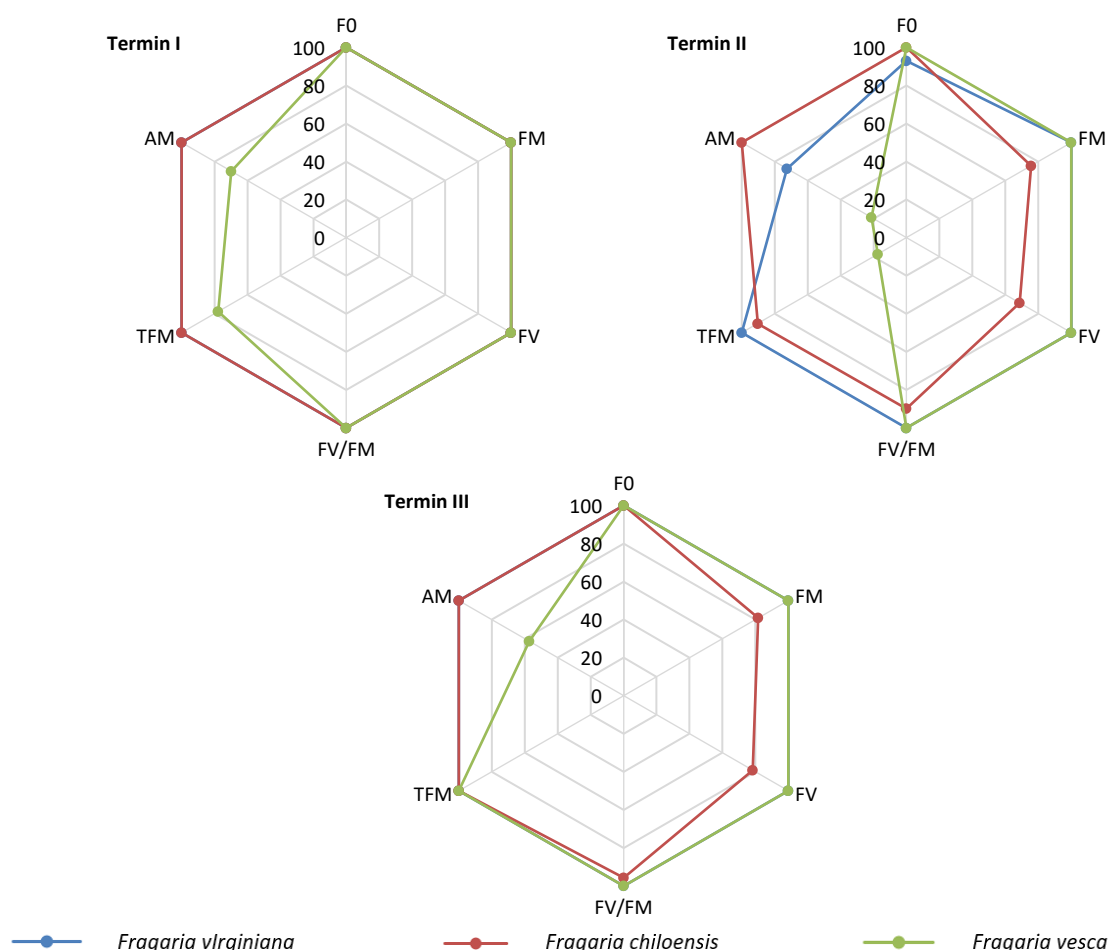
		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	39243,214	a	43817,571	a	28356,286	b	37139,024	a	
	Deficyt	40077,429	a	45367,714	a	36927,071	a	40790,738	a	
	Termin II									
	Optimum	34927,000	b	44507,714	a	16458,857	b	31964,524	b	
	Deficyt	44518,214	a	40120,143	a	29417,500	a	38018,619	a	
	Termin III									
	Optimum	37315,143	a	55044,214	a	22092,714	b	38150,690	a	
	Deficyt	44464,786	a	41429,357	b	31563,429	a	39152,524	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Na ryc. 7. przedstawiono analizę zmian średnich wartości oznaczanych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” dla poszczególnych terminów badań oraz gatunków z rodzaju *Fragaria*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem), we wszystkich terminach pomiaru, charakteryzowała się *F. vesca*. Jednocześnie największym dostosowaniem do warunków deficytu wodnego (największe pole powierzchni pod wykresem), we wszystkich terminach badań, cechowała się *F. virginiana*, przy czym w I terminie pole powierzchni pod wykresem tej samej wielkości wykazano także dla *F. chiloensis*.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

We wszystkich terminach pomiaru, niezależnie od badanego gatunku oraz w przypadku *F. chiloensis*, rośliny rosnące w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża nie różniły się od siebie pod względem zawartości chlorofilu „a” w liściach (tab. 76). Różnice stwierdzono jedynie w II terminie pomiaru, dla *F. virginiana* oraz *F. vesca*, w przypadku których wyższą zawartość chlorofilu „a” w liściach wykazano w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża.



Ryc. 7. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 3.

Tab. 76. Zawartość chlorofilu „a” w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I									
	Optimum	2,087	a	1,721	a	1,327	a	1,712	a	
	Deficyt	2,046	a	1,883	a	1,852	a	1,927	a	
	Termin II									
	Optimum	1,326	b	1,386	a	1,952	b	1,556	a	
	Deficyt	1,785	a	1,218	a	2,372	a	1,792	a	
	Termin III									
	Optimum	1,834	a	1,779	a	3,119	a	2,154	a	
	Deficyt	1,969	a	1,508	a	3,030	a	2,260	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Niezależnie od analizowanego gatunku, w każdym terminie pomiaru rośliny rosnące w warunkach zróżnicowanej wilgotności nie różniły się od siebie pod względem zawartości chlorofilu „b” w liściach (tab. 77). Różnice zaobserwowano jedynie w II terminie badań, gdy u *F. virginiana* oraz *F. vesca* wyższą zawartość chlorofilu „b” wykazano u roślin rosnących w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża, a u *F. chiloensis* – zawartość niższą.

Tab. 77. Zawartość chlorofilu „b” w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	0,716	a	0,856	a	0,564	a	0,712	a
	Deficyt	0,837	a	0,979	a	0,705	a	0,840	a
	Termin II								
	Optimum	0,482	b	0,481	a	0,627	b	0,530	a
	Deficyt	0,635	a	0,399	b	0,768	a	0,601	a
	Termin III								
	Optimum	0,603	a	0,494	a	0,162	a	0,420	a
	Deficyt	0,664	a	0,541	a	0,143	a	0,449	a

Objaśnienia jak w tab. 22.

We wszystkich terminach badań, niezależnie od gatunku oraz dla *F. chiloensis* i *F. vesca* wykazano brak różnic pod względem wartości stosunku zawartości chlorofilu „a” do „b” w liściach. (tab. 78). Różnice zaobserwowano jedynie w I terminie pomiaru, dla *F. virginiana*, u której wykazano obniżenie wartości tej cechy w warunkach deficytu wodnego.

Tab. 78. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	2,917	a	2,039	a	2,385	a	2,447	a
	Deficyt	2,459	b	1,923	a	2,607	a	2,330	a
	Termin II								
	Optimum	2,757	a	2,885	a	3,113	a	2,918	a
	Deficyt	2,812	a	3,044	a	3,091	a	2,982	a
	Termin III								
	Optimum	3,046	a	3,176	a	15,529	a	8,584	a
	Deficyt	2,965	a	3,293	a	21,402	a	9,220	a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Niezależnie od analizowanego gatunku oraz w przypadku *F. chiloensis*, w każdym z terminów pomiaru, rośliny rosnące w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża nie różniły się od siebie pod względem zawartości chlorofilu całkowitego w liściach (tab. 79). Różnice wykazano jedynie w II terminie pomiaru, gdy dla *F. virginiana* oraz *F. vesca* wyższą zawartość chlorofilu całkowitego stwierdzono w warunkach deficytowej wilgotności podłoża.

Tab. 79. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	2,803	a	2,576	a	1,890	a	2,423	a
	Deficyt	2,882	a	2,862	a	2,556	a	2,767	a
	Termin II								
	Optimum	1,809	b	1,867	a	2,579	b	2,085	a
	Deficyt	2,419	a	1,617	a	3,139	a	2,392	a
	Termin III								
	Optimum	2,436	a	2,001	a	3,281	a	2,573	a
Deficyt	2,632	a	2,319	a	3,173	a	2,708	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Analogicznie jak w przypadku zawartości chlorofilu całkowitego w liściach, również dla karotenoidów, niezależnie od analizowanego gatunku oraz dla *F. chiloensis*, w każdym terminie

pomiaru, rośliny rosnące w warunkach zróżnicowanej wilgotności podłoża nie różniły się od siebie pod względem zawartości tej grupy barwników w liściach (tab. 80). Różnice zaobserwowano jedynie w II terminie badań, gdy dla *F. virginiana* oraz *F. vesca* wyższą zawartość karotenoidów wykazano u roślin rosnących w warunkach suszy.

Tab. 80. Zawartość karotenoidów w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

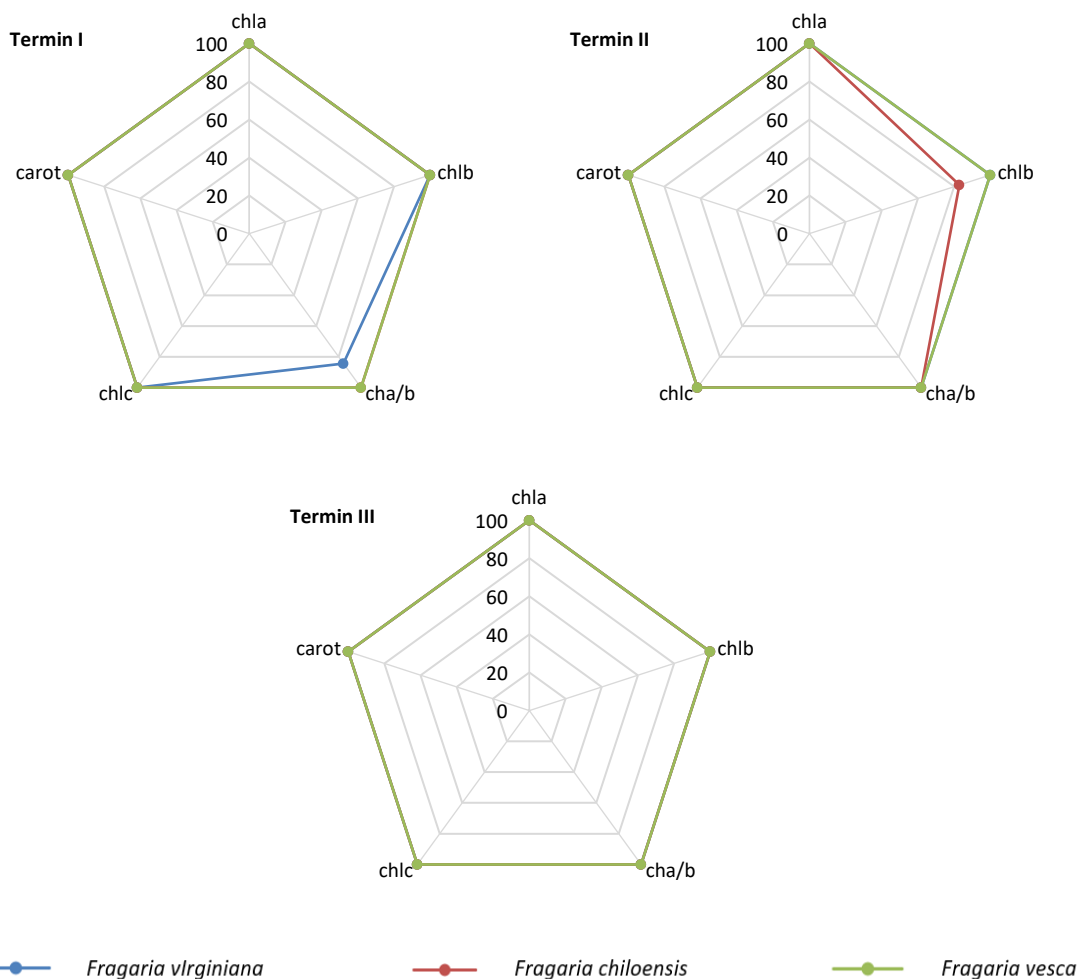
		Gatunek			Średnia
		VI	CH	VE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I				
	Optimum	0,941 a	0,801 a	0,683 a	0,809 a
	Deficyt	0,934 a	0,861 a	0,917 a	0,904 a
	Termin II				
	Optimum	0,655 b	0,663 a	0,966 b	0,761 a
	Deficyt	0,868 a	0,603 a	1,155 a	0,875 a
	Termin III				
	Optimum	0,891 a	0,731 a	0,431 a	0,685 a
	Deficyt	0,949 a	0,838 a	0,390 a	0,726 a

Objaśnienia jak w tab. 22.

Na ryc. 8. przedstawiono analizę zmian średniej zawartości barwników asymilacyjnych w liściach, dla poszczególnych terminów oznaczeń oraz gatunków z rodzaju *Fragaria*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem), w I terminie pomiarowym, charakteryzowała się *F. virginiana*, a w II – *F. chiloensis*. Jednocześnie, w tych samych terminach, największym dostosowaniem do warunków niedoboru wody (największe pole powierzchni pod wykresem), w I terminie, charakteryzowały się *F. chiloensis* i *F. vesca*, a w II terminie – *F. virginiana* i *F. vesca*. W III terminie pomiarowym pola powierzchni pod wykresem dla wszystkich badanych gatunków były jednakowej wielkości.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

Analizując średnie wartości współczynnika RWC u roślin rosnących w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, jedynie w I terminie pomiaru, niezależnie od gatunku, wykazano niższą jego wartość w przypadku roślin rosnących w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża – w pozostałych terminach nie wykazano różnic pomiędzy średnimi dla porównywanych wariantów doświadczalnych. (tab. 81). Podobną zależność zaobserwowano także w I terminie dla *F. virginiana*, oraz w II terminie dla *F. chiloensis*. W pozostałych przypadkach, w tym we wszystkich terminach dla *F. vesca*, nie wykazano różnic w wartości RWC pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.



Ryc. 8. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich zawartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 4.

Tab. 81. Względna zawartość wody w liściach (RWC) gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [%]

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	56,617	a	54,508	a	45,247	a	52,124	a
	Deficyt	45,441	b	47,930	a	38,361	a	43,911	b
	Termin II								
	Optimum	55,657	a	58,370	a	42,064	a	52,030	a
	Deficyt	56,785	a	42,503	b	29,790	a	43,026	a
	Termin III								
	Optimum	52,838	a	53,974	a	46,258	a	51,023	a
Deficyt	38,951	a	57,614	a	42,738	a	46,434	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Świeża i sucha masa systemu korzeniowego

Niezależnie od badanego gatunku, jak i dla *F. virginiana* i *F. vesca*, nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża pod względem świeżej oraz suchej masy systemu korzeniowego (tab. 82). U *F. chiloensis* większą suchą masę systemu korzeniowego stwierdzono w warunkach deficytu wilgotności.

Tab. 82. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego badanych gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [g]

		Gatunek						Średnia		
		VI		CH		VE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Świeża masa systemu korzeniowego									
	Optimum	42,258	a	3,440	a	12,195	a	12,633	a	
	Deficyt	10,765	a	5,911	a	8,197	a	7,297	a	
	Sucha masa systemu korzeniowego									
	Optimum	11,378	a	1,269	b	6,429	a	5,214	a	
	Deficyt	4,302	a	2,415	a	4,319	a	3,278	a	

Objaśnienia jak w tab. 22.

Zawartość wolnej proliny w liściach

Niezależnie od porównywanych gatunków z rodzaju *Fragaria*, jak również dla *F. virginiana* i *F. vesca*, nie wykazano różnic pod względem zawartości wolnej proliny w liściach, pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża (tab. 83). Natomiast we wszystkich terminach oznaczeń u *F. vesca* stwierdzono wyższą zawartość wolnej proliny w liściach roślin rosnących w stresie suszy.

Tab. 83. Zawartość wolnej proliny w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria*, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [mg · g⁻¹ św. m.]

		Gatunek						Średnia	
		VI		CH		VE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I								
	Optimum	0,479	a	0,467	a	0,591	b	0,512	a
	Deficyt	0,438	a	0,751	a	2,036	a	1,075	a
	Termin II								
	Optimum	0,660	a	1,081	a	0,906	b	0,882	a
	Deficyt	0,686	a	0,765	a	2,926	a	1,459	a
	Termin III								
	Optimum	0,545	a	0,722	a	0,753	b	0,673	a
	Deficyt	0,553	a	0,583	a	1,044	a	0,727	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Zawartość wybranych pierwiastków

Niezależnie od gatunku wykazano, że rośliny rosnące w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża nie różniły się między sobą zawartością wszystkich analizowanych pierwiastków oraz stosunkiem K:(Ca+Mg) w liściach (zał. Tabele; tab. E). U gatunku *F. virginiana* wykazano obniżenie zawartości Mg w liściach roślin rosnących w stresie suszy. Natomiast w liściach gatunku *F. chiloensis* rosnącego w warunkach niedoboru wody w podłożu, wykazano podwyższenie zawartości Mn, a u *F. vesca* – Mg. W przypadku pozostałych pierwiastków i stosunku K:(Ca+Mg) nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.

Porównując zawartość pierwiastków w koronach roślin rosnących w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, niezależnie od gatunku, stwierdzono różnice jedynie w zawartości Mn – wyższe wartości uzyskano u roślin rosnących w stresie suszy. U gatunku *F. virginiana* analogiczną różnicę wykazano jedynie dla Cu, a u *F. chiloensis* – dla Ca i Mn. W koronach roślin z gatunku *F. vesca* wykazano natomiast niższe zawartości Zn i wyższe Mn – u roślin rosnących w stresie suszy.

W przypadku pozostałych pierwiastków i stosunku K:(Ca+Mg) nie wykazano różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.

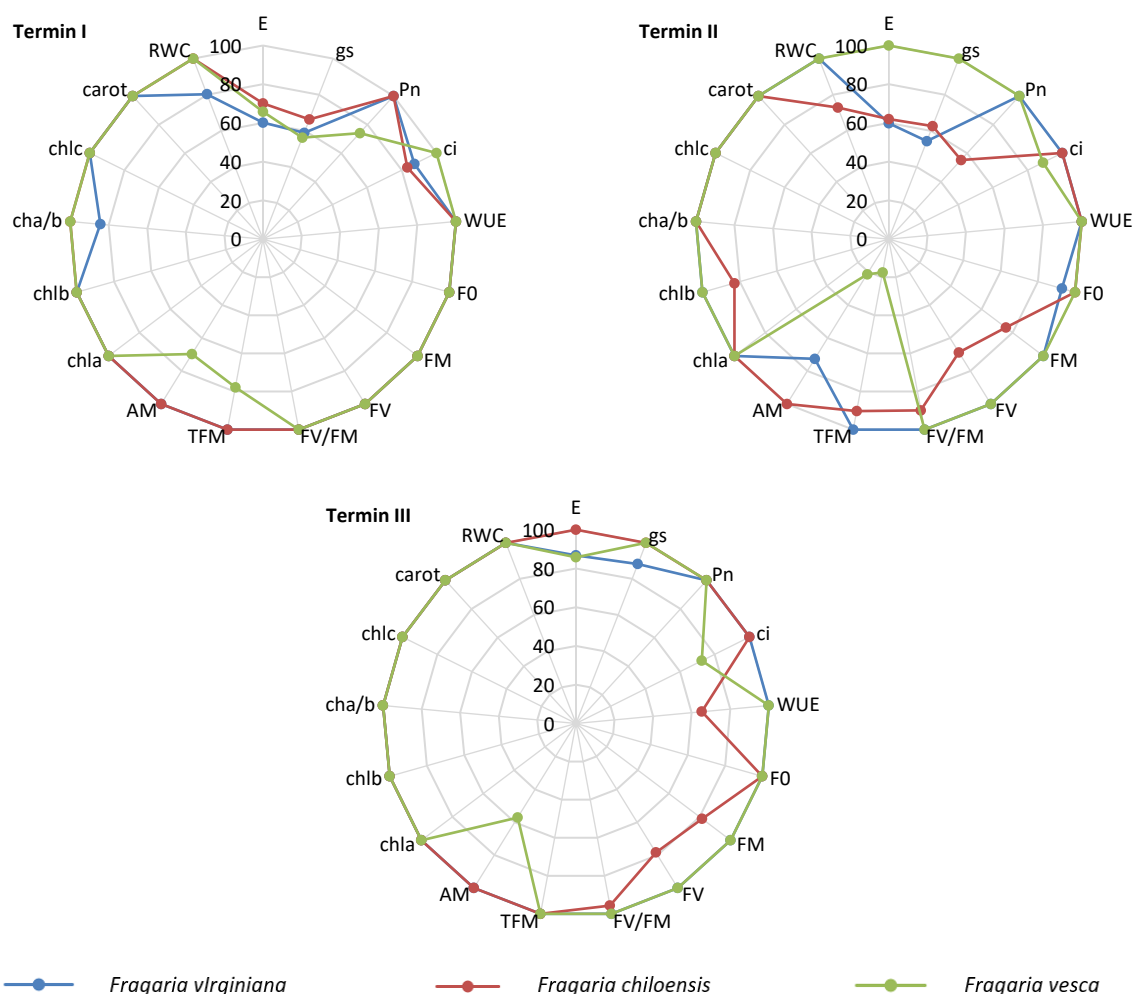
Spośród wszystkich analizowanych organów, w **korzeniach** wykazano najmniej różnic w zawartości oznaczanych pierwiastków pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach optymalnego i deficytowego uwilgotnienia podłoża. Niezależnie od genotypu wykazano, że rośliny te nie różniły się pod względem zawartości wszystkich oznaczanych pierwiastków oraz stosunku K:(Ca+Mg) w korzeniach. Analogiczne wyniki uzyskano również w przypadku zawartości pierwiastków w korzeniach gatunku *F. virginiana* oraz *F. vesca*. W przypadku gatunku *F. chiloensis* wykazano jedynie wyższą zawartość Mn w korzeniach roślin rosnących w stresie suszy, w porównaniu z roślinami kontrolnymi.

Na ryc. 9. przedstawiono analizę zmian średnich wartości badanych parametrów stanu fizjologicznego, dla poszczególnych terminów oznaczeń oraz gatunków z rodzaju *Fragaria*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) w I i III terminie pomiarów charakteryzowała się *F. vesca*, a w II terminie – *F. chiloensis*. Jednocześnie największym dostosowaniem do warunków deficytu wody (największe pole powierzchni pod wykresem) w I terminie charakteryzowała się *F. chiloensis*, a w II i III terminie – *F. virginiana*.

3.2.1.3. Porównanie roślin pozyskanych z kultur *in vitro* i sadzonek zielnych

Parametry wymiany gazowej

W I i III terminie pomiarów, niezależnie od metody rozmnażania, którą pozyskano rośliny, wykazano, że poziomki rosnące w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia podłoża charakteryzowały się mniejszą transpiracją niż rośliny kontrolne (tab. 84). W II terminie nie wykazano różnic pod względem tej cechy pomiędzy wariantami doświadczalnymi. Takie same zależności stwierdzono dla roślin pozyskanych z kultur *in vitro* (INV). Natomiast wśród roślin pozyskanych z sadzonek zielnych (ZIE), w I i III terminie oznaczeń mniejszą wartością E charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach deficytu wodnego, w II terminie zaś – w warunkach optymalnej wilgotności podłoża.



Ryc. 9. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych gatunków z rodzaju *Fragaria* w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 5.

Tab. 84. Intensywność transpiracji (E) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	0,587	a	0,707	a	0,647	a
	Deficyt	0,281	b	0,465	b	0,373	b
	Termin II						
	Optimum	0,492	a	0,841	b	0,667	a
	Deficyt	0,478	a	1,097	a	0,788	a
	Termin III						
	Optimum	0,561	a	0,573	a	0,567	a
	Deficvt	0,216	b	0,491	b	0,354	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Niezależnie od metody pozyskania roślin, jak i w przypadku roślin INV i ZIE, w I i III terminie pomiarów wykazano, że poziomki rosnące w warunkach deficytu wodnego charakteryzowały się niższą wartością g_s niż rośliny rosnące w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża (tab. 85).

Jednocześnie w II terminie we wszystkich wariantach nie wykazano różnic w przewodności szparkowej pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.

Tab. 85. Przewodność szparkowa H_2O (g_s) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$mmol\ H_2O\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$]

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	0,061 a	0,064 a	0,063 a
	Deficyt	0,025 b	0,036 b	0,030 b
	Termin II			
	Optimum	0,034 a	0,043 a	0,039 a
	Deficyt	0,035 a	0,050 a	0,042 a
	Termin III			
	Optimum	0,083 a	0,063 b	0,073 a
	Deficyt	0,018 b	0,082 a	0,050 b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Niezależnie od metody pozyskania roślin, w I terminie pomiaru wykazano, że rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody w podłożu charakteryzowały się niższą wartością P_n w porównaniu z roślinami kontrolnymi, w II terminie – wartością wyższą, a w III terminie natomiast nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie (tab. 86). We wszystkich terminach pomiarowych u roślin INV oraz w I terminie dla roślin ZIE wykazano zmniejszenie fotosyntezy netto pod wpływem niedoboru wody w podłożu. W II i III terminie badań, w przypadku roślin ZIE, wyższe natężenie fotosyntezy cechowało natomiast rośliny rosnące w warunkach deficytu wodnego.

Tab. 86. Intensywność asymilacji CO_2 netto (P_n) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$mmol\ H_2O\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$]

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	3,540 a	3,760 a	3,650 a
	Deficyt	1,989 b	2,787 b	2,388 b
	Termin II			
	Optimum	2,147 a	1,520 b	1,833 b
	Deficyt	1,527 b	3,133 a	2,330 a
	Termin III			
	Optimum	4,387 a	2,513 b	3,450 a
	Deficyt	1,007 b	4,513 a	2,760 a

Objaśnienia jak w tab. 28.

W I i III terminie pomiaru wykazano, że rośliny rosnące w warunkach suszy, niezależnie od metody pozyskania, charakteryzowały się niższą wartością c_i niż rośliny rosnące w warunkach optymalnej wilgotności podłoża (tab. 87). Jednocześnie w II terminie oznaczeń nie wykazano pod tym względem różnic pomiędzy nimi. Dla roślin INV różnice w wartości c_i między wariantami rosnącymi w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia wykazano jedynie w III terminie badań, gdy niższą wartością tego parametru charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach niedoboru wody. Taką samą zależność wykazano we wszystkich terminach oznaczeń dla roślin ZIE.

Tab. 87. Podszparkowe stężenie CO₂ (c_i) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$]

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	326,667	a	298,000	a	312,433	a
	Deficyt	305,400	a	260,800	b	281,600	b
	Termin II						
	Optimum	301,600	a	355,733	a	328,667	a
	Deficyt	315,267	a	316,133	b	315,700	a
	Termin III						
	Optimum	575,867	a	498,467	a	537,167	a
	Deficyt	281,733	b	361,333	b	321,533	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Pod względem wartości współczynnika WUE, różnice pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża, niezależnie od metody ich pozyskania, wykazano jedynie w I terminie pomiaru, gdy wyższą wartością tego parametru charakteryzowały się rośliny rosnące w stresie suszy (tab. 88). Taka samą zależność wykazano także dla roślin ZIE w II i III terminie badań. W pozostałych przypadkach, w tym dla wszystkich terminów pomiaru roślin INV, nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 88. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	6,167 a	5,409 a	5,788 b
	Deficyt	7,712 a	6,593 a	7,153 a
	Termin II			
	Optimum	4,651 a	1,922 b	3,286 a
	Deficyt	4,062 a	2,938 a	3,500 a
	Termin III			
	Optimum	7,856 a	4,656 b	6,256 a
	Deficyt	5,824 a	9,285 a	7,554 a

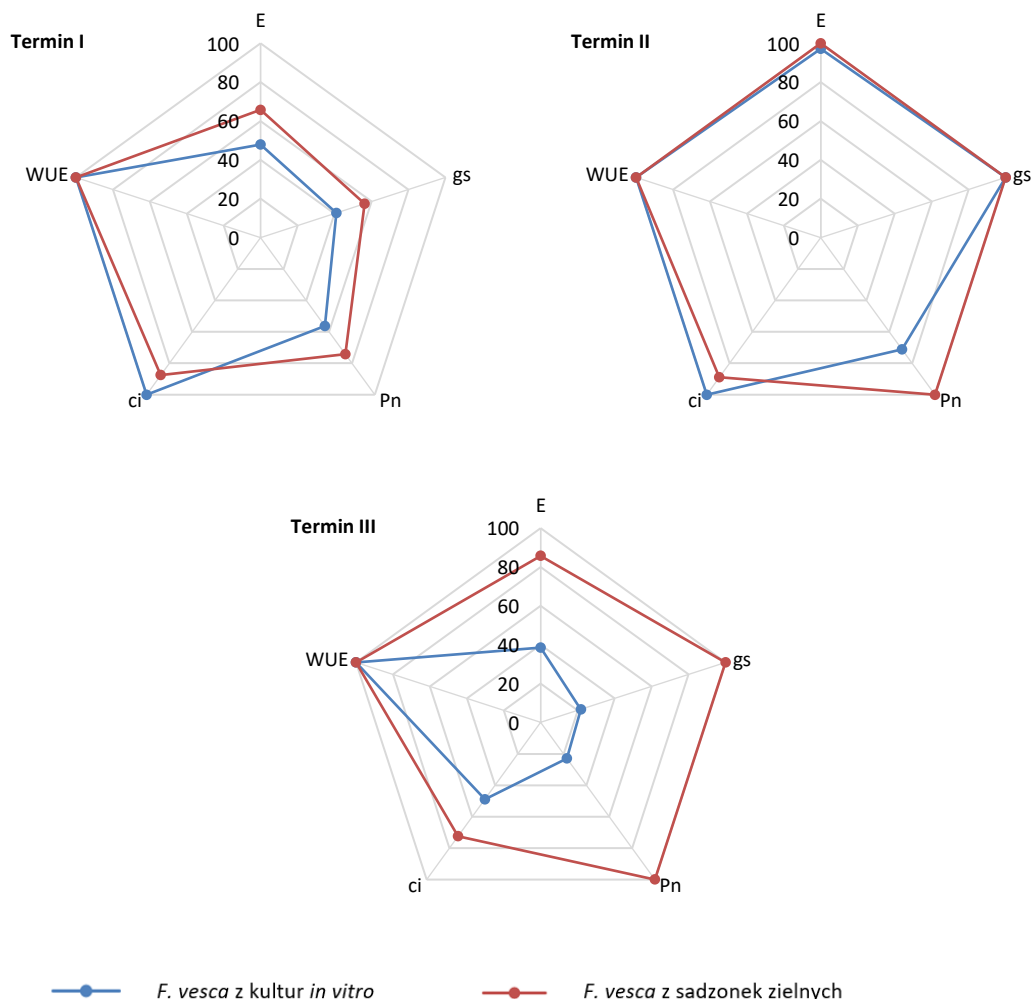
Objaśnienia jak w tab. 28.

Na ryc. 10. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej *F. vesca* cv. Rugia pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, w poszczególnych terminach oznaczeń. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem), we wszystkich terminach oznaczeń, charakteryzowały się rośliny pozyskane z kultur *in vitro*.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Niezależnie od metody pozyskania roślin, jedynie w II terminie oznaczeń, wykazano różnice pomiędzy poziomkami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża pod względem parametru F₀. Rośliny rosnące w warunkach stresu suszy charakteryzowały się wyższą wartością fluorescencji zerowej (tab. 89). Taka samą zależność wykazano również w II terminie pomiaru dla roślin INV. W III terminie oznaczeń, dla roślin INV wykazano natomiast zależność

odwrotną – wyższą wartością F_0 charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach optymalnego uwilgotnienia. W pozostałych przypadkach, w tym we wszystkich terminach pomiaru dla roślin ZIE, nie wykazano różnic pod względem F_0 pomiędzy poziomkami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.



Ryc. 10. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3

Objaśnienia jak w ryc. 2.

Tab. 89. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	244,533	a	256,733	a	250,633	a
	Deficyt	246,000	a	252,200	a	249,100	a
	Termin II						
	Optimum	229,600	b	262,733	a	246,167	b
	Deficyt	268,267	a	266,733	a	267,500	a
	Termin III						
	Optimum	244,133	a	266,733	a	255,433	a
	Deficyt	205,400	b	274,867	a	240,133	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

W III terminie pomiaru, niezależnie od metody pozyskania roślin oraz dla roślin INV wykazano niższe wartości parametru F_M u poziomki rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w porównaniu z roślinami kontrolnymi (tab. 90). W pozostałych przypadkach, w tym we wszystkich terminach pomiarowych dla roślin ZIE, nie wykazano różnic pod względem F_M pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 90. Fluorescencja maksymalna (F_M) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Metoda pozyskania				Średnia		
		INV		ZIE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I							
	Optimum	1186,533	a		1240,333	a	1213,433	a
	Deficyt	1148,067	a		1272,400	a	1210,233	a
	Termin II							
	Optimum	970,867	a		1255,133	a	1113,000	a
	Deficyt	954,467	a		1305,333	a	1129,900	a
	Termin III							
	Optimum	1280,667	a		1265,067	a	1272,867	a
	Deficyt	922,200	b		1179,800	a	1051,000	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Analogicznie jak w przypadku F_M , niezależnie od sposobu pozyskania roślin oraz u roślin INV, niedobór wody wpłynął na zmniejszenie wartości parametru F_V – zależność taką odnotowano w III terminie badań (tab. 91). W pozostałych przypadkach, w tym we wszystkich terminach pomiaru dla roślin ZIE, nie wykazano różnic pod względem F_V pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 91. Fluorescencja zmienna (F_V) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	942,000	a	983,600	a	962,800	a
	Deficyt	902,067	a	1020,200	a	961,133	a
	Termin II						
	Optimum	741,267	a	992,400	a	866,833	a
	Deficyt	686,200	a	1038,600	a	862,400	a
	Termin III						
	Optimum	1036,533	a	998,333	a	1017,433	a
	Deficyt	716,800	b	904,933	a	810,867	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Niezależnie od metody pozyskania roślin, jedynie w III terminie pomiaru wykazano różnice pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża pod względem wartości F_V/F_M , gdy niższą wartością tego parametru charakteryzowały się rośliny rosnące w stresie suszy (tab. 92). Analogiczną zależność wykazano także dla roślin INV w II i III terminie badań. W pozostałych przypadkach, w tym we wszystkich terminach pomiaru dla roślin ZIE, nie wykazano różnic pod względem F_V/F_M pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 92. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_v/F_m) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	0,791 a	0,793 a	0,792 a
	Deficyt	0,754 a	0,801 a	0,778 a
	Termin II			
	Optimum	0,758 a	0,789 a	0,773 a
	Deficyt	0,715 b	0,795 a	0,755 a
	Termin III			
	Optimum	0,808 a	0,779 a	0,794 a
	Deficyt	0,777 b	0,765 a	0,771 b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Niezależnie od metody pozyskania roślin, w I terminie pomiaru, stwierdzono, że rośliny rosnące w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża nie różniły się między sobą pod względem wartości T_{FM} , w II terminie – wyższą wartością T_{FM} charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy, zaś w III – w warunkach optymalnej wilgotności (tab. 93). Dla roślin INV, zróżnicowanie pod względem T_{FM} pomiędzy wariantami doświadczalnymi wykazano jedynie w III terminie pomiaru, gdy wyższą wartością tego parametru charakteryzowały się rośliny rosnące w optymalnych warunkach wilgotnościowych. Dla roślin ZIE istotne zróżnicowanie pomiędzy średnimi wykazano w I i II terminie oznaczeń, wyższą wartością tego parametru cechowały się rośliny rosnące w warunkach deficytu wodnego.

Tab. 93. Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [ms]

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	295,333	a	580,000	b	437,667	a
	Deficyt	286,667	a	726,667	a	506,667	a
	Termin II						
	Optimum	258,000	a	278,667	b	268,333	b
	Deficyt	276,000	a	500,001	a	388,000	a
	Termin III						
	Optimum	593,333	a	546,000	a	569,667	a
	Deficyt	307,333	b	611,333	a	459,333	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Niezależnie od metody pozyskania roślin, różnice pod względem wartości A_M pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych podłoża wykazano w II terminie oznaczeń. Wyższą wartością tego parametru charakteryzowały się rośliny rosnące w stresie suszy (tab. 94). Taką samą zależność wykazano również we wszystkich terminach pomiaru dla roślin ZIE. Zależność odwrotną, tj. wyższą wartość A_M u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia wykazano natomiast dla roślin INV w III terminie badań. W pozostałych przypadkach nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi pod względem wartości A_M .

Tab. 94. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [bms]

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	17274,800	a	28656,733	b	22965,767	a
	Deficyt	15572,600	a	38018,533	a	26795,567	a
	Termin II						
	Optimum	12996,800	a	16712,667	b	14854,733	b
	Deficyt	11653,800	a	29509,933	a	20581,867	a
	Termin III						
	Optimum	29260,333	a	22610,267	b	25935,300	a
	Deficyt	13771,800	b	31889,933	a	22830,867	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

Na ryc. 11. przedstawiono analizę zmian średnich wartości określonych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, w poszczególnych terminach badań. Biorąc pod uwagę pole powierzchni pod linią wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) w I i II terminie oznaczeń charakteryzowały się rośliny pozyskane z sadzonek zielnych, natomiast w III terminie pomiaru – z kultur *in vitro*.

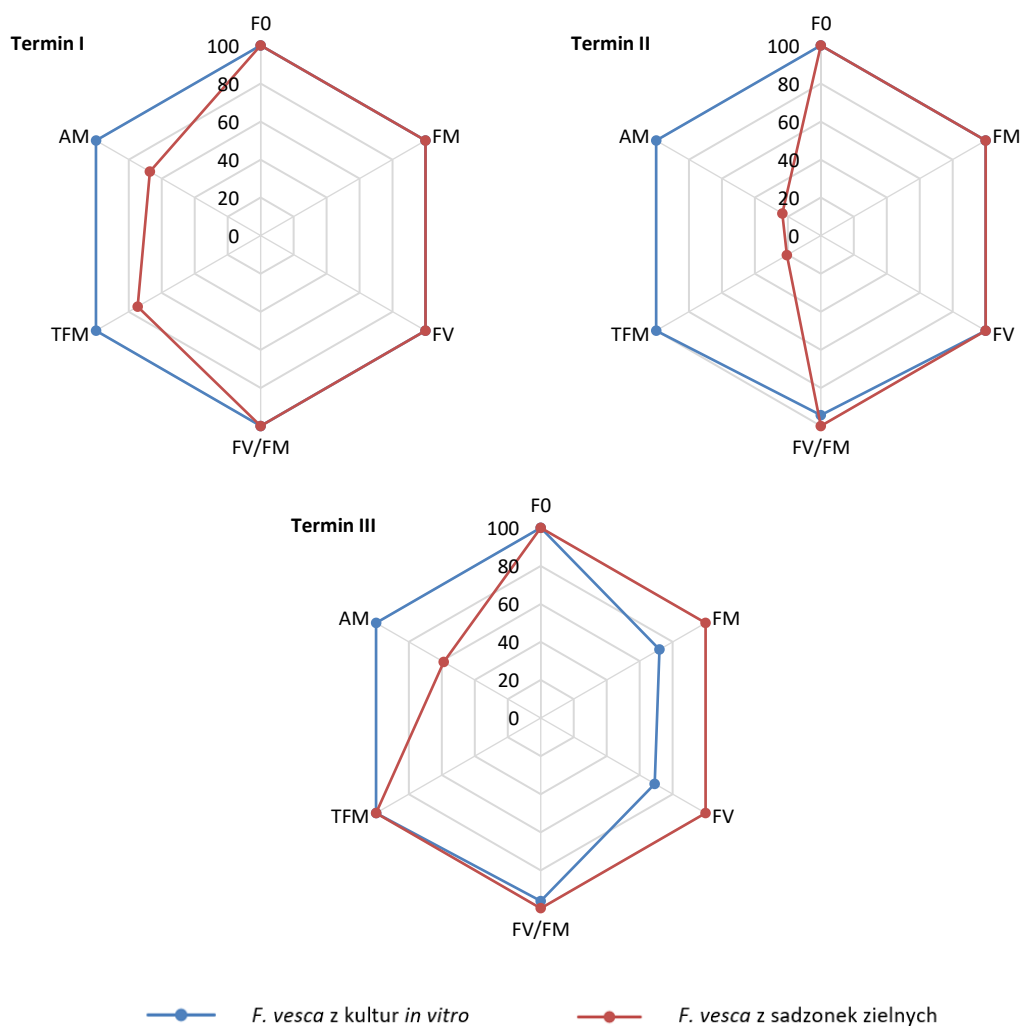
Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

Niezależnie od metody pozyskania roślin, jedynie w I terminie pomiaru wykazano różnice pod względem zawartości chlorofilu „a” w liściach roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża (tab. 95). Wyższą zawartością charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy. Analogiczną zależność wykazano dla roślin INV oraz ZIE odpowiednio w I oraz II terminie pomiaru. Wyższą zawartość chlorofilu „a” w liściach roślin rosnących w warunkach optymalnej wilgotności podłoża wykazano natomiast dla roślin INV w III terminie badań.

Tab. 95. Zawartość chlorofilu „a” w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	1,068 b	1,327 a	1,197 b
	Deficyt	1,557 a	1,852 a	1,704 a
	Termin II			
	Optimum	0,864 a	1,952 b	1,408 a
	Deficyt	0,458 a	2,372 a	1,415 a
	Termin III			
	Optimum	1,392 a	1,857 a	1,624 a
	Deficyt	0,687 b	1,717 a	1,202 a

Objaśnienia jak w tab. 28.



Ryc. 11. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3

Objaśnienia jak w ryc. 3.

Podobnie jak w przypadku zawartości chlorofilu „a”, niezależnie od metody pozyskania roślin, jedynie w I terminie badań wykazano różnice w zawartości chlorofilu „b” w liściach poziomki rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża (tab. 96). Wyższą zawartością charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy. Analogiczną zależność wykazano dla roślin INV w I terminie pomiaru oraz roślin ZIE w terminie II. Zależność odwrotną, tj. wyższą zawartość chlorofilu „b” u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża stwierdzono w przypadku roślin INV w III terminie pomiaru. W pozostałych przypadkach nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 96. Zawartość chlorofilu „b” w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Metoda pozyskania		Średnia			
		INV	ZIE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	0,440	b	0,564	a	0,502	b
	Deficyt	0,624	a	0,705	a	0,665	a
	Termin II						
	Optimum	0,365	a	0,627	b	0,496	a
	Deficyt	0,189	a	0,768	a	0,478	a
	Termin III						
	Optimum	0,469	a	0,627	a	0,548	a
	Deficyt	0,299	b	0,627	a	0,463	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

W III terminie pomiaru, niezależnie od metody pozyskania roślin oraz w przypadku roślin INV, wykazano różnice pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża pod względem stosunku zawartości chlorofilu „a” do „b”. Mniejszą wartością tego parametru charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy (tab. 97). W pozostałych przypadkach, w tym we wszystkich terminach badań dla roślin ZIE, nie wykazano różnic pod względem analizowanej cechy fizjologicznej pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 97. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża

		Metoda pozyskania		Średnia			
		INV	ZIE				
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	2,428	a	2,385	a	2,406	a
	Deficyt	2,496	a	2,607	a	2,552	a
	Termin II						
	Optimum	20372	a	3,113	a	2,743	a
	Deficyt	2,414	a	3,091	a	2,753	a
	Termin III						
	Optimum	2,968	a	2,963	a	2,966	a
	Deficyt	2,297	b	2,730	a	2,513	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Analizując średnie zawartości chlorofilu całkowitego w liściach *F. vesca* cv. Rugia, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża, niezależnie od metody pozyskania roślin, różnice wykazano jedynie w I terminie pomiaru (tab. 98). Wyższą zawartością tego barwnika charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy. Analogiczną zależność wykazano dla roślin INV oraz ZIE odpowiednio w I oraz II terminie pomiaru. Zależność odwrotną, tj. wyższą zawartość chlorofilu całkowitego u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwodnienia wykazano dla roślin INV w III terminie badań. W pozostałych przypadkach nie stwierdzono różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi pod względem zawartości chlorofilu całkowitego w liściach.

Tab. 98. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	1,508 b	1,890 a	1,699 b
	Deficyt	2.181 a	2.556 a	2.368 a

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin II						
	Optimum	1,229	a	2,579	b	1,904	a
	Deficyt	0,647	a	3,139	a	1,893	a
	Termin III						
	Optimum	1,861	a	2,483	a	2,172	a
	Deficyt	0,986	b	2,343	a	1,665	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

Podobnie jak w przypadku pozostałych barwników asymilacyjnych, niezależnie od metody pozyskania roślin, jedynie w I terminie pomiaru wykazano różnice w zawartości karotenoidów w liściach roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża (tab. 99). Wyższą zawartością charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy. Analogiczną zależność wykazano dla roślin INV w I terminie pomiaru oraz roślin ZIE w terminie II. Wyższą zawartość karotenoidów u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża wykazano natomiast dla roślin INV w III terminie badań. W pozostałych przypadkach nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 99. Zawartość karotenoidów w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Metoda pozyskania		Średnio
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	0,550 b	0,683 a	0,617 b
	Deficyt	0,815 a	0,917 a	0,866 a
	Termin II			
	Optimum	0,460 a	0,966 b	0,713 a
	Deficyt	0,270 a	1,155 a	0,713 a
	Termin III			
	Optimum	0,706 a	0,933 a	0,819 a
	Deficyt	0,415 b	0,912 a	0,664 a

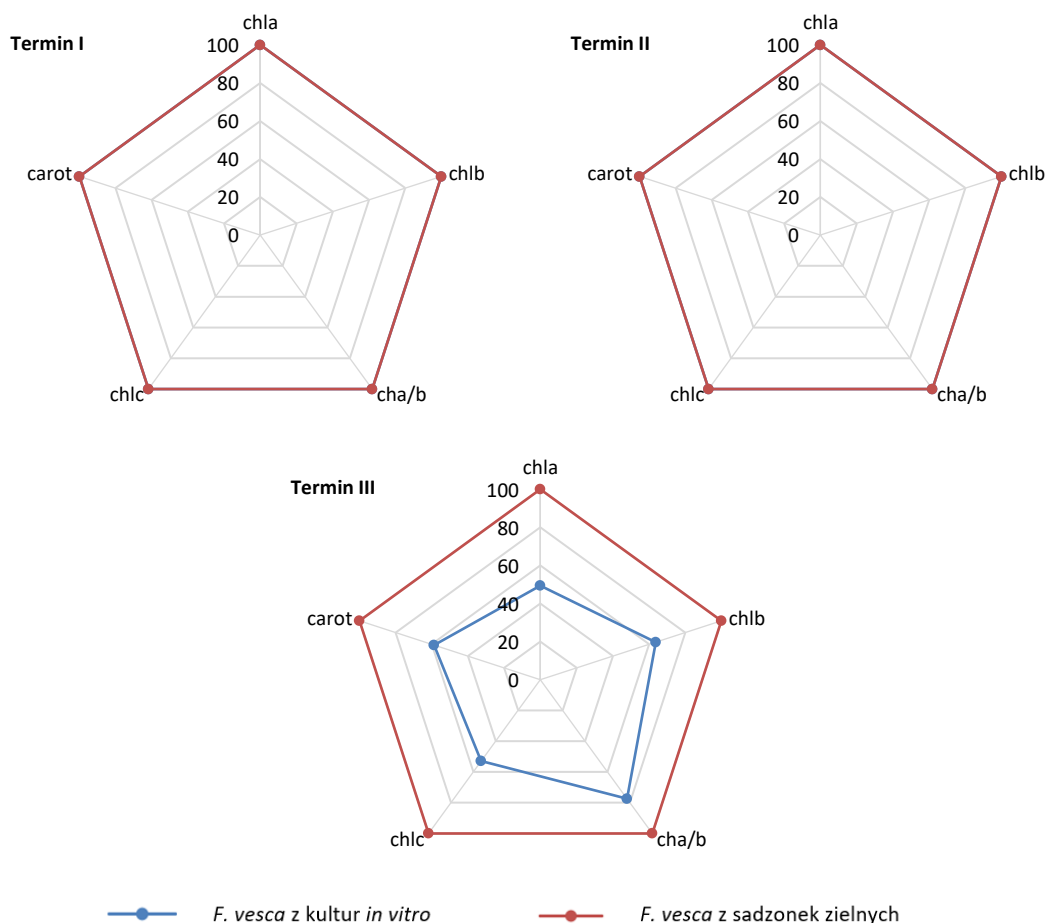
Objaśnienia jak w tab. 28.

Na ryc. 12. przedstawiono analizę zmian średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, w poszczególnych terminach oznaczeń. Biorąc pod uwagę pole powierzchni pod linią wykresu, w III terminie pomiaru najmniejszym dostosowaniem do warunków deficytu wodnego i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowały się rośliny pozyskane z kultur *in vitro*. Jednocześnie w I i II terminie badań pola powierzchni pod wykresem dla roślin INV i ZIE były sobie równe.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

Niezależnie od sposobu pozyskania roślin oraz w przypadku roślin INV, różnice pod względem wartości współczynnika RWC pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża wykazano jedynie w III terminie badań, kiedy niższą wartością RWC charakteryzowały się rośliny rosnące w stresie suszy (tab. 100). W pozostałych przypadkach,

w tym we wszystkich terminach pomiarowych dla roślin ZIE, nie stwierdzono różnic pomiędzy wariantami doświadczenia.



Ryc. 12. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich zawartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3

Objaśnienia jak w ryc. 4.

Tab. 100. Względna zawartość wody w liściach (RWC) *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [%]

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I						
	Optimum	41,534	a	45,247	a	43,391	a
	Deficyt	41,411	a	38,361	a	39,886	a
	Termin II						
	Optimum	48,263	a	42,064	a	45,163	a
	Deficyt	54,520	a	29,790	a	42,155	a
	Termin III						
	Optimum	53,085	a	46,258	a	49,672	a
	Deficvt	38,686	b	42,738	a	40,712	b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Plon owoców i masa pojedynczego owocu

Niezależnie od metody pozyskania, rośliny rosnące w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża nie różniły się od siebie pod względem wielkości plonu owoców (tab. 101). Taką samą zależność wykazano dla roślin INV. Natomiast w przypadku roślin ZIE stwierdzono

zmniejszenie plonu owoców pod wpływem niedoboru wody w podłożu. Dla roślin INV i ZIE oraz niezależnie od rodzaju metody ich pozyskania wykazano, że rośliny rosnące w warunkach suszy charakteryzowały się mniejszą masą pojedynczego owocu niż rośliny rosnące w warunkach optymalnej wilgotności podłoża.

Tab. 101. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny oraz masa pojedynczego owocu w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [g]

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Plon owoców			
	Optimum	123,216 a	28,322 a	68,991 a
	Deficyt	104,172 a	6,116 b	38,802 a
	Masa pojedynczego owocu			
	Optimum	0,859 a	0,614 a	0,719 a
	Deficyt	0,575 b	0,365 b	0,435 b

Objaśnienia jak w tab. 28.

Świeża i sucha masa systemu korzeniowego

Nie wykazano wpływu zróżnicowanej wilgotności podłoża zarówno na świeżą, jak i suchą masę systemu korzeniowego badanej odmiany *F. vesca*, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania (tab. 102).

Tab. 102. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [g]

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Świeża masa systemu korzeniowego						
	Optimum	82,702	a	12,334	a	26,408	a
	Deficyt	75,108	a	7,218	a	26,615	a
	Sucha masa systemu korzeniowego						
	Optimum	34,218	a	7,286	a	12,672	a
	Deficyt	27,366	a	5,034	a	11,415	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

Zawartość wolnej proliny w liściach

Niezależnie od metody pozyskania roślin oraz w przypadku roślin INV, we wszystkich terminach oznaczeń, a także dla roślin ZIE w III terminie stwierdzono, że rośliny rosnące w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża nie różniły się pomiędzy sobą pod względem zawartości wolnej proliny w liściach (tab. 103). Wzrost zawartości proliny w stresie suszy zanotowano w przypadku roślin ZIE, w I i II terminie oznaczeń.

Tab. 103. Zawartość wolnej proliny w liściach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ św. m.]

		Metoda pozyskania		Średnia
		INV	ZIE	
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin I			
	Optimum	0,571 a	0,516 b	0,543 a
	Deficyt	0,667 a	2,003 a	1,335 a
	Termin II			
	Optimum	0,678 a	0,721 b	0,700 a
	Deficyt	0,744 a	2,840 a	1,792 a

		Metoda pozyskania				Średnia	
		INV		ZIE			
Poziom uwilgotnienia podłoża	Termin III						
	Optimum	0,586	a	0,646	a	0,616	a
	Deficyt	0,457	a	0,959	a	0,708	a

Objaśnienia jak w tab. 28.

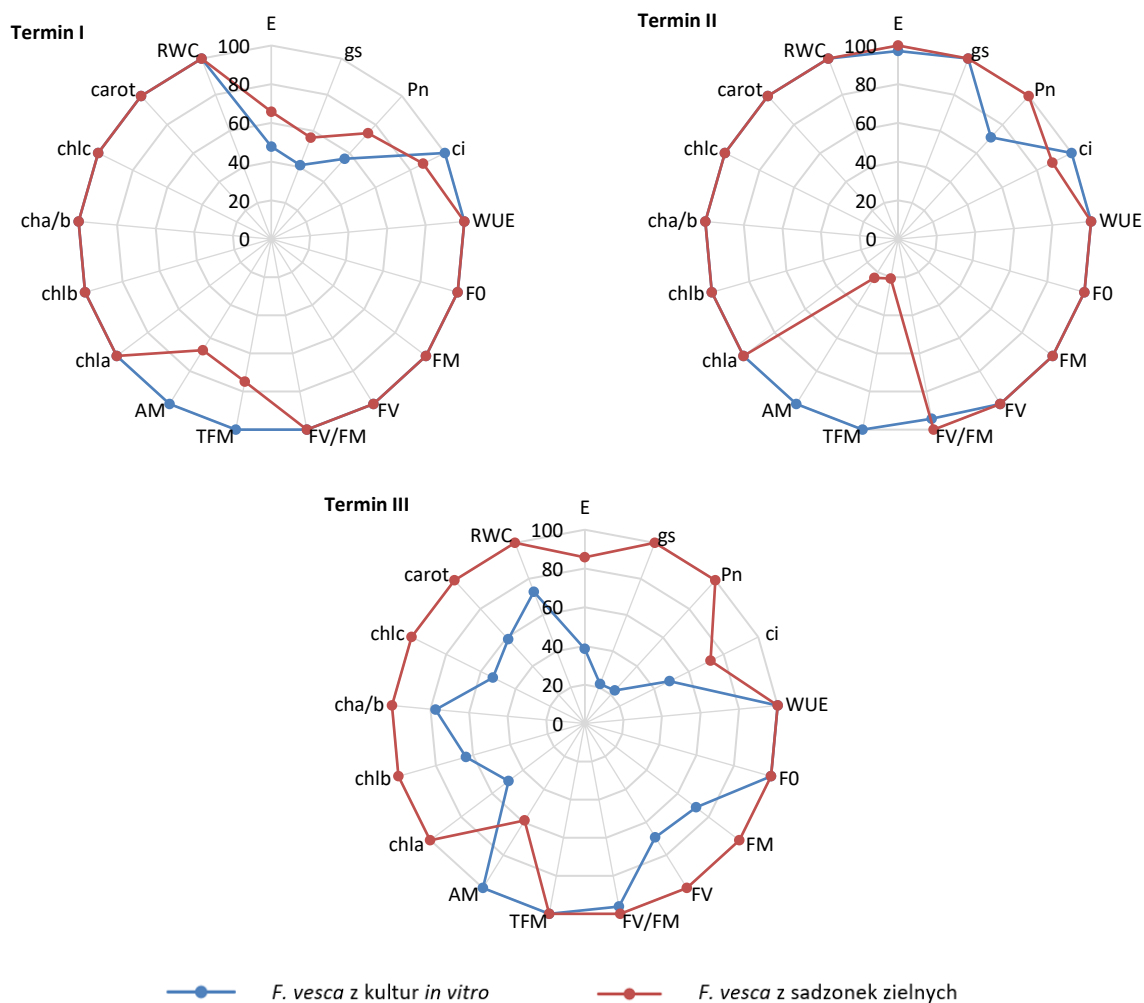
Zawartość wybranych pierwiastków

Niezależnie od metody pozyskania roślin, jak i w przypadku roślin INV oraz ZIE, wykazano, że rośliny rosnące w stresie suszy oraz w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża nie różniły się między sobą zawartością wszystkich analizowanych pierwiastków oraz stosunkiem K:(Ca+Mg) **w liściach** (zał. Tabele; tab. F).

Porównując zawartość pierwiastków **w koronach** roślin rosnących w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża, niezależnie od metody pozyskania roślin różnice stwierdzono jedynie w zawartości Fe oraz stosunku K:(Ca+Mg) – wyższe zawartości wykazano u roślin utrzymywanych w stresie suszy. Dla roślin INV analogiczne różnice wykazano w przypadku stosunku K:(Ca+Mg), a zależność odwrotną, tj. wyższą zawartość u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża – dla zawartości Mg oraz Mn. W przypadku koron, u roślin ZIE rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża wykazano różnice jedynie dla stosunku K:(Ca+Mg) – wyższą wartość stwierdzono u roślin w stresie suszy.

Niezależnie od metody pozyskania roślin oraz w przypadku roślin ZIE, nie wykazano różnic w zawartości oznaczanych pierwiastków oraz wartości stosunku K:(Ca+Mg) **w korzeniach** poziomki rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża. Natomiast korzenie roślin INV, rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża, charakteryzowały się wyższą zawartością K i Na oraz wyższym stosunkiem K:(Ca+Mg) – w przypadku pozostałych pierwiastków nie wykazano różnic pomiędzy roślinami.

Na ryc. 13. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów oceny stanu fizjologicznego *F. vesca* cv. Rugia pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, w poszczególnych terminach oznaczeń. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) w I i II terminie pomiaru charakteryzowały się rośliny pozyskane z sadzonek zielnych, w III natomiast – rośliny pozyskane z kultur *in vitro*.



Ryc. 13. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3

Objaśnienia jak w ryc. 5.

3.2.2. Doświadczenia hydroponiczne

3.2.2.1. Porównanie odmian z gatunku *Fragaria vesca*

Parametry wymiany gazowej w liściach

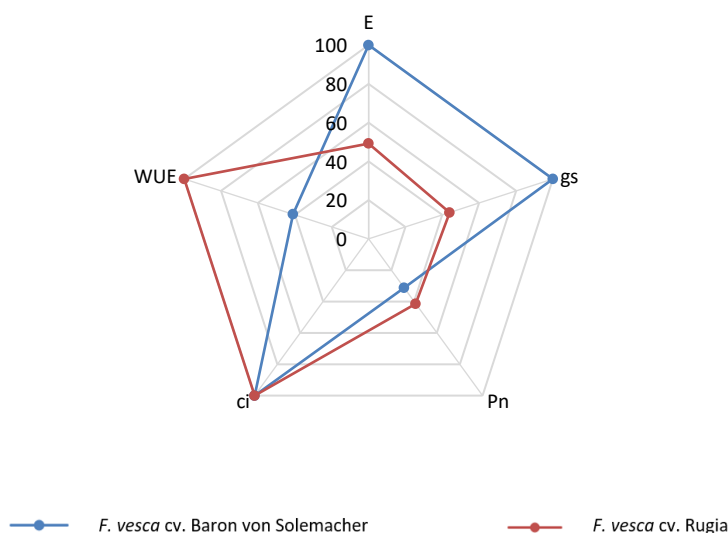
Niezależnie od odmiany wykazano, że rośliny rosnące w zróżnicowanych warunkach dostępności wody różniły się między sobą pod względem takich parametrów wymiany gazowej jak: E, g_s , P_n oraz WUE – niższą ich wartość wykazano dla roślin rosnących w suszy (tab. 104). Analogiczną zależność wykazano również dla parametrów P_n oraz WUE w przypadku odmiany Baron von Solemacher oraz E, g_s i P_n – dla odmiany Rugia. Jednocześnie wykazano zwiększenie podszparkowego stężenia CO_2 w liściach odmiany Baron von Solemacher pod wpływem deficytu wody. W pozostałych przypadkach nie wykazano różnic pomiędzy wariantami doświadczalnymi.

Tab. 104. Parametry wymiany gazowej badanych odmian *F. vesca* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana				Średnia	
		B		R			
Poziom dostępności wody w podłożu	Intensywność transpiracji [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹] (E)						
	Optimum	0,308	a	0,411	a	0,360	a
	Deficyt	0,259	a	0,202	b	0,231	b
	Przewodność szparkowa H ₂ O [mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹] (g _s)						
	Optimum	0,020	a	0,025	a	0,022	a
	Deficyt	0,014	a	0,011	b	0,013	b
	Intensywność asymilacji CO ₂ netto [mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹] (P _n)						
	Optimum	1,700	a	1,820	a	1,760	a
	Deficyt	0,533	b	0,753	b	0,643	b
	Podszparkowe stężenie CO ₂ [μmol CO ₂ ·mol ⁻¹] (c _i)						
	Optimum	402,000	b	388,000	a	395,000	a
	Deficyt	456,333	a	365,600	a	410,967	a
	Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE)						
	Optimum	5,750	a	4,513	a	5,131	a
Deficyt	2,361	b	3,783	a	3,072	b	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 14. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej dla odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków deficytu wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowała się ‘Rugia’.



Ryc. 14. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach badanych odmian *F. vesca* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych. W doświadczeniu hydroponicznym nr 1

Objaśnienia jak w ryc. 2.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Niezależnie od badanej odmiany, jak i w przypadku ‘Rugii’, nie wykazano różnic pod względem wszystkich analizowanych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” pomiędzy roślinami rosnącymi w zróżnicowanych warunkach dostępności wody (tab. 105). Różnice wykazano jedynie

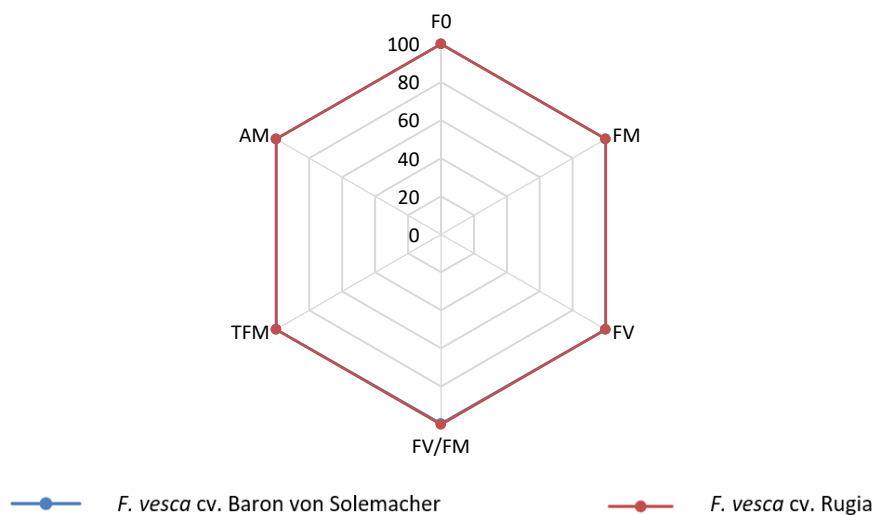
pod względem parametru F_v/F_m dla odmiany Baron von Solemacher – niższą jego wartością charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach suszy.

Tab. 105. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych odmian *F. vesca* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana				Średnia		
		B		R				
Poziom dostępności wody w podłożu	Fluorescencja początkowa (F ₀)							
	Optimum	240,733	a		232,867	a	236,800	a
	Deficyt	239,500	a		227,933	a	233,517	a
	Fluorescencja maksymalna (F _M)							
	Optimum	1436,467	a		1379,933	a	1408,200	a
	Deficyt	1389,357	a		1357,067	a	1372,655	a
	Fluorescencja zmienna (F _V)							
	Optimum	1195,733	a		1147,067	a	1171,400	a
	Deficyt	1149,857	a		1129,133	a	1139,138	a
	Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F _V /F _M)							
	Optimum	0,832	a		0,831	a	0,832	a
	Deficyt	0,828	b		0,832	a	0,830	a
	Czas wzrostu fluorescencji (T _{FM}) [ms]							
	Optimum	352,667	a		365,333	a	359,000	a
	Deficyt	357,857	a		396,000	a	377,586	a
	Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (AM) [bms]							
Optimum	24658,533	a		22636,400	a	23647,467	a	
Deficyt	24781,786	a		23442,267	a	24088,931	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 15. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” dla odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków deficytu wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzował ‘Baron von Solemacher’.



Ryc. 15. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych odmian *F. vesca* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 1

Objaśnienia jak w ryc. 3.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

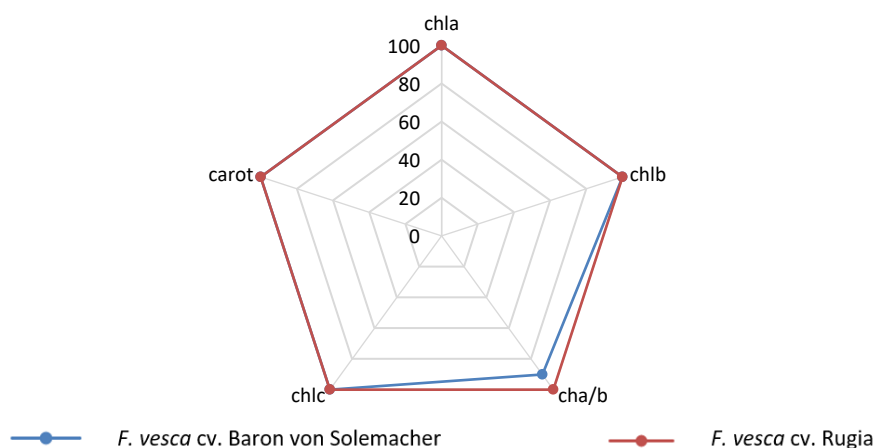
Niezależnie od badanej odmiany, jak i w przypadku ‘Rugii’, nie wykazano różnic w zawartości wszystkich oznaczanych barwników asymilacyjnych w liściach roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach dostępności wody (tab. 106). W przypadku odmiany Baron von Solemacher stwierdzono wyższą zawartość chlorofilu „a” i „b”, chlorofilu całkowitego oraz karotenoidów, a także niższy stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” u roślin rosnących w warunkach suszy.

Tab. 106. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian *F. vesca* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym

		Odmiana		Średnia			
		B	R				
Poziom dostępności wody w podłożu	Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	Optimum	2,293	b	2,533	a	2,413	a
	Deficyt	3,277	a	2,450	a	2,863	a
	Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	Optimum	0,869	b	0,984	a	0,926	a
	Deficyt	1,379	a	0,893	a	1,136	a
	Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”						
	Optimum	2,639	a	2,569	a	2,604	a
	Deficyt	2,377	b	2,754	a	2,565	a
	Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	Optimum	3,161	b	3,516	a	3,338	a
	Deficyt	4,655	a	3,343	a	3,999	a
	Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	Optimum	1,069	b	1,175	a	1,122	a
Deficyt	1,510	a	1,153	a	1,331	a	

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 16. przedstawiono analizę zmian średnich zawartości barwników asymilacyjnych badanych odmian *F. vesca*, w doświadczeniu hydroponicznym. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) cechował się ‘Baron von Solemacher’.



Ryc. 16. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian z gatunku *F. vesca* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych w doświadczeniu hydroponicznym nr 1.

Objaśnienia jak w ryc. 4.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

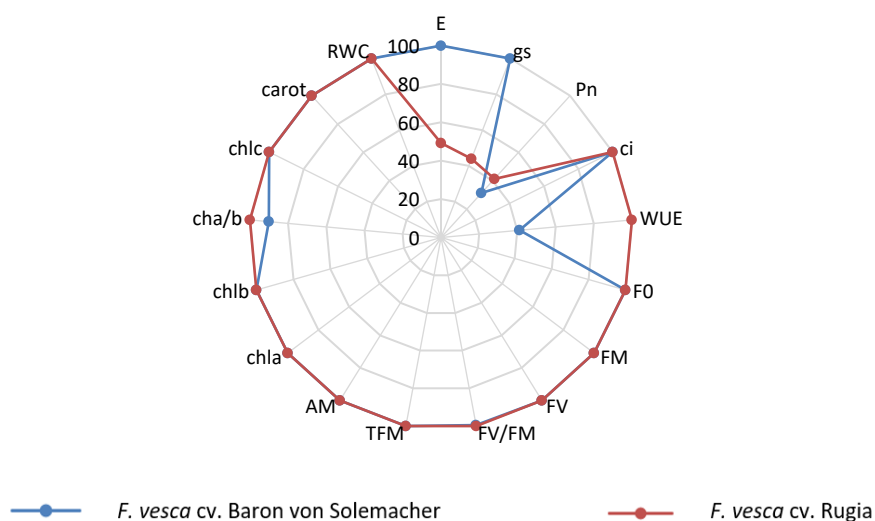
Analiza statystyczna nie potwierdziła istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami RWC, roślin rosnących w warunkach zróżnicowanej dostępności wody. Zaznaczyć jednakże należy, że mniejszą względną zawartość wody w tkankach liści stwierdzano w warunkach deficytu wodnego (niezależnie od odmiany jak i dla każdej z odmian indywidualnie) (tab. 107).

Tab. 107. Względna zawartość wody w liściach badanych odmian *F. vesca* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym [%]

		Odmiana		Średnia
		B	R	
Poziom dostępności wody w podłożu	Optimum	49,654 a	39,670 a	44,662 a
	Deficyt	36,549 a	34,299 a	35,424 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 17. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów oceny stanu fizjologicznego badanych odmian *F. vesca* w doświadczeniu hydroponicznym. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzował się ‘Baron von Solemacher’.



Ryc. 17. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych badanych odmian *F. vesca*, w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 1

Objaśnienia jak w ryc. 5.

3.2.2.2. Porównanie gatunków z rodzaju *Fragaria*

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Niezależnie od analizowanego genotypu wykazano, że rośliny rosnące w warunkach deficytu wody charakteryzowały się niższymi wartościami F_M , F_V , F_V/F_M oraz A_M , a także wyższymi wartościami F_0 i T_{FM} niż rośliny rosnące w warunkach optymalnych (tab. 108). W przypadku *F. virginiana* nie wykazano różnic pod względem wszystkich analizowanych parametrów

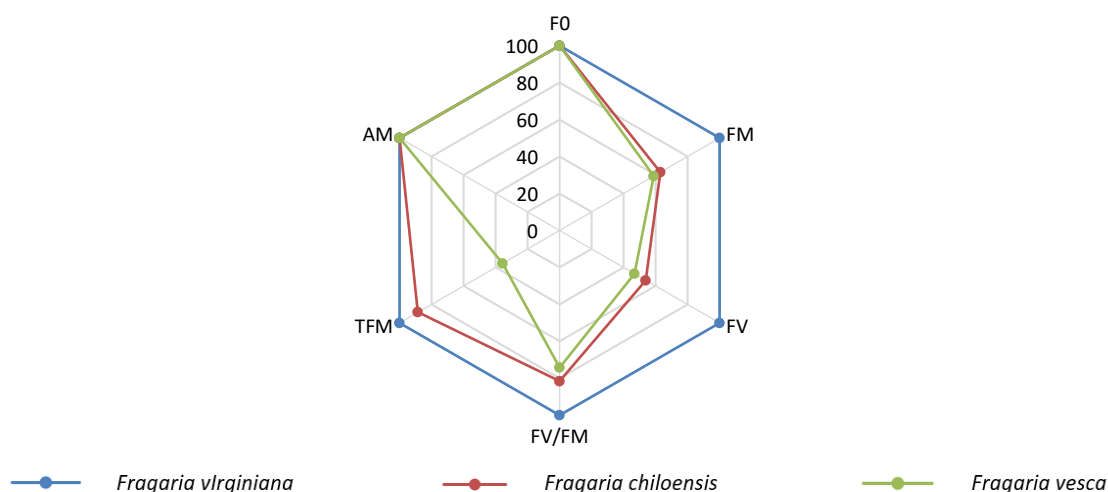
fluorescencji chlorofilu „a” pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach zróżnicowanej dostępności wody. Dla gatunku *F. chiloensis*, w warunkach suszy wykazano wyższą wartość T_{FM} i niższą F_M , F_V , F_V/F_M oraz A_M , natomiast dla *F. vesca* – wyższą T_{FM} , i niższą F_0 , F_M , F_V , F_V/F_M oraz A_M .

Tab. 108. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym

		Gatunek				Średnia			
		VI		CH			VE		
Poziom dostępności wody w podłożu	Fluorescencja początkowa (F ₀)								
	Optimum	600,700	a	607,900	a	597,400	b	602,000	b
	Deficyt	615,000	a	616,500	a	619,338	a	616,946	a
	Fluorescencja maksymalna (F _M)								
	Optimum	2894,200	a	3173,800	a	2731,600	a	2933,200	a
	Deficyt	2453,500	a	1999,000	b	1607,675	b	2020,058	b
	Fluorescencja zmienna (F _V)								
	Optimum	2293,500	a	2565,900	a	2134,200	a	2331,200	a
	Deficyt	1838,500	a	1382,500	b	1000,741	b	1407,247	b
	Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F _V /F _M)								
	Optimum	0,790	a	0,807	a	0,776	a	0,791	a
	Deficyt	0,729	a	0,658	b	0,576	b	0,654	b
	Czas wzrostu fluorescencji (T _{FM}) [ms]								
	Optimum	518,000	a	610,000	b	303,000	b	477,000	b
	Deficyt	610,000	a	680,000	a	498,000	a	596,000	a
	Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A _M) [bms]								
	Optimum	66316,800	a	82044,300	a	47716,200	a	65359,100	a
	Deficyt	74259,700	a	54650,200	b	22496,186	b	50468,695	b

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 18. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym. Na podstawie pola powierzchni wykresu stwierdzić można, że najmniejszym dostosowaniem do warunków deficytu wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowała się *F. vesca*. Jednocześnie największym dostosowaniem do warunków niedoboru wody (największe pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowała się *F. virginiana*.



Ryc. 18. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach genotypów z rodzaju *Fragaria* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 3.

Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach

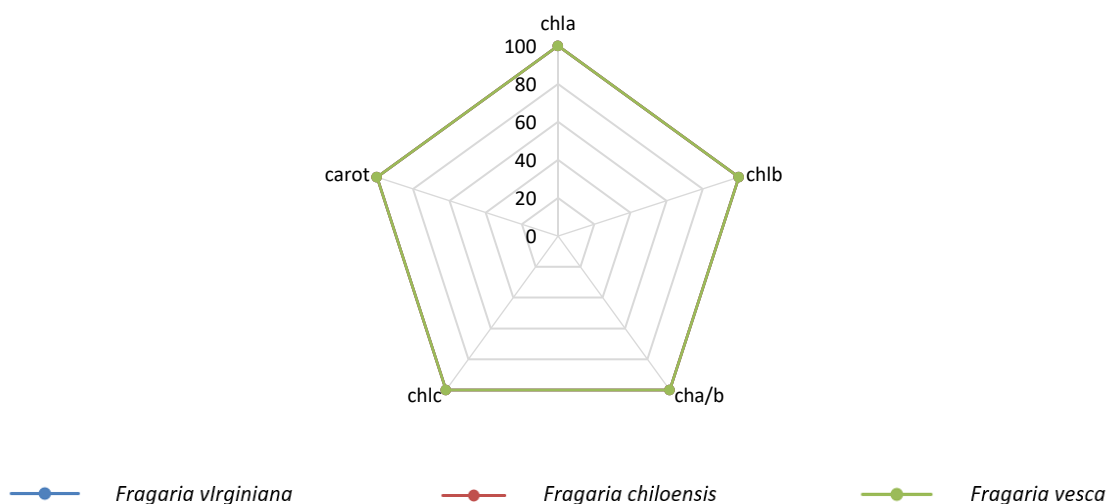
Niezależnie od badanego gatunku, wyższą zawartość chlorofilu „a”, chlorofilu całkowitego i karotenoidów w liściach roślin wykazano w warunkach deficytu wody (tab. 109). Podobną zależność wykazano dla stosunku zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” u *F. virginiana*, zawartości karotenoidów – u *F. chiloensis* oraz zawartości chlorofilu „a” i „b”, chlorofilu całkowitego i karotenoidów – u *F. vesca*.

Tab. 109. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym

		Gatunek			Średnia				
		VI	CH	VE					
Poziom dostępności wody w podłożu	Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]								
	Optimum	1,526	a	1,493	a	1,218	b	1,412	b
	Deficyt	1,696	a	1,665	a	2,054	a	1,805	a
	Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]								
	Optimum	0,653	a	0,799	a	0,547	b	0,667	a
	Deficyt	0,693	a	0,712	a	0,861	a	0,755	a
	Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”								
	Optimum	2,336	b	1,894	a	2,280	a	2,170	a
	Deficyt	2,442	a	2,337	a	2,387	a	2,389	a
	Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]								
	Optimum	2,179	a	2,292	a	1,766	b	2,079	b
	Deficyt	2,389	a	2,377	a	2,914	a	2,506	a
	Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]								
	Optimum	0,861	a	0,508	b	0,708	b	0,791	b
	Deficyt	1,007	a	0,973	a	1,240	a	1,073	a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 19. przedstawiono analizę zmian średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym. Pole powierzchni pod wykresem dla wszystkich badanych genotypów było jednakowe.



Ryc. 19. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach genotypów z rodzaju *Fragaria* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich zawartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 4.

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

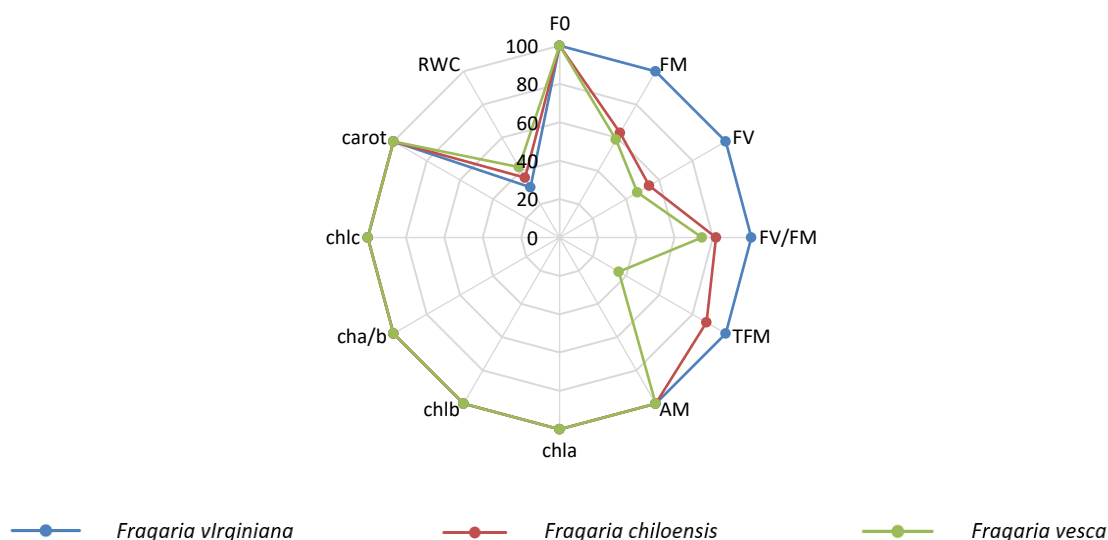
Niezależnie od gatunku, jak również dla każdego badanego gatunku z rodzaju *Fragaria*, niższą wartość współczynnika RWC wykazano w warunkach deficytu wody, w porównaniu z roślinami rosnącymi w warunkach optymalnej dostępności wody (tab. 110).

Tab. 110. Względna zawartość wody (RWC) w liściach badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym

		Gatunek			Średnia
		VI	CH	VE	
Poziom dostępności wody w podłożu	Optimum	54,788 a	64,522 a	54,693 a	58,001 a
	Deficyt	16,574 b	23,288 b	23,205 b	21,002 b

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 20. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów oceny stanu fizjologicznego badanych gatunków z rodzaju *Fragaria* w doświadczeniu hydroponicznym. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowała się *F. vesca*. Jednocześnie największe dostosowanie do warunków suszy (największe pole powierzchni pod wykresem) stwierdzono w przypadku *F. virginiana*.



Ryc. 20. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych genotypów z rodzaju *Fragaria* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 2

Objaśnienia jak w ryc. 5.

3.2.3. Kultury *in vitro*

Niezależnie od badanej odmiany, jak również w przypadku ‘Rugii’, rośliny rosnące na pożywce z dodatkiem mannitolu cechowały się mniejszą liczbą liści, pędów i korzeni o mniejszej długości oraz mniejszą masą, w stosunku do roślin kontrolnych (tab. 111). W przypadku odmiany

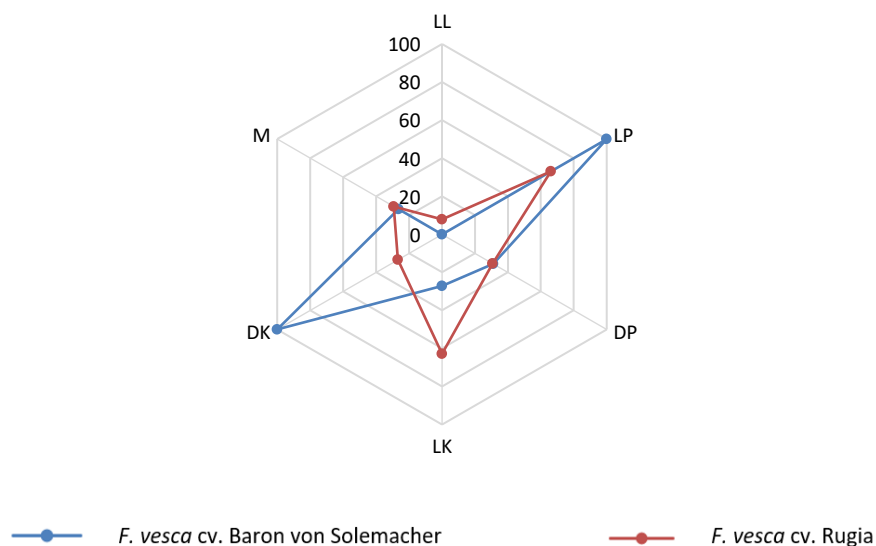
Baron von Solemacher, rośliny rosnące na pożywce z mannitołem wykształciły mniej liści i korzeni, krótsze pędy oraz mniejszą masę niż rośliny kontrolne.

Tab. 111. Wybrane cechy morfologiczne badanych odmian *F. vesca* w kulturach *in vitro*, w warunkach zróżnicowanej dostępności wody (zawartości mannitolu w podłożu)

		Odmiana				Średnia	
		B		R			
Zawartość mannitolu	Liczba liści						
	0,0 M	11,538	a	11,857	a	11,704	a
	0,1 M	0,000	b	0,923	b	0,500	b
	Liczba pędów						
	0,0 M	7,846	a	7,214	a	7,519	a
	0,1 M	6,727	a	4,769	b	5,667	b
	Długość pędów [cm]						
	0,0 M	2,708	a	2,843	a	2,778	a
	0,1 M	0,845	b	0,877	b	0,862	b
	Liczba korzeni						
	0,0 M	8,385	a	5,143	a	6,704	a
	0,1 M	2,273	b	3,231	b	2,792	b
	Długość korzeni [cm]						
	0,0 M	3,592	a	4,671	a	4,152	a
	0,1 M	3,200	a	1,246	b	2,142	b
	Masa roślin [g]						
	0,0 M	0,273	a	0,205	a	0,238	a
	0,1 M	0,072	b	0,060	b	0,065	b

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 21. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych cech morfologicznych porównywanych odmian gatunku *F. vesca* rosnących w kulturach *in vitro*. Na podstawie pola powierzchni wykresu stwierdzić można, że najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) cechowała się ‘Rugia’.



Ryc. 21. Zmiany średnich wartości wybranych cech morfologicznych badanych odmian *Fragaria vesca* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych w kulturach *in vitro*
Objaśnienia: LL – liczba liści, LP – liczba pędów, DP – długość pędów, LK – liczba korzeni, DK – długość korzeni, M – masa roślin

Zawartość barwników asymilacyjnych

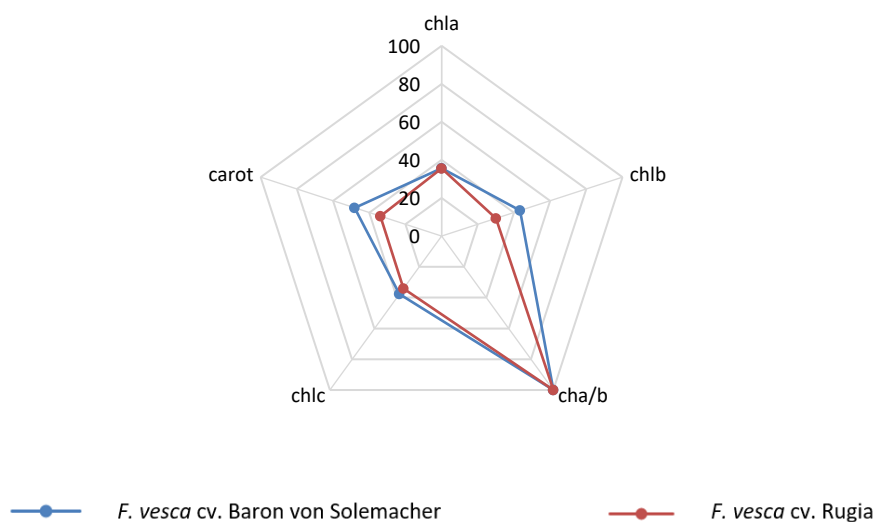
Niższą zawartość chlorofilu „a”, „b”, chlorofilu całkowitego oraz karotenoidów, niezależnie od badanego genotypu, a także dla poszczególnych odmian, tj. ‘Baron von Solemacher’ oraz ‘Rugia’ wykazano u roślin rosnących na podłożu wzbogaconym o mannitol (tab. 112).

Tab. 112. Zawartość barwników asymilacyjnych w badanych odmianach *F. vesca* w kulturach *in vitro*, w warunkach zróżnicowanej dostępności wody (zawartości mannitolu w podłożu)

		Odmiana		Średnia			
		B	R				
Zawartość mannitolu	Zawartość chlorofilu „a” [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	0,0 M	2,602	a	2,186	a	2,394	a
	0,1 M	0,928	b	0,778	b	0,853	b
	Zawartość chlorofilu „b” [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	0,0 M	0,923	a	0,886	a	0,905	a
	0,1 M	0,401	b	0,266	b	0,334	b
	Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b”						
	0,0 M	2,818	a	2,474	a	2,646	a
	0,1 M	2,334	a	2,923	a	2,629	a
	Zawartość chlorofilu całkowitego [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	0,0 M	3,524	a	3,071	a	3,298	a
	0,1 M	1,328	b	1,044	b	1,186	b
	Zawartość karotenoidów [mg · g ⁻¹ św. m.]						
	0,0 M	1,224	a	1,177	a	1,201	a
	0,1 M	0,588	b	0,398	b	0,493	b

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 22. przedstawiono analizę zmian średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian *F. vesca* rosnących w kulturach *in vitro*. Biorąc pod uwagę pole powierzchni wykresu, najmniejszym dostosowaniem do warunków deficytu wodnego i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowała się ‘Rugia’.



Ryc. 22. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian *Fragaria vesca* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich zawartości w optymalnych warunkach wodnych, w kulturach *in vitro*

Objaśnienia jak w ryc. 4.

Zawartość wolnej proliny w liściach

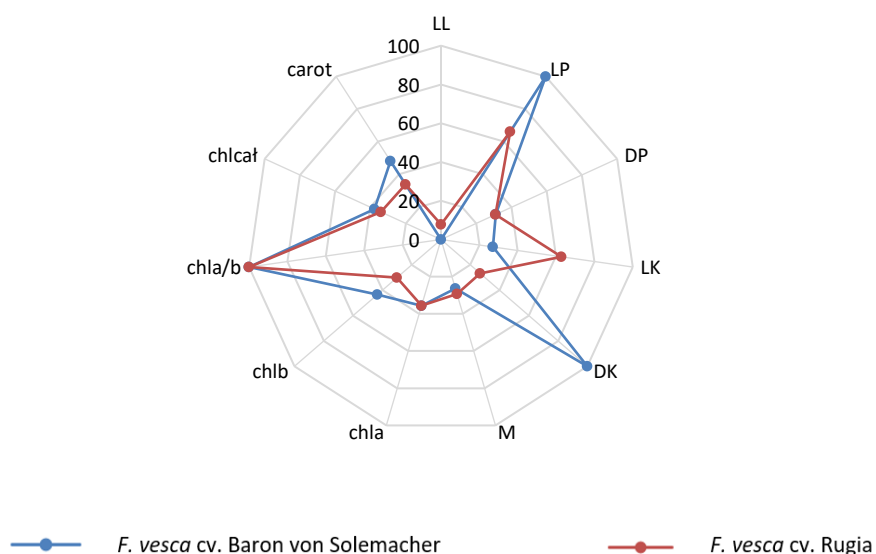
Niezależnie od badanego genotypu oraz w przypadku odmiany Baron von Solemacher wyższą zawartość wolnej proliny wykazano w liściach roślin rosnących na podłożu wzbogaconym w mannitol (tab. 113). U odmiany Rugia nie stwierdzono wpływu dostępności wody w podłożu na kumulację proliny.

Tab. 113. Zawartość wolnej proliny u badanych odmian *F. vesca* w kulturach *in vitro* w warunkach zróżnicowanej dostępności wody (zawartości mannitolu w podłożu)

		Odmiana		Średnia
		B	R	
Zawartość mannitolu	0,0 M	2,718 b	2,780 a	2,749 b
	0,1 M	7,279 a	6,678 a	7,079 a

Objaśnienia jak w tab. 2.

Na ryc. 23. przedstawiono analizę zmian średnich wartości wybranych parametrów oceny stanu fizjologicznego badanych odmian *F. vesca* w kulturach *in vitro*. Na podstawie pola powierzchni wykresu stwierdzono, że najmniejszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody i najsilniejszą niekorzystną reakcją na stres suszy (najmniejsze pole powierzchni pod wykresem) charakteryzowała się ‘Rugia’.



Ryc. 23. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych badanych odmian *Fragaria vesca* w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w kulturach *in vitro*.

Objaśnienia: LL – liczba liści, LP – liczba pędów, DP – długość pędów, LK – liczba korzeni, DK – długość korzeni, M – masa roślin, chla – zawartość chlorofilu „a”, chlb – zawartość chlorofilu „b”, chla/b – stosunek zawartości chlorofilu „a” do „b”, chlca – zawartość chlorofilu całkowitego, carot – zawartość karotenoidów, RWC – wskaźnik względnej zawartości wody w liściach

4. Dyskusja

W warunkach niedoboru wody i stresu suszy wiele procesów fizjologicznych i molekularnych jest aktywowanych lub hamowanych, aby dostosować wzrost i rozwój roślin poprzez zwiększenie ich tolerancji na stres. Terminy „niedobór wody” czy „stres wodny” są definiowane jako sytuacja, w której zawartość wody w roślinie zostaje zmniejszona do takiego poziomu, który wpływa na jej funkcjonowanie, np. na wzrost, przewodnictwo szparkowe, intensywność fotosyntezy, itp. Nie jest możliwe określenie deficytu wody w wartościach bezwzględnych ze względu na złożoną interakcję czynników atmosferycznych, roślinnych i glebowych. Ponadto badana odpowiedź rośliny na czynnik stresogenny, może być w pewnym stopniu modyfikowana poprzez oddziaływanie zjawisk mających miejsce przed jego zadziałaniem. Na tzw. „pamięć stresową” wskazuje Jacques i in. (2021) sugerując, że rośliny posiadają mechanizmy zapamiętywania stresu związanego z suszą, co w kolejnych okresach wegetacyjnych może przełożyć się na lepszą jego tolerancję. Potwierdzono to również w badaniach własnych, gdzie w dwuletnim doświadczeniu wazonowym (nr 1), obserwowana reakcja roślin na stres suszy w drugim roku badań była mniej widoczna.

Wymiana gazowa i stan aparatu fotosyntetycznego roślin

Fotosynteza obok transpiracji, jest jednym z najważniejszych procesów fizjologicznych determinujących produktywność roślin. Woda jest niezbędna między innymi do kontrolowania temperatury rośliny, co bezpośrednio związane jest z procesem fotosyntezy. Stąd też, zaburzenia w tym procesie uwiadcniają się jako pierwsze po wystąpieniu stresu wywołanego deficytem wody (Dietz i in. 2021, Sharma i in. 2020). Większość wody zawartej w tkankach roślinnych tracona jest w wyniku transpiracji szparkowej, której wielkość przewyższa ilość wody zmagazynowanej w komórkach. Utrata wody powoduje zmniejszenie temperatury liści, co w konsekwencji przekłada się na inaktywację enzymów związanych z procesami fotosyntezy i oddychania w liściach. Rośliny zatem nie mają zdolności do utrzymania odpowiedniej temperatury organizmu w sytuacji niedostatecznego uwilgotnienia podłoża (Adams i in. 2009). Z innej strony, z powodu suszy dochodzi do uszkodzenia liści, co prowadzi do mniejszej absorpcji energii promieniowania (Farooqi i in. 2020). W warunkach niedoboru wody u roślin zaburzona zostaje również równowaga ditlenku węgla, co jest kompensowane przez wzrost przewodnictwa kutykularnego i spadek przewodnictwa mezofilowego (Flexas i in. 2004). Stężenie podszparkowe CO₂ obniża się, a aparaty szparkowe zamykają się (Flexas i Medrano 2002). To właśnie w formie obniżenia wartości pomiarów przewodnictwa szparkowego uwiadcniają się pierwsze fizjologiczne objawy stresu związanego z suszą. Tendencja do zamykania się aparatów szparkowych w liściach, w przypadku niedoboru wody w obszarze korzeni, zmniejsza wymianę gazową między przestrzenią międzykomórkową liścia a atmosferą, co w następstwie prowadzi do obniżenia parametrów wymiany gazowej (Odemis i in. 2020). Z tego też względu, do

opisu skutków suszy u roślin, wielu autorów wykorzystywało takie cechy jak parametry związane z intensywnością fotosyntezy i transpiracji (Klamkowski i in. 2015a, Rumasz-Rudnicka 2010, Olszewski i in. 2008, Koszański i Rumasz-Rudnicka 2008, Tourneux i Peltier 1995).

W badaniach własnych wykazano, że w warunkach deficytu wody parametry takie jak: intensywność asymilacji CO₂ netto (P_n), Intensywność transpiracji (E), przewodnictwo szparkowe H₂O (g_s) oraz podszparkowe stężenie CO₂ (c_i) były niższe niż u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża. Na poziomie gatunków, w ujęciu wszystkich analizowanych parametrów wymiany gazowej, w doświadczeniu wazonowym największą wrażliwością na deficyt wody charakteryzowały się rośliny z gatunku *F. vesca*. Na poziomie odmian wyniki były mniej jednoznaczne. W doświadczeniu wazonowym, w trzech z sześciu terminów pomiarowych największą wrażliwością na stres suszy, pod względem parametrów wymiany gazowej charakteryzowała się odmiana Baron von Solemacher. Doświadczenia hydroponiczne wskazały natomiast na najmniejsze dostosowanie do warunków deficytu wody odmiany Rugia. Wykazano także, że rośliny pozyskane z sadzonek zielnych charakteryzowały się większą tolerancją na niedobór wody w podłożu niż rośliny z kultur *in vitro*.

Grant i in. (2010) u dziesięciu badanych odmian truskawek wykazali zmniejszenie intensywności transpiracji w warunkach deficytu wody. Zbieżne rezultaty uzyskano w badaniach własnych. Według tych autorów reakcja poszczególnych odmian na suszę, określona na podstawie natężenia transpiracji, była uzależniona od miejsca uprawy roślin (tunel poliuretanowy, szklarnia). Podobne wyniki dotyczące wpływu suszy na intensywność transpiracji otrzymali Grant i in (2012b) u badanych czterech odmian truskawki i czterech genotypów *F. chilioensis* (L.) Mill. oraz Ghaderi i Siosemardeh (2011) u dwóch odmian truskawki. Autorzy ci wykazali, podobnie jak w badaniach własnych, negatywny wpływ niedoboru wody na natężenie asymilacji CO₂ i transpiracji oraz przewodność szparkową dla wody. Pirker i in. (2002) u truskawki odmiany Elsanta i Semperflorens, rosnącej w warunkach suszy, wykazali zmniejszenie przewodności szparkowej dla wody, natomiast Cordoba-Novoa i in. (2021) u odmiany Sweet Ann istotne obniżenie parametrów takich jak: g_s, c_i oraz P_n. Analogiczny wpływ niedoboru wody na parametry: g_s, c_i, P_n oraz E u truskawki odmian Fortuna, Rociera, Rábida, Sabrina i Splendor wykazali również Ariza i in. (2021). Autorzy ci wskazali także na istotne różnice w poszczególnych wartościach pomiędzy genotypami sugerując, że odmiana Splendor wykazywała znacznie wyższą wartość parametrów wymiany gazowej niż jakiegokolwiek inny, badany przez nich genotyp truskawki.

Na różnice pomiędzy odmianami z rodzaju *Fragaria*, pod względem parametrów wymiany gazowej w odpowiedzi na stres suszy wskazują również Ghaderi i Siosemardeh (2011) i Klamkowski i in. (2015b, 2013). Według tych autorów, w przypadku intensywności asymilacji CO₂, jej obniżenie

pod wpływem niedostatecznego uwilgotnienia podłoża wahało się od 10% (Ghaderi i Siosemardeh 2011) u odmiany Selva, do aż 92% u odmiany Honeoye (Klamkowski i in. 2015b). Obniżenie natężenia transpiracji w świetle przeprowadzonych badań było najniższe u odmiany Elsanta i wynosiło 27% (Klamkowski i in. 2013), a najwyższe w przypadku odmiany Selva (92%) (Ghaderi i Siosemardeh 2011). W badaniach własnych obniżenie wartości transpiracji wynosiło od 20% u roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego, do 69% u odmiany Baron von Solemacher. Na poziomie gatunków były to wartości od 26% u *F. vesca*, do 45% u *F. chiloensis*.

Przedstawione wyniki wskazują na fakt, że różne gatunki i odmiany roślin z rodzaju *Fragaria* reagują na suszę poprzez rozwijanie mechanizmu unikania, opartego na zamknięciu aparatów szparkowych i zmniejszeniu transpiracji, co jest jedną z pierwszych reakcji roślin na suszę (Klamkowski i in. 2006). Główną funkcją aparatu szparkowego jest kontrola i regulacja wymiany gazowej między wnętrzem liścia a atmosferą. Dzięki temu mechanizmowi możliwa jest regulacja stosunków wodnych i asymilacji węgla w roślinach (Hetherington i Woodward 2003). Zamknięcie aparatu szparkowego chroni rośliny przed nadmierną utratą wody, ale także ogranicza dyfuzję CO₂ do liści (Chaves i in. 2003). Spadek natężenia fotosyntezy u roślin rosnących w warunkach deficytu wody może być wynikiem zarówno procesów szparkowych (zamknięcie szparkowe), jak i nieszparkowych (zaburzenia procesów metabolicznych). Zamknięcie aparatów szparkowych i wynikający z tego niedobór CO₂ jest główną przyczyną zmniejszonej fotosyntezy przy łagodnych i umiarkowanych deficytach wody, podczas gdy zmiany w reakcjach fotosyntetycznych występują w stanie stresów ciężkich (Klamkowski i Treder 2008).

Analizując uzyskane w badaniach własnych różnice między poszczególnymi genotypami pod względem parametrów wymiany gazowej roślin rosnących w optymalnych warunkach uwilgotnienia podłoża stwierdzić należy, że były one niewielkie. Na poziomie odmian jedynie w doświadczeniu hydroponicznym odmiana Rugia przewyższała odmianę Baron von Solemacher pod względem intensywności transpiracji. Wyższymi parametrami wymiany gazowej częściej charakteryzowały się *F. virginiana* i *F. chiloensis* niż *F. vesca*. Natomiast w doświadczeniu wazonowym nr 3 wykazano, że wyższą intensywnością transpiracji charakteryzowały się rośliny pozyskane z sadzonek zielnych, natomiast większą fotosyntezą netto i podszparkowym stężeniem CO₂ – rośliny pozyskane z kultur *in vitro*.

Efektywność zużycia wody (WUE)

Wielkością integrującą zmiany natężenia parametrów wymiany gazowej roślin jest stosunek fotosyntezy do transpiracji (w ujęciu fizjologicznym) lub stosunek plonu do zużycia wody (w ujęciu agronomicznym) (Blum 2005). Stanowi on jeden z parametrów wyrażania efektywności wykorzystania wody przez rośliny (WUE – ang. *water use efficiency*). Opisuje zależność między

asymilacją węgla, a przewodnością szparkową (Klamkowski i Treder 2008). Może być również wyrażany jako stosunek akumulacji suchej masy do zużycia wody w trakcie badanego okresu (Shao 2008). Wysokie wartości WUE świadczą o zdolności roślin do utrzymywania dużej aktywności fotosyntetycznej w warunkach stresu i wyższej odporności na niedobór wody (Bota i in. 2001). Według Chaves i in. (2003) większość roślin wykazuje tendencję do zwiększania WUE w warunkach łagodnego i umiarkowanego niedoboru wody. Wzrost ten wynika ze związku między przewodnością szparkową, a asymilacją węgla, co oznacza, że utrata wody jest ograniczona wcześniej i bardziej intensywnie niż zahamowanie fotosyntezy (Klamkowski i Treder 2008). Współczynnik ten stosowany był w wielu pracach nad wpływem niedoboru wody na stan fizjologiczny roślin (Al-Yasi i in. 2020, Battipaglia i in. 2014, Shao 2008, Blum 2005, Liu i Stützel 2004, Tezara i in. 2002), w tym roślin z rodzaju *Fragaria* (Klamkowski i in. 2015b, Grant i in. 2012, Klamkowski i Treder 2011, Grant i in. 2010, Klamkowski i Treder 2008, Klamkowski i in. 2006). Otrzymywane przez różnych autorów wyniki są jednak bardzo rozbieżne, głównie z uwagi na stosowanie różnych metod wyliczania WUE.

W badaniach własnych wykazano, że w warunkach deficytu wody fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) wzrastał lub malał, w zależności od doświadczenia oraz genotypu rośliny. Na poziomie gatunków, w doświadczeniu wazonowym, WUE był wyższy u roślin rosnących w suszy. Analogiczne zjawisko wykazano również w przypadku doświadczenia wazonowego nr 3, gdzie WUE był wyższy u roślin pozyskanych z sadzonek zielnych rosnących w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia podłoża. W doświadczeniach (zarówno wazonowym, jak i hydroponicznym), w którym porównywano odmiany *F. vesca*, wartość WUE u poziomki rosnącej w warunkach stresu suszy najczęściej była niższa niż u roślin kontrolnych.

W badaniach Klamkowskiego i Tredera (2008, 2011) wskaźnik WUE określany dla truskawek odmian Elsanta oraz Sonata rosnących w warunkach niedoboru wody przyjmował wartości wyższe w porównaniu z kontrolą, co potwierdza wyniki uzyskane w badaniach własnych, w doświadczeniach porównujących gatunki z rodzaju *Fragaria* oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania. Wysokie obserwowane wartości WUE stwierdzone w przytaczanych badaniach Klamkowskiego i Tredera (2008, 2011) były konsekwencją dużych wartości intensywności fotosyntezy netto przy małym natężeniu transpiracji. Takie wyniki wskazują na zwiększoną zdolność do oszczędzania wody przez odmianę Elsanta w porównaniu z dwoma innymi odmianami (Elkat i Salut) (Klamkowski i Treder 2008).

Na podstawie powyższych danych można zauważyć, iż rośliny z rodzaju *Fragaria* wykazują zazwyczaj zwiększenie wskaźnika WUE w warunkach deficytu wody. Zmniejszenie tego wskaźnika może sugerować mniejszą zdolność dostosowywania się do warunków stresowych, poprzez

oszczędność wody, a także zmniejszenie aktywności fotosyntetycznej. Wielkość WUE wskazuje zatem na istnienie znaczących różnic wśród poszczególnych genotypów z rodzaju *Fragaria* w odpowiedzi na deficyt wody.

W przypadku analizy tego parametru u różnych genotypów rosnących w warunkach optimum wodnego, wyniki uzyskane w badaniach własnych prowadzonych metodą hydroponiczną wskazują, że nie różnicuje on ich znamienne. Na poziomie odmian, najczęściej najwyższą wartością WUE charakteryzowały się rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego, gatunków – *F. chiloensis*, a metody pozyskania – rośliny pochodzące z kultur *in vitro*. Takie wyniki wskazują na naturalne dostosowanie obiektów doświadczalnych do wzrostu i rozwoju w warunkach stresowych. Należy również zaznaczyć, że wyższa wartość WUE była wynikiem dużych wartości intensywności fotosyntezy netto przy małym natężeniu transpiracji.

Parametry fluorescencji chlorofilu „a”

Rośliny pochłaniają około 75% promieniowania widzialnego, ale tylko bardzo mała jego część jest wykorzystywana do produkcji związków węgla (Gimenez i in. 2013). W warunkach słabego lub umiarkowanego niedoboru wody oraz przy dużym natężeniu światła może w roślinach dochodzić do fotoinhibicji (Wyka 2010). Drogą obronną roślin jest rozproszenie zaabsorbowanej energii świetlnej poprzez fluorescencję chlorofilu oraz zmianę homeostazy redoks chlorofilu (Kacperska 2015, Olszewska 2003, Starck i in. 1995). Fluorescencja chlorofilu polega bowiem na tym, że gdy chlorofil w tkance liścia pochłania energię o określonej długości fali, jej część jest rozpraszana przez emisję światła o większej długości fali w bardzo krótkim czasie (Gimenez i in. 2013). Stąd też niektóre parametry fluorescencji mogą być wykorzystywane do oceny reakcji roślin na deficyt wody lub inne czynniki stresogenne (Sharma i in. 2020, Kacperska 2015, Klamkowski i in. 2015a, Klamkowski i in. 2013, Olszewska 2009).

Deficyt wody oddziałuje na metabolizm węgla oraz na wykorzystanie produktów fazy świetlnej fotosyntezy, skutkiem czego duża ilość absorbowanej energii świetlnej nie może zostać przekształcona w energię chemiczną. Na skutek nadmiernego wytwarzania reaktywnych form tlenu, będącego efektem stresu oksydacyjnego wywołanego czynnikiem stresogennym, dochodzi do nadprodukcji wzbudzonych stanów tripletowych chlorofilu (3Chl*) (Sampath-Wiley i in. 2008). Przeniesienie energii ze wzbudzonych cząsteczek 3Chl* na cząsteczki O₂ prowadzi do powstania tlenu singletowego (¹O₂). Ta wysoce reaktywna forma tlenu może powodować fotooksydację chlorofilu (głównie P680) i nieodwracalną degradację innych składników aparatu fotosyntetycznego (np. białka D1) oraz peroksydację lipidów błonowych (Penuelas i Munne-Bosch 2005, Yin i in. 2006, Kalaji i in. 2011). Taka sytuacja inicjuje działanie mechanizmów rozpraszania nadmiaru pochłoniętej energii świetlnej, a jednym z nich jest fluorescencja chlorofilu „a”. Stąd też metody badawcze

i techniki oparte na tym zjawisku należą do najbardziej czułych, stosowanych do identyfikacji stanów stresowych u roślin.

Jednym ze wskaźników wydajności fotosyntetycznej roślin jest parametr F_V/F_M (maksymalna potencjalna aktywność fotochemiczna) (Klamkowski i in. 2013, Dąbrowska i in. 2011). Angelini i in. (2001) sugerują, że wskaźnik F_V/F_M u roślin w pełni rozwoju, w warunkach bezstresowych przyjmuje wartości ok. 0,83, a wg Bjorkman and Demmig (1987) – 0,78 do 0,84. Według analizy przeprowadzonej przez Sun i in. (2020) wartość tego parametru w tkance roślinnej pod wpływem deficytu wody zmniejsza się średnio o 13,1%. Zaznaczyć jednak należy, iż wielu autorów sugeruje, że F_V/F_M w warunkach niedoboru wody zmienia się jedynie w przypadku silnego stresu (Klamkowski i in. 2013, Ögren 1990).

Wyniki uzyskane w badaniach własnych wskazują, że oznaczane parametry fluorescencji chlorofilu „a” (z wyjątkiem T_{FM}) były zazwyczaj niewrażliwe na zmiany uwilgotnienia podłoża w badanych wariantach. Brak różnic pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach deficytu wody i uwilgotnienia optymalnego obserwowano zazwyczaj w przypadku takich parametrów jak: F_0 , F_M , F_V oraz F_V/F_M . Sugeruje to, że zastosowany poziom niedoboru wody nie był w istotny sposób ograniczający dla układu PSII badanych roślin. Co więcej, wartości F_V/F_M u roślin rosnących w warunkach suszy rzadko wynosiły mniej niż 0,79, co uznawane jest za granicę, poniżej której pojawiają się znaczące uszkodzenia PSII (Cordoba-Novoa i in. 2021). Natomiast w przypadku parametrów T_{FM} oraz A_M , rośliny rosnące w warunkach deficytowych wykazywały wyższe wartości niż rośliny rosnące w warunkach optymalnych. Wartość parametru A_M jest proporcjonalna do wielkości puli akceptorów elektronów w PSII i w przypadku zablokowania ich transportu (np. podczas stresu) może ulec zmniejszeniu (Kalaji i Łoboda 2009). W badaniach własnych, w ujęciu ogólnym, na poziomie badanych gatunków, największą wrażliwością na suszę, określoną jedynie na podstawie parametrów fluorescencji chlorofilu, zarówno w doświadczeniu wazonowym, jak i hydroponicznym cechowała się *F. vesca*, a największą tolerancją – *F. virginiana*. Na poziomie odmian różnice były niejednoznaczne lub nieistotne. Biorąc pod uwagę metodę pozyskania roślin, bardziej tolerancyjne na stres suszy pod względem parametrów fluorescencji chlorofilu okazały się być rośliny pozyskane z sadzonek zielnych.

W badaniach Cordoba-Novoa i in. (2021) na truskawce odmiany Sweet Ann wykazano obniżenie parametru F_V/F_M u roślin rosnących w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia podłoża, sugerujące istnienie ograniczeń pozaszparkowych spowodowanych uszkodzeniem PSII. Klamkowski i in. (2013) wykazali natomiast, że stres wywołany deficytem wody o umiarkowanym natężeniu nie wpłynął destrukcyjnie na aparat fotosyntetyczny takich odmian truskawki jak: Elsanta, Elkat oraz Grandarosa, o czym świadczyły niewielkie obniżenia parametru F_V/F_M . Zmniejszenie wartości

parametru F_v/F_m u roślin rosnących w warunkach stresu suszy były również obserwowane u truskawki odmian Real i Magic (Caulet i in. 2014).

Odmienne wyniki badań otrzymali Roiloa i Retuerto (2007), którzy wykazali, że wartości wskaźników maksymalnej potencjalnej aktywności fotochemicznej (F_v/F_m), odbicia fotochemicznego (PRI) oraz zawartości chlorofilu w liściach roślin gatunku *F. vesca* poddanych stresowi suszy były większe, niż u roślin rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby.

W eksperymencie Razavi i in. (2008) na truskawce odmiany Elsanta utrzymywanej w łagodnym stresie suszy (wg Hsiao 1973) wykazano, że rozkład pochłoniętych fotonów pomiędzy wygaszaniem fotochemicznym i niefotochemicznym zmieniał się wraz ze wzrostem poziomu suszy, o czym świadczą: zmniejszenie wartości wskaźnika qP i wzrost qN. W badaniach tych autorów nie stwierdzono natomiast wpływu warunków suszy na wartość parametru F_v/F_m .

Zawartość barwników asymilacyjnych

Chlorofil jest jednym z głównych składników chloroplastów, a jego względna zawartość ma pozytywny związek z intensywnością fotosyntezy (Bhattacharya i in. 2021). Do opisu skutków suszy u roślin wielu autorów wykorzystywało właśnie zawartość barwników asymilacyjnych w liściach (Cui i in. 2015, Olszewska i in. 2010, Bertamini i in. 2006, Olszewska 2003). Stres suszy wpływa na łańcuch transportu elektronów, który inicjuje produkcję reaktywnych form tlenu (ROS), które są szkodliwe dla komórek roślinnych i ich organelli, takich jak: mitochondria, chloroplasty i peroksosomy. ROS powodują również rozkład chlorofilu w liściach. W procesie tym chlorofile rozkładają się w chloroplastach i uszkadzają strukturę tylakoidów. W związku z tym, u roślin narażonych na stres suszy stwierdza się zmniejszenie zawartości chlorofilu „a”, „b” oraz całkowitego. Redukcja zawartości chlorofilu niszczy błonę chloroplastową i ostatecznie zmniejsza stężenie barwników fotosyntetycznych (Farooqi i in. 2020). Według badań Sun i in. (2020) zawartość chlorofilu w tkance roślinnej pod wpływem deficytu wody zmniejsza się średnio o 24%. Stąd też spadek zawartości chlorofilu pod wpływem deficytu wody glebowej uznaje się za typowy objaw ograniczeń oksydacyjnych, który może być wynikiem fotooksydacji barwników i degradacji chlorofilu.

Wielu autorów, dla licznych odmian truskawki podaje, że w warunkach niedoboru wody zmniejsza się zawartość barwników asymilacyjnych takich jak: chlorofil „a”, chlorofil „b”, chlorofil całkowity i karotenoidy w liściach (Klamkowski i in. 2015b, Caulet i in. 2014, Ghaderi i Siosemardeh 2011, Grant i in. 2010, Klamkowski i Treder 2008, 2006, Blanke i Cook 2002). W badaniach własnych, w doświadczeniu wazonowym, w którym porównywano odmiany *F. vesca*, rośliny reagowały na niedobór wody głównie podwyższeniem zawartości barwników asymilacyjnych. Było to najprawdopodobniej cechą adaptacyjną do warunków stresowych, związaną ze zmniejszeniem

wymiany gazowej, przy jednoczesnym braku destrukcyjnego wpływu na aparat fotosyntetyczny (zobrazowanym na podstawie braku istotnych różnic pod względem parametrów fluorescencji chlorofilu). Większą wrażliwością na suszę, określoną na podstawie zmian zawartości wszystkich barwników asymilacyjnych w liściach, charakteryzowały się rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego. W przypadku odmian uprawnych, reakcja roślin zależała od warunków prowadzenia doświadczenia – w uprawie hydroponicznej większą wrażliwość na suszę, pod względem zawartości barwników asymilacyjnych wykazano u odmiany Baron von Solemacher, natomiast w kulturach *in vitro* – u odmiany Rugia. Na poziomie gatunków, również najczęściej wykazywano wzrost zawartości barwników asymilacyjnych pod wpływem deficytu wody bądź brak istotnej reakcji roślin. W doświadczeniu wazonowym nr 3 wykazano natomiast, że większą zawartością barwników asymilacyjnych w optymalnych warunkach uwilgotnienia podłoża, jak również większą tolerancją pod tym względem na deficyt wody, charakteryzowały się rośliny pozyskane z sadzonek zielnych, w porównaniu z pochodzącymi z kultur *in vitro*.

Należy podkreślić, że stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” bywa w literaturze określany jako parametr charakteryzujący określone genotypy oraz wskaźnik funkcjonowania aparatu fotosyntetycznego – jego wzrost wskazuje na lepszą wydajność fotosyntetyczną (Kitajima i Hogan 2003). Zmiany w stosunku chlorofilu „a” do „b” są związane z równowagą zdolności absorpcji promieniowania dwóch fotosystemów. Zwiększenie tego parametru wiąże się ze zmniejszeniem wydajności anteny PSII do zbierania światła, aby nadążać za tempem wzbudzenia PSI (Zhang i in. 2011). Najczęściej jednak stosunek ten jest wykorzystywany do oceny reakcji roślin na stres wywołowany nadmiernym promieniowaniem świetlnym (Maina i Wang 2015). W badaniach własnych, w większości doświadczeń, parametr ten był najczęściej niewrażliwy na deficyt wody, przez co wydaje się być nieefektywny w określaniu reakcji roślin z rodzaju *Fragaria* na stres związany z suszą. Co więcej, również poszczególne genotypy nie różniły się zazwyczaj od siebie wartością stosunku zawartości chlorofilu „a” do „b” w optymalnych warunkach wodnych. Wyższą wartość wykazano jedynie u roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego (w doświadczeniu wazonowym nr 1) oraz u *F. chiloensis* (w doświadczeniu wazonowym nr 2).

Względna zawartość wody w liściach (RWC)

Wskaźniki względnej zawartości wody w liściach (RWC) oraz deficytu wysycenia tkanek wodą (WSD) są jednymi z ważniejszych parametrów używanych powszechnie do oceny gospodarki wodnej roślin. RWC jest uważany za miarę stanu wody w roślinie, odzwierciedlającą aktywność metaboliczną w tkankach (Sinclair i Ludlow 1986). Rośliny charakteryzujące się niskim RWC cechuje zazwyczaj mała aktywność fotosyntetyczna (Tezara i in. 2002). Według Hsiao (1973) zmniejszenie wartości RWC w granicach od 8 do 10% świadczy o łagodnym odwodnieniu liścia,

o 10-20% – umiarkowanym, a o ponad 20% – ostrym odwodnieniu liścia. Utrata powyżej 50% względnej zawartości wody bezpośrednio prowadzi do desykcji rośliny (Kacperska 2015).

W badaniach własnych, w większości przypadków wykazano, że badane genotypy i rośliny pozyskane różnymi metodami, rosnące w warunkach optymalnej wilgotności podłoża, nie różniły się pod względem wartości RWC. W badaniach dotyczących reakcji roślin z rodzaju *Fragaria* na deficyt wody, w większości przypadków różnice w wartości RWC pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach niedoboru wody i kontrolnych były nieistotne. Jedynie w doświadczeniu hydroponicznym, w którym porównywano gatunki wykazano obniżenie wartości RWC pod wpływem suszy. Brak różnic w wartości RWC pomiędzy roślinami rosnącymi w deficycie wody i w optimum wskazuje, że dobrze znosiły one zastosowany stres, na co wskazywało dobre uwodnienie liści. Odemis i in. (2020) również wskazują, że łagodny stres wodny nie powoduje obniżenia wartości RWC.

U Caulet i in. (2014), u truskawki odmian Real i Magic, wskaźnik RWC zmniejszył się pod wpływem niedoboru wody. Spadek ten był podobny u obu odmian i osiągnął 65% u odmiany Real i 63% u odmiany Magic. Podobne wyniki uzyskali Ghaderi i Siosemardeh (2011) u truskawki odmian: Kurdistan i Selva, Odemis i in. (2020) u ‘Camarosa’ i Martínez-Ferri i in. (2016) u ‘Antilla’, ‘Benicia’, ‘Sabrina’, ‘Fortuna’ i ‘Camarosa’. Nie zaobserwowano tego jednak u odmiany Santaclara i Splendor (Martínez-Ferri i in. 2016). Zhang i Archbold (1993a) stwierdzili, że *F. virginiana* wędła przy RWC równym 82% i była bardziej wrażliwa na stres deficytu wody niż *F. chiloensis*, u której wędnięcie obserwowano przy RWC równym 60%.

Wzrost, rozwój i plonowanie roślin

Ze względu na fakt, iż zakłócenia przebiegu procesów fizjologicznych wywołane przez niedobór wody bezpośrednio wpływają na wielkość plonu roślin (Olszewska i Grzegorzczak 2013), wielu autorów oceniając stan fizjologiczny roślin w warunkach stresu wodnego określa również ich plonowanie (Chmura i in. 2009, Koszański i Rumasz-Rudnicka 2008, Grzebisz i Musolf 1999).

Istnieją doniesienia, że deficyt wody może zaburzać współzależność między zapylanymi roślinami a owadami zapylającymi. Nieodpowiednie dopasowanie pomiędzy roślinami i ich zapylaczami może wystąpić z powodu zmian klimatycznych, a zwłaszcza ekstremalnych zjawisk, takich jak susza, zarówno pod względem rozmieszczenia jednych i drugich, a także ze względu na zmienność cech fenologicznych na danym terenie (Descamps i in. 2021). Susza może także powodować zmiany w budowie morfologicznej kwiatów, co będzie przekładać się na znamieny spadek ich atrakcyjności dla potencjalnych zapylaczy (Descamps i in. 2020). W tym aspekcie możliwa jest zmiana koloru kwiatów, ich kształtu i zapachu, co skutkować będzie zmniejszeniem ilości produkowanego nektaru oraz pyłku i w następstwie doprowadzi do mniejszego stopnia

przyciągania owadów. W badaniach własnych zaobserwowano (dane nieprezentowane) rozwój kwiatów u *F. virginiana* oraz *F. vesca* pobranych ze środowiska naturalnego, z których mimo dostępności owadów zapylających nie rozwinęły się owoce. Efekt ten najprawdopodobniej był spowodowany nieatrakcyjnością kwiatów wytworzonych u wspomnianych roślin. Brak owoców mimo wykształcenia kwiatów zaobserwowano również u *F. chiloensis*, jednak w tym przypadku było to spowodowane faktem, iż ten gatunek charakteryzuje się rozdzielнопłciowością – wszystkie badane rośliny, z wyjątkiem jednej, wykształciły kwiaty męskie.

Wielu autorów wskazuje na niekorzystny wpływ deficytu wody na wzrost i plonowanie roślin z rodzaju *Fragaria*. Według Yuan i in. (2004), wzrost niedoboru wody powodował zmniejszenie liczby liści, kwiatów, owoców, świeżej masy części nadziemnej oraz plonu owoców (w tym plonu handlowego) oraz wielkości owoców truskawki odmiany Sachinoka. W warunkach stresu wodnego zmniejsza się względne tempo wzrostu roślin, ich wysokość oraz świeża i sucha masa (Lipiec i in. 2013). Na zmniejszenie suchej masy roślin, wpływają między innymi wywołane niedoborem wody, zakłócenia w przebiegu fotosyntezy. W warunkach suszy zmniejszeniu ulega pobieranie wody i składników pokarmowych, tempo wzrostu, wysokość roślin, powierzchnia liści i biomasa (Farooqi i in. 2020). Według innych autorów genotypy roślin odpornych na suszę akumulują więcej biomasy wytwarzając większą liczbę łodyg i liści o większej powierzchni (Kerepesi i Galiba 2000), co jest jednym z mechanizmów zapobiegania negatywnym konsekwencjom deficytu wody. Deficyt wody wpływa także na rozwój kwiatów. Gdy podczas rozwoju wegetatywnego u roślin występuje stres związany z niedoborem wody, rośliny jednoroczne często inicjują swój rozwój reprodukcyjny wcześniej, by zapewnić odpowiednie odżywienie i rozwój nasion przed zakończeniem cyklu życiowego. Przypadki niedoboru wody występujące podczas indukcji kwitnienia i rozwoju kwiatów mogą jednak powodować opóźnienie w rozwoju kwiatów i czasami prowadzić do całkowitego zahamowania kwitnienia (Sinha i in. 2021).

Zahamowanie wzrostu pod wpływem deficytu wody stwierdzono u *F. vesca* (Roiloa i Retuerto 2007), truskawki odmian: Elkat, Elsanta i Grandarosa (Klamkowski i in. 2013, Razavi i in. 2008, Klamkowski i in. 2006) oraz ‘Antilla’, ‘Benicia’, ‘Sabrina’, ‘Fortuna’, ‘Santaclara’, ‘Splendor’ i ‘Camarosa’ (Martínez-Ferri i in. 2016). W badaniach własnych cechy morfologiczne oceniano w doświadczeniu w kulturach *in vitro*. Pomiedzy roślinami rosnącymi w warunkach optymalnej dostępności wody nie wykazano różnic pod względem większości określanych cech biometrycznych. Jedynie u odmiany Baron von Solemacher stwierdzono większą liczbę korzeni. W odpowiedzi na stres niedoboru wody, u obu odmian wykazano natomiast zmniejszenie niemal wszystkich cech morfologicznych. Jedynie u odmiany Baron von Solemacher długość korzeni pozostawała taka sama zarówno na pożywce bez, jak i z dodatkiem mannitolu. Większe pogorszenie badanych parametrów

w odpowiedzi na stres wywołany deficytem dostępności wody wykazano u odmiany Rugia. Podobne wyniki badań w kulturach *in vitro* nad truskawką odmiany Queen Elisa uzyskali Yosefi i in. (2020), wg których niedobór wody wywołany dodatkiem do pożywki PEG6000 (5-7%) spowodował zmniejszenie biomasy roślin oraz liczby i długości pędów oraz korzeni.

Wskazuje się również, że jednym z mechanizmów minimalizowania niekorzystnego wpływu deficytu wody w glebie są zmiany morfologiczne, takie jak rozwijanie głębszych korzeni i stymulowanie ich proliferacji w celu uzyskania dostępu do wody zawartej w głębszych warstwach gleby (Li i in. 2021, Dietz i in. 2021, Iqbal i in. 2020). Wykazano, że susza powoduje zmniejszenie powierzchni liści i systemu korzeniowego truskawki odmiany Sonata, przy czym bardziej ogranicza wzrost części nadziemnej, co świadczyć może o strategii obronnej rośliny – maksymalnym wykorzystaniu zasobów wody (Klamkowski i Treder 2011). Zwiększenie inwestycji w korzenie powoduje zwiększenie głębokości korzeni. Umożliwia to roślinom zwiększenie poboru wody i przetrwanie w czasie suszy (Klamkowski i in. 2006). W badaniach Caulet i in. (2014) nad truskawką odmiany Magic i Real stwierdzono zwiększenie długości korzeni pod wpływem suszy. Nie wykazano natomiast jej oddziaływania na liczbę wykształconych korzeni. W przeprowadzonych, własnych doświadczeniach wazonowych, nie wykazano wpływu niedoboru wody zarówno na świeżą, jak i suchą masę systemu korzeniowego badanych genotypów z rodzaju *Fragaria*.

W badaniach Borowicz (2010) wykazano, że *F. virginiana* reagował na niedobór wody zmniejszeniem masy części nadziemnej oraz korzeni, przy czym w przypadku korzeni oddziaływanie to było w dużym stopniu uzależnione od genotypu rośliny. Ponadto rośliny rosnące w warunkach stresu wodnego wytwarzały krótsze rozłogi. Potwierdzają to również badania Grant i in. (2012b), którzy stwierdzili, że liczba liści wytworzonych przez truskawki i poziomki rosnące w warunkach deficytu wodnego była mniejsza niż u roślin kontrolnych, ale także znacząco różniła się między genotypami ('ZB4' - *F. chiloensis* wytworzyła największą liczbę liści, a 'Totem' i 'Elsanta' - *Fragaria x ananassa* – najmniej). Zmniejszenie całkowitej powierzchni liści ogranicza transpirację, a więc może stanowić element odporności roślin na niedobór wody (Grant i in. 2010).

Deficyt wody wpływa na zmniejszenie plonu większości roślin uprawnych (Dietz i in. 2021). Spadek plonu owoców truskawki, jak podaje literatura, może wynosić od 7% u odmiany Flamenco (Weber i in. 2016) do 63% u odmiany Elkat (Klamkowski i in. 2013). Również w badaniach własnych, w doświadczeniu wazonowym, w którym porównywano odmiany, wykazano zmniejszenie zarówno sumarycznego plonu owoców, jak i masy pojedynczego owocu. Plon owoców zmniejszał się od 37% u odmiany Rugia do 78% u odmiany Baron von Soloemacher, a także o 78% u roślin pozyskanych z sadzonek zielnych i o 15% u roślin pochodzących z kultur *in vitro*.

Masa pojedynczego owocu truskawki ściśle związana jest z ilością wody dostarczanej roślinom podczas kwitnienia i rozwoju owoców (Ariza i in. 2021, Giné Bordonaba i Terry 2010, Terry i in. 2007, Serrano i in. 1992). W badaniach własnych rośliny rosnące w warunkach deficytu wody wykształcały owoce o mniejszej masie jednostkowej. Obniżenie to wynosiło od 26% u odmiany Rugia do 45% u odmiany Baron von Solemacher oraz o 41% u roślin pozyskanych z sadzonek zielnych i o 33% – z kultur *in vitro*.

Powyższe wskazania potwierdzone są również w badaniach Terry i in. (2007), w których wykazano, że DI (nawadnianie deficytowe; ang. *deficit irrigation*) zmniejszyło świeżą i suchą masę owoców truskawki odmiany Elsanta. Również Yuan i in. (2004) stwierdzili, że zmniejszenie ilości dostarczanej wody może ograniczać plonowanie truskawek. W badaniach Giné Bordonaba i Terry (2010) masa owocu truskawki została istotnie zmniejszona (w przybliżeniu o 1/3) przez DI u odmian Symfonia, Elsanta i Sonata. Podobne wyniki, tj. zmniejszenie liczby i masy owoców u roślin utrzymywanych w nawadnianiu deficytowym uzyskali również Odemis i in. (2020) dla truskawki odmiany Camarosa. Rugienius i in. (2021) dla *F. vesca* wykazali natomiast, że niedobór wody skutkował zmniejszeniem masy owoców odmiany hybrydowej i w znacznie mniejszym stopniu odmiany Rojan. Zwiększał natomiast jednocześnie liczbę owoców i plon ogólny. Autorzy ci stwierdzili, że stres suszy stymulował zarówno zawiązywanie owoców, jak i szybkość ich dojrzewania.

Jednoznacznie można zatem stwierdzić, że deficyt wody znacznie ograniczał plonowanie roślin z rodzaju *Fragaria*, przy czym większą wrażliwość na suszę wykazywała odmiana Baron von Solemacher oraz rośliny pozyskane z sadzonek zielnych. Wrażliwość roślin z rodzaju *Fragaria* na deficyt wody objawiająca się spadkiem plonowania wynika głównie z faktu, iż ich owoce charakteryzują się znaczną zawartością wody, przy stosunkowo płytkim i mało rozległym systemie korzeniowym.

Zawartość proliny

Prolina jest aminokwasem syntetyzowanym w tkankach roślinnych w warunkach stresowych (Ozturk i in. 2020). Rolą tego osmolitu jest stabilizacja błon komórkowych, udział w tworzeniu białek, ale przede wszystkim redukcja fotouszkodzeń w błonach tylakoidów poprzez efektywne zmiatanie ROS (Kishor i in. 2005). Prolina wykazuje również właściwości wzmacniające mechanizmy ochrony antyoksydacyjnej we współdziałaniu z takimi enzymami jak peroksydaza askorbinianowa, katalaza oraz dysmutaza ponadtlenkowa (Ozturk i in. 2020). Zawartość wolnej proliny jest parametrem często wykorzystywanym do opisu skutków suszy u roślin, gdzie wzrost jej zawartości wskazuje na reakcję roślin na stres (Al-Yasi i in. 2020, Sun i in. 2020, Qayyum i in. 2017, Sun i in. 2015, Zhang i in. 2011a).

W badaniach własnych zawartość wolnej proliny nie różnicowała w sposób istotny badanych genotypów z rodzaju *Fragaria* i roślin pozyskanych różnymi metodami rozmnażania, rosnących w warunkach optymalnej wilgotności podłoża. W badaniach reakcji roślin na suszę, niemal we wszystkich przypadkach wykazano zwiększenie zawartości wolnej proliny w liściach roślin rosnących w warunkach deficytu wody. W przypadku badanych odmian poziomki wzrost ten wynosił od 39% u odmiany Baron von Solemacher do 356% u odmiany Rugia. U porównywanych gatunków wzrost zawartości wolnej proliny zaobserwowano jedynie u *F. vesca* - wynosił on od 39 do 245%. Według Sun i in. (2020), zawartość wolnej proliny w tkankach, pod wpływem deficytu wody wzrasta średnio o 136,8% (59,9% - 213,7%). Również Ozturk i in. (2020) wskazują, że w warunkach stresowych koncentracja wolnej proliny w tkankach roślinnych może wzrosnąć nawet 100-krotnie, przy czym wzrost ten jest skorelowany z siłą stresu działającego na roślinę – im wyższy stres, tym większa synteza proliny. Należy jednak podkreślić, że akumulacja proliny jest przede wszystkim wskaźnikiem stresu, a nie reakcją adaptacyjną (Jaleel i in. 2007a). Można zatem przyjąć, że *F. vesca* była bardziej wrażliwa na stres suszy niż *F. chiloensis* i *F. virginiana*, a odmiana Rugia bardziej wrażliwa na suszę niż Baron von Solemacher i rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego.

Skład mineralny roślin

Zawartość makro i mikroelementów zarówno w częściach nadziemnych, jak i korzeniach roślin uznać można za ważny element odpowiedzi roślin na niedobór wody. Z tego też względu, w przeprowadzonych badaniach dokonano porównania reakcji na niedobór wody, różnych genotypów poziomki – gatunków i odmian oraz roślin pozyskanych różnymi metodami rozmnażania pod względem składu chemicznego. Niedobór wody prowadzić może do zmian składu chemicznego owoców gatunków z rodzaju *Fragaria* (Weber i in. 2017, Koszański i in. 2006). W badaniach Koszańskiego i in. (2006) wykazano, że niedobór wody wpłynął na zmniejszenie zawartości fosforu i potasu w owocach truskawek odmian: Elsanta, Senga Sengana oraz Elkat, co mogło być wynikiem wzmożonego przepływu tych składników z wodą, mniejszą zawartością azotu i azotanów (III) oraz zahamowaniem aktywności reduktazy azotanowej. W badaniach własnych najwięcej różnic w zawartości pierwiastków w poszczególnych organach roślin, wykazano pomiędzy porównywanymi odmianami poziomki.

Zawartość potasu w tkankach roślinnych ma wpływ na gospodarkę wodną rośliny, pobieranie wody i transpirację. Zapewnia odpowiedni bilans wodny poprzez utrzymanie wysokiego potencjału osmotycznego w korzeniach, niezbędnego do napędzanego ciśnieniem turgorowym transportu wody i substancji rozpuszczonych w ksylemie (Egilla i in. 2005). Odpowiednie stężenie jonów potasowych jest zatem konieczne do ustalania korzystnego potencjału błonowego, i co się z tym wiąże, do dostosowania osmotycznego w warunkach stresowych. Proces ten wpływa również na redukcję

reaktywnych form tlenu. Wskazania te sugerują, że wzrost zawartości potasu związany jest z mechanizmami przetrwania roślin podczas suszy (Al-Yasi i in. 2020). Podwyższone poziomy potasu mogą również stanowić mechanizm tolerancji, ograniczający wchłanianie toksycznych jonów przez korzenie (Perin i in. 2019, Keutgen i Pawelzik 2008). Udowodniony jest udział potasu w fizjologicznych i molekularnych mechanizmach zwiększania tolerancji roślin na suszę, w tym w otwieraniu i zamykaniu aparatów szparkowych, ponieważ kanały potasowe w komórkach ochronnych aparatu szparkowego są wrażliwe na zawartość wody w roślinie (Ahanger i in. 2016). W badaniach własnych, zwłaszcza nad gatunkami z rodzaju *Fragaria* oraz w przypadku porównania roślin pozyskanych różnymi metodami rozmnażania, zawartość potasu we wszystkich analizowanych organach (liście, korony, korzenie) nie zmieniała się pod wpływem niedoboru wody w podłożu. Jedynie w przypadku doświadczenia wazonowego nr 1 (na poziomie odmian) u *F. vesca* pozyskanej ze środowiska naturalnego wykazano w stresie suszy większą zawartość tego składnika w liściach oraz korzeniach. Fakt ten może sugerować, że rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego mogą różnić się od odmian uprawnych sposobami przystosowywania się do warunków niedoboru wody, zwłaszcza biorąc pod uwagę tzw. „pamięć stresową” zaproponowaną przez Jacques i in. (2021). Można bowiem przypuszczać, że rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego we wcześniejszych okresach wegetacyjnych były narażone na silniejsze stresy środowiskowe niż odmiany uprawne. Również w badaniach Perin i in. (2019) wykazano, że u truskawki rosnącej w warunkach 70 i 50% ewapotranspiracji, zawartość potasu w liściach była wyższa, niż u roślin kontrolnych (utrzymywanych w warunkach 100% ewapotranspiracji).

Podobne jak dla zawartości potasu, wyniki badań własnych uzyskano w przypadku innego kationu jednowartościowego – sodu. U *F. vesca* pozyskanej ze środowiska naturalnego wyższą zawartość tego składnika odnotowano w liściach i korzeniach roślin rosnących w warunkach deficytu wody. Wykazano także brak wpływu suszy na pobieranie i kumulację sodu w analizowanych organach wszystkich badanych gatunków (doświadczenie wazonowe nr 2) i roślin pozyskanych różnymi metodami rozmnażania (doświadczenie wazonowe nr 3). Większą zawartość sodu w warunkach niedoboru stwierdzono natomiast w korzeniach obu odmian uprawnych i liściach odmiany Rugia. W aspekcie stresu suszy należy bowiem podkreślić, że sód bierze udział w osmotycznym dostosowywaniu tkanek roślinnych do niskiego zewnętrznego potencjału wody. U gatunków C4 może również warunkować zarówno jasną, jak i ciemną fazę fotosyntezy, np. bierze udział w transporcie pirogronianu do mezofilu chloroplastu i utrzymuje ich integralność funkcjonalną poprzez bezpośredni wpływ na układ gran (Martinez i in. 2003).

Zmiany w aktywności cytozolowej Ca^{2+} wyzwalają łańcuch zdarzeń, który powoduje włączanie i wyłączanie procesu fosforylacji, co ostatecznie wpływa na dużą liczbę reakcji

biochemicznych. Uznaje się, że zmiany stężenia wapnia w tkankach roślinnych mogą być podstawową odpowiedzią na różnorodne obciążenia środowiskowe i w pewien sposób integrować ze sobą różne sygnały (Rengel 1992). Ponadto stres abiotyczny zwykle zwiększa stężenie endogennego ABA, o którym wiadomo, że wykorzystuje fosfatazy białkowe zależne od wapnia i sam wapń do przekazywania sygnałów (Bowler i Fuhler 2000). Podwyższony poziom wapnia cytoplazmatycznego ma kluczowe znaczenie dla transdukcji sygnalizacji ABA w komórkach ochronnych (Ahanger i in. 2016). Powszechnie przyjmuje się, że prawie wszystkie rodzaje stresów zmieniają ekspresję genów w roślinach. Wapń natomiast działa jako przekaźnik w roślinach, co skłania do wniosku, że Ca^{2+} jest regulatorem ekspresji genów związanych z produkcją białek zaangażowanych w procesy ochronne (Aliniaiefard i in. 2021, Ahanger i in. 2016). Stąd też, duża zawartość wapnia w tkankach roślinnych może stanowić wskaźnik wystąpienia zjawiska stresu. W badaniach własnych, głównie w przypadku liści i koron *F. vesca* pozyskanej ze środowiska naturalnego rosnącej w warunkach deficytu wody, wykazano mniejszą zawartość wapnia. Podobnie zatem jak w przypadku zawartości potasu, również zawartość wapnia może wskazywać na różnice w przystosowywaniu się do warunków stresowych między roślinami pochodzącymi ze środowiska naturalnego a odmianami uprawnymi.

Cynk odgrywa bardzo ważną rolę w metabolizmie roślin wpływając na aktywność hydrogenaz i anhydrazy węglanowej, stabilizację frakcji rybosomalnych oraz syntezę cytochromu i tryptofanu, który jest prekursorem IAA (Hafeez i in. 2013). Uznaje się, że cynk wpływa na zdolność pobierania i transportu wody w roślinie, a także zmniejsza negatywne skutki krótkotrwałych stresów cieplnych i solnych (Disante i in. 2010). W badaniach własnych zaobserwowano wzrost jego zawartości w korzeniach roślin odmiany Rugia oraz roślin pozyskanych ze środowiska naturalnego, rosnących w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża, co wskazywać może, że te genotypy wykazywały odmienne od odmiany Baron von Solemacher dostosowanie do warunków suszy.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że liście oraz korzenie *F. vesca* cv. Baron von Solemacher, rosnącej w stresie suszy cechowały się mniejszą zawartością miedzi w stosunku do roślin kontrolnych – utrzymywanych w optymalnej wilgotności podłoża. Podobne wyniki uzyskali również Perin i in. (2019), w badaniach których liście truskawki rosnącej w stresie suszy zawierały mniej miedzi oraz boru. Na poziomie gatunków oraz w doświadczeniu na roślinach pozyskanych różnymi metodami rozmnażania, nie stwierdzono natomiast różnic w zawartości miedzi pod wpływem zróżnicowanej wilgotności podłoża. Miedź stanowi element strukturalny białek regulatorowych i uczestniczy w fotosyntetycznym transporcie elektronów, oddychaniu mitochondrialnym, reakcjach na stres oksydacyjny, metabolizmie ściany komórkowej i sygnalizacji hormonalnej. Jony miedzi działają jako kofaktory w wielu enzymach, takich jak dysmutaza ponadtlenkowa (SOD), oksydaza cytochromu c czy aminooksydaza. Na poziomie komórkowym

miedź odgrywa również istotną rolę w sygnalizowaniu mechanizmów transkrypcji i transportu białek, fosforylacji oksydacyjnej i akumulacji żelaza, co w znaczący sposób może kształtować reakcję rośliny na stres suszy (Yurela 2005).

Mangan był pierwiastkiem, który najbardziej różnicował badane gatunki pod względem odpowiedzi na deficyt wody. Wyższą zawartość manganu wykazano w liściach, koronach i korzeniach *F. chiloensis* oraz koronach *F. vesca* utrzymywanej w warunkach deficytowego uwilgotnienia podłoża. Zależności takich nie zanotowano natomiast dla *F. virginiana*. Również w badaniach Perin i in. (2019) wykazano, że u truskawki rosnącej w warunkach 70 i 50% ewapotranspiracji zawartość manganu w liściach była wyższa, niż u roślin kontrolnych (utrzymywanych w warunkach 100% ewapotranspiracji). Podobne wnioski na temat reakcji truskawki na stres abiotyczny spowodowany obecnością kadmu w podłożu oraz zasoleniem zaobserwowali odpowiednio: Muradoglu i in. (2015) oraz Keutgen i Pawelzik (2009). W badaniach tych autorów wraz ze zwiększeniem stężenia kadmu i chlorku sodu w podłożu zawartość manganu w tkankach roślin wzrastała. Mangan jest pierwiastkiem biorącym udział w budowie białek i enzymów fotosyntetycznych. Brak manganu może znacząco ograniczać aktywność fotosystemu II (PSII) ponieważ odgrywa on kluczową rolę w reakcji rozszczepiania wody (Buchanan 2000). Zwiększenie zawartości manganu w tkankach roślin rosnących w warunkach suszy może zatem świadczyć o uruchomieniu procesów mających na celu zredukowanie negatywnego wpływu niedoboru wody na metabolizm rośliny. Wskazywać to zatem może, że w tym aspekcie *F. virginiana* wydaje się być mniej wrażliwa na deficyt wody niż pozostałe gatunki.

Należy zaznaczyć, że mimo istotnej roli magnezu, molibdenu i żelaza w wielu funkcjach fizjologicznych wiążących się bezpośrednio i pośrednio z dostosowaniem do negatywnych skutków suszy, niedobór wody w podłożu nie wpłynął na zawartości tych składników pokarmowych w roślinach z rodzaju *Fragaria*. Również w badaniach Perin i in. (2019) wykazano, że u truskawki, utrzymywanej w warunkach deficytu wody, stres nie miał wpływu na zawartość magnezu i fosforu.

Oprócz zawartości pierwiastków, również stosunek jonów jedno- do dwuwartościowych może wskazywać na stan uwodnienia biokoloidów komórkowych, w odpowiedzi na niedobór wody w podłożu. Stosunek $K:(Ca+Mg)$ stanowi jedną z ważniejszych cech wskazujących na równowagę jonową roślin (Sawicka 2016). W wielu odmianach ziemniaka w odpowiedzi na stres wywołany suszą stosunek ten ulegał zwiększeniu w porównaniu z roślinami utrzymywanymi w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża (Lefèvre i in. 2012). Essa (2002) sugeruje, że zasolenie NaCl może dawać ekstremalnie wysokie wartości stosunków Na^+/Ca^{2+} w roślinach. Wyższy stosunek kationów jedno- do dwuwartościowych biernie wpływa na uwodnienie błon komórkowych i makrocząsteczek (Marschner 1995). Wyniki badań własnych nie wskazywały jednakże na istotne

zmiany wartości tego stosunku. Wyjątkiem były rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego (w doświadczeniu wazonowym nr 1), w liściach i koronach których, wyższe wartości stosunku $K:(Ca+Mg)$ stwierdzono na skutek niedoboru wody w podłożu. Podwyższenie tego stosunku w wyniku deficytu wody zaobserwowano również w koronach *F. vesca* cv. Rugia, zarówno w przypadku roślin pochodzących z kultur *in vitro*, jak i pozyskanych z sadzonek zielnych.

5. Wnioski

Mając na uwadze cele niniejszej pracy oraz postawione hipotezy badawcze, na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że:

1. Badane genotypy z rodzaju *Fragaria* – zarówno gatunki, jak i odmiany, oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania (z sadzonek zielnych oraz metodą *in vitro*), różnią się między sobą cechami fizjologicznymi, przy czym:
 - a. wykazane pomiędzy gatunkami, odmianami i roślinami pozyskanymi różnymi metodami różnice pod względem cech fizjologicznych, w warunkach optymalnego uwilgotnienia podłoża, były związane z rodzajem doświadczenia (wazonowe, hydroponiczne, kultury *in vitro*),
 - b. w doświadczeniu wazonowym, w którym porównywano odmiany *Fragaria vesca* L., najwyższymi parametrami fluorescencji chlorofilu „a” (T_{FM} i A_M) i największą zawartością barwników asymilacyjnych w liściach charakteryzowały się rośliny pozyskane ze środowiska naturalnego,
 - c. w doświadczeniu hydroponicznym i w kulturach *in vitro* badane odmiany *Fragaria vesca* nie różniły się pod względem cech fizjologicznych,
 - d. w doświadczeniu wazonowym, w którym porównywano gatunki z rodzaju *Fragaria*, wyższymi wartościami parametrów wymiany gazowej charakteryzowały się *Fragaria virginiana* i *Fragaria chiloensis* w porównaniu z *Fragaria vesca*,
 - e. rośliny pozyskane z sadzonek zielnych cechowały się wyższymi wartościami cech fizjologicznych niż rośliny pozyskane z kultur *in vitro*.
2. Niedobór uwilgotnienia podłoża istotnie wpływał na cechy fizjologiczne roślin z rodzaju *Fragaria*, przy czym wykazane zmiany były uzależnione od badanego genotypu, rodzaju doświadczenia i określanego parametru.
3. Poszczególne genotypy z rodzaju *Fragaria* na poziomie zarówno odmian, jak i gatunków, oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania różniły się reakcją na deficyt wody w podłożu, ocenianą na podstawie ich cech fizjologicznych, przy czym:
 - a. w doświadczeniu wazonowym, w którym porównywano odmiany *Fragaria vesca* L., lepszym dostosowaniem do warunków niedoboru uwilgotnienia podłoża charakteryzowały się rośliny odmian uprawnych (‘Rugia’, ‘Baron von Solemacher’) w porównaniu z roślinami pozyskanymi ze środowiska naturalnego, w doświadczeniu hydroponicznym – odmiana Rugia w stosunku do ‘Baron von Solemacher’, a w kulturach *in vitro* – ‘Baron von Solemacher’ w stosunku do odmiany Rugia,

-
- b. w doświadczeniu, w którym porównywano gatunki z rodzaju *Fragaria* lepszym dostosowaniem do warunków deficytu wody w podłożu, charakteryzowały się gatunki pierwotne, tj. *Fragaria virginiana* i *Fragaria chiloensis* w porównaniu z poziomką pospolitą (*Fragaria vesca*),
 - c. rośliny pochodzące z kultur *in vitro* charakteryzowały się lepszym dostosowaniem do warunków niedoboru wody w podłożu niż rośliny pozyskane z sadzonek zielnych.
4. Cechami przydatnymi do oceny stanu fizjologicznego roślin z rodzaju *Fragaria* w warunkach stresu wywołanego niedoborem wody okazały się: parametry wymiany gazowej, zawartość wolnej proliny w liściach, cechy morfometryczne, wielkość plonu owoców oraz masa pojedynczego owocu. Parametry takie jak: zawartość barwników asymilacyjnych w liściach, parametry fluorescencji chlorofilu „a”, względna zawartość wody w liściach, świeża i sucha masa systemu korzeniowego, zawartość pierwiastków oraz stosunek K:(Ca+Mg) w organach roślin były mniej wrażliwe na zastosowany poziom deficytu wody i w związku z tym były mniej przydatne do oceny odpowiedzi roślin na deficyt wody w podłożu.

Literatura

1. Adams HD, Guardiola-Claramonte M, Barron-Gafford GA, Villegas JC, Breshears DD, Zou CB, Troch PA, Hyxman TW. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 7063-7066.
2. Ahanger MA, Morad-Talab N, Abd-Allah EF, Ahmad P, Hajiboland R. (2016). Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients, [w:] *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, Volume 2, First Edition. A. Parvaiz (red.), wyd. John Wiley & Sons 2016, s. 649-668.
3. Ahmed K, Shahid S, Nawaz N. (2018). Impacts of climate variability and change on seasonal drought characteristics of Pakistan. *Atmospheric Research*, 214: 364-374.
4. Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Tagipour A. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).
5. Aliniaiefard S, Shomali A, Seifikalhor M, Lastochkina O. (2020). Calcium signaling in plants under drought. Salt and drought stress tolerance in plants: Signaling networks and adaptive mechanisms. [w:] *Salt and Drought Stress Tolerance in Plants*, Springer, Cham, s. 259-298.
6. Alsheikh MK, Suso HP, Robson M, Battey NH, Wetten A. (2002). Appropriate choice of antibiotic and Agrobacterium strain improves transformation of antibiotic-sensitive *Fragaria vesca* and *F. v. semperflorens*. *Plant Cell Reports*, 20: 1173-1180.
7. Al-Yasi H, Attia H, Alamer K, Hassan F, Ali E, Elshazly S, Siddique KHM, Hessini K. (2020). Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. *Plant Physiology and Biochemistry*, 150: 133-139.
8. An G, Hao Z. (2017). Variation of precipitation and streamflow in the upper and middle Huaihe River Basin, China, from 1959–2009. *Journal of Coastal Research*, 80: 69-79.
9. Angelini G, Ragni P, Esposito D, Giardi P, Pompili ML, Moscardelli R, Giardi MT. (2001). A device to study the effect of space radiation on photosynthetic organisms. *Physica Medica*, 17(1): 267-268.
10. Ariza MT, Miranda L, Gómez-Mora JA, Medina JJ, Lozano D, Gavilán P, Soria C, Martínez-Ferri E. (2021). Yield and Fruit Quality of Strawberry Cultivars under Different Irrigation Regimes. *Agronomy*, 11(2): 261.
11. Arnon DI, Hoagland DR. (1940). Crop production in artificial culture solutions and in soils with special reference to factors influencing yields and absorption of inorganic nutrients. *Soil Science*, 50: 463-485.

-
12. Bates LS, Waldren RP, Teare ID. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1): 205-207.
 13. Battipaglia G, De Micco V, Brand WA, Saurer M, Aronne G, Linke P, Cherubini P. (2014). Drought impact on water use efficiency and intra-annual density fluctuations in *Erica arborea* on Elba (Italy). *Plant, cell & environment*, 37(2): 382-391.
 14. Bertamini M, Zulini L, Muthuchelian K, Nedunchezian N. (2006). Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44(1): 151-154.
 15. Bewley JD, Krochko JE. (1982). Desiccation-Tolerance, [w:] Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H (red.). *Physiological Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, s. 325-378.
 16. Bhatt ID, Dhar U. (2000). Micropropagation of Indian wild strawberry. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 60(2): 83-88.
 17. Bhattacharya A. (2021). Effect of Soil Water Deficit on Growth and Development of Plants: A Review. *Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants*, 393-488.
 18. Biernacik D, Jakusik E, Kowalska B. (2018). Charakterystyka wybranych elementów meteorologicznych w Szczecinie, [w:] Współczesne problemy retencji wód, Walczykiewicz T, Woźniak Ł. (red.), Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, s. 175-196.
 19. Biswas MK, Dutt M, Roy UK, Islam R, Hossain M. (2009). Development and evaluation of *in vitro* somaclonal variation in strawberry for improved horticultural traits. *Scientia Horticulturae*, 122: 409-416.
 20. Bjorkman O, Demmig B. (1987). Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170: 489-504.
 21. Blanke MM, Cooke DT. (2002). Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. *Plant Growth Regulation*, 42: 153-160.
 22. Blum A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11): 1159-1168.
 23. Blum A. (2011). *Plant Water Relations, Plant Stress and Plant Production*. [w:] *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer, New York, NY.
 24. Boguszevska D. (2007). Wpływ niedoboru wody na zawartość wybranych składników chemicznych w bulwach ziemniaka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(54): 93-101.

-
25. Borowicz VA. (2010). The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on strawberry tolerance to root damage and drought stress. *Pedobiologia*, 53: 265-270.
 26. Bota J, Flexas J, Medrano H. (2001). Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied Biology*, 138: 353-361.
 27. Bowler C, Fluhr R. (2000). The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. *Trends in plant science*, 5(6): 241-246.
 28. Bravar L, Kavvas ML. (1991). On the physics of droughts. I. A conceptual framework. *Journal of Hydrology*, 129(1-4): 281-297.
 29. Buchanan KL. (2000). Stress and the evolution of condition-dependent signals. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(4): 156-160.
 30. Byakatonda J, Parida BP, Moalafhi DB, Kenabatho PK. (2018). Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices. *Atmospheric Research*, 213: 492-508.
 31. Caulet R-P, Gradinariu G, Iurea D, Morariu A. (2014). Influence of furostanol glycosides treatments on strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) growth and photosynthetic characteristics under drought conditio. *Scientia Horticulturae*, 169: 179-188.
 32. Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS. (2003). Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239 -264.
 33. Chmura K, Chylińska E, Dmowski Z, Nowak L. (2009). Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 9: 33-44.
 34. Cordoba-Novoa HA, Trujillo MMP, Rincon BEC, Velazco NF, Magnitskiy S, Moreno LP. (2021). Shading Reduces Water Deficit in Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) Plants during Vegetative Growth. *bioRxiv*. DOI: 10.1101/2021.08.05.455240
 35. Cui Y, Tian Z, Zhang X, Muhammad A, Han H, Jiang D, Cao W, Dai T. (2015). Effect of water deficit during vegetative growth periods on post-anthesis photosynthetic capacity and grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 37: 196.
 36. Dąbrowska J, Ropek M, Kołton A. (2011). Fluorescencja chlorofilu a i jej zastosowanie w ocenie stanu zdrowotności roślin. Materiały VI Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych, Kraków, 559-565.
 37. Dai A. (2011a). Drought under global warming: a review. *WIREs Climate Change*, 2: 45-65.
 38. Dai A. (2011b). Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. *Journal of Geophysical Research*, 116: D12115.

-
39. Dai A. (2012). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 2: 52-58
 40. Damberg L, AghaKouchak A. (2014). Global trends and patterns of drought from space. *Theoretical and applied climatology*, 117(3-4): 441-448.
 41. Debnath SC. (2009). Characteristics of strawberry plants propagated by *in vitro* bioreactor culture and ex vitro propagation method. *Engineering in Life Sciences*, 9(3): 239-245.
 42. Descamps C, Marée S, Hugon S, Quinet M, Jacquemart AL. (2020). Species-specific responses to combined water stress and increasing temperatures in two bee-pollinated congeners (*Echium*, *Boraginaceae*). *Ecology and Evolution*, 10(13): 6549-6561.
 43. Descamps C, Quinet M, Jacquemart AL. (2021). The effects of drought on plant–pollinator interactions: What to expect? *Environmental and Experimental Botany*, 182: 104297.
 44. Dietz KJ, Zörb C, Geilfus CM. (2021). Drought and crop yield. *Plant Biology*. DOI: 10.1111/plb.13304
 45. Disante KB, Fuentes D, Cortina J. (2010). Response to drought of Zn-stressed *Quercus suber* L. Seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 70: 96-103.
 46. Doroszewski A, Jadczyżyn J, Kozyra J, Pudelko R, Stuczyński T, Mizak K, Łopatka A, Koza P, Górski T, Wróblewska E. (2012). Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. *Water-Environment-Rural Areas*, 2(38): 77-91.
 47. Egilla JN, Davies FT, Boutton TW. (2005). Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. *Photosynthetica*, 43(1): 135-140.
 48. El Mansouri I, Mercado A, Valpuesta V, Lopez-Aranda JM, Pliego-Alfaro F, Quesada MA. (1996). Shoot regeneration and *Acrobacterium* – mediated transformation of *Fragaria vesca* L. *Plant Cell Reports*, 15: 642-646.
 49. Essa TA. (2002). Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop science*, 188(2): 86-93.
 50. Farooqi ZUR, Ayub MA, ur Rehman MZ, Sohail MI, Usman M, Khalid H, Naz K. (2020). Regulation of drought stress in plants. [w:] *Plant life under changing environment. Responses and Management*, Academic Press, s. 77-104.
 51. Flexas J, Bota J, Loreto F, Cornic G, Sharkey TD. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6: 269-279.
 52. Flexas J, Medrano H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, 89: 183-189.

-
53. Frich P, Alexander L, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank A, Peterson T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19: 193-212.
54. Ghaderi N, Normohammadi S, Javadi T. (2015). Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria x ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17: 167-178.
55. Ghaderi N, Siosemardeh A. (2011). Response to drought stress of two strawberry cultivars (cv. Kurdistan and Selva). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52(1): 6-12.
56. Giannina V, Orietta L, Guglielmo C. (1997). Growth and ABA content of strawberry as influenced by root restriction. *Acta Horticulturae*, 463: 135-140.
57. Gimenez C, Gallardo M, Thompson RB. (2013). Plant-Water Relations, *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, s. 1-8.
58. Giné-Bordonaba J, Terry LA. (2010). Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, 122: 1020-1026.
59. Główny Urząd Statystyczny (GUS). (2017). Wyniki produkcji roślinnej w 2016 r. Warszawa.
60. Główny Urząd Statystyczny (GUS). (2021). Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2020 roku, Warszawa. Dostępny online, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/uprawy-rolne-i-ogrodnicze/produkcja-upraw-rolnych-i-ogrodnich-w-2020-roku,9,19.html> (dostęp: 12.03.2022)
61. Grabarczyk S, Żarski J. (1992). Próba statystycznej weryfikacji niektórych wzorów określających ewapotranspirację potencjalną. *Zeszyty Naukowe – Rolnictwo*, 180(32): 169-175.
62. Grant OM, Davies MJ, James CM, Johnson AW, Leinonen I, Simpson DW. (2012a). Thermal imaging and carbon isotope composition indicate variation amongst strawberry (*Fragaria × ananassa*) cultivars in stomatal conductance and water use efficiency. *Environmental and Experimental Botany*, 76: 7-15.
63. Grant OM, Davies MJ, Johnson AW, Simpson DW. (2012b). Physiological and growth responses to water deficits in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*) and in one of its progenitors, *Fragaria chiloensis*. *Environmental and Experimental Botany*, 83: 23-32.
64. Grant OM, Johnson AW, Davies MJ, James CM, Simpson DW (2010) Physiological and morphological diversity of cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*) in response to water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 68, 264-272.
-

-
65. Gregorczyk A, Michalska B. (2011). Zmienność temperatury powietrza w Szczecinie w latach 1949-2008. *Acta Agrophysica*, 17(2): 301-309.
66. Gruchała A, Korbin M, Żurawicz E. (2004). Conditions of transformation and regeneration of 'Induka' and 'Elista' strawberry plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 79: 153-160.
67. Grzebisz W, Musolf R. (1999). Wpływ stresu potasowego i symulowanego stresu wodnego w fazie wzrostu wydłużeniowego na plon i pobranie składników pokarmowych przez rzepak jary. *Rośliny oleiste*, XX: 495-502.
68. Hafeez B, Khanif YM, Saleem M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *American journal of experimental Agriculture*, 3(2): 374.
69. Hager A, Mayer-Berthenrath T. (1966). Die Isolierung und quantative Bestimmung der Carotenoide und Chlorophyll von Blatern, Algen und isolierten Chloroplasten mit Hilfe Dunnschichtchromatographischer Methoden. *Planta*, 69: 198-217.
70. Hamdan MN, Shafar JM. (2017). Effect of water irrigation techniques on growth and yield of rock melon (*Cucumis melo* Linn cv. Glamour). *Advances in Plant Science and Technology*, 24: 80-84.
71. Hao Z, AghaKouchak A, Phillips TJ. (2013). Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. *Environmental Research Letters*, 8(3): 034014.
72. Hetherington AM, Woodward FI. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental changes. *Nature*, 424: 901-908.
73. Hsiao TC. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24: 519-570.
74. Huang S, Huang Q, Chang J, Leng G, Xing L. (2015). The response of agricultural drought to meteorological drought and the influencing factors: a case study in the Wei River Basin, China. *Agricultural Water Management*, 159: 45-54.
75. Huffaker RC, Radin T, Kleinkopf GE, Cox EL. (1970). Effect of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. *Crop Science*, 10: 471-474.
76. Hummer KE, Bassil N, Njuguna W. (2011). *Fragaria* [w:] Kole C. (red.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Springer, Berlin, Heidelberg, s. 17-44.
77. IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex

-
- V, Midgley PM (red), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 1535.
78. Iqbal A, Fahad S. Iqbal M, Alamzeb M, Ahmad A, Anwar S, Khan AA, Arif M, Saeed M, Song M. (2020). Special adaptive features of plant species in response to drought. [w:] *Salt and Drought Stress Tolerance in Plants*, Springer, Cham, s. 77-118.
79. Jacques C, Salon C, Barnard RL, Vernoud V, Prudent M. (2021). Drought Stress Memory at the Plant Cycle Level: A Review. *Plants*, 10(9): 1873.
80. Jakubowski T. (2009). Reakcja roślin ziemniaka napromieniowanych mikrofalami na symulowany stres suszy. *Inżynieria Rolnicza*, 8(117): 15-21.
81. Jaleel CA, Gopi R, Sankar B, Manivannan P, Kishorekumar A, Sridharan R, Panneerselvam R. (2007a). Alterations in germination, seedling vigour lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. *South African Journal of Botany*, 73: 190-195.
82. Jaleel CA, Manivannan P, Sankar B, Kishorekumar A, Gopi R, Somasundaram R, Panneerselvam R. (2007b). Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. *Colloids and Surfaces, B: Biointerfaces*, 60(2): 201-206.
83. Jensen NL, Jensen CR, Liu F. (2009). Water relations and abscisic acid in pot-grown strawberry plants under limited irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(5): 574-580.
84. Kacperska A. (2015). Odpowiedzi na czynniki abiotyczne (Responses to abiotic factors). [w:] *Fizjologia roślin*, Kopcewicz J, Lewak S (red.). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 634-708.
85. Kaiser WM, Kaiser G, Schöner S, Neimanis S. (1981). Photosynthesis under osmotic stress. Differential recovery of photosynthetic activities of stroma enzymes, intact chloroplasts, and leaf slices after exposure to high solute concentrations. *Planta*, 153: 430-435.
86. Kalaji MH, Bosa K, Kościelniak J, Żuk-Gołaszewska K. (2011). Effects of salt stress on photosystem II 554 efficiency and CO₂ assimilation of two Syrian barley landraces. *Environmental and Experimental Botany*, 73: 64-72.
87. Kalaji MH, Łoboda T. (2009). Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. Wyd. SGGW, Warszawa.
88. Kallis G. (2008). Droughts. *Annual Review of Environment and Resources*, 33: 85-118.

-
89. Karthikeyan B, Jaleel CA, Gopi R, Deiveekasundaram M. (2007). Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 8: 453-457.
90. Kędziora A, Kępińska-Kasprzak M, Kowalczyk P, Kundzewicz ZW, Miler AT, Pierzgalski E, Tokarczyk T. (2014). Zagrożenia związane z niedoborem wody. *Gospodarka Wodna*, 10: 373-376.
91. Kerepesi I, Galiba G. (2000). Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*, 40: 482-487.
92. Keutgen AJ, Pawelzik E. (2009). Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. *Environmental and experimental botany*, 65(2-3): 170-176.
93. Keutgen AJ, Pawelzik, E. (2008). Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chemistry*, 107(4): 1413-1420.
94. Kishor PK, Sangam S, Amrutha R, Laxmi PS, Naidu K, Rao KS, Ros S, Reddy KJ, Theriappan P, Sreenivasulu N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88(3): 424-438.
95. Kitajima K, Hogan KP. (2003). Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. *Plant, Cell & Environment*, 26(6): 857-865.
96. Klamkowski K, Treder K. (2011). Wpływ deficytu wody na wymianę gazową liści, wzrost i plonowanie dwóch odmian truskawki uprawianych pod osłonami. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 5: 105-113.
97. Klamkowski K, Treder W, Orlikowska T. (2015a). Wpływ długotrwałego deficytu wody w podłożu na wybrane parametry fizjologiczne roślin trzech odmian maliny. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, III(I): 603-611.
98. Klamkowski K, Treder W, Sowik I, Tryngiel-Gać A, Masny A. (2013). Porównanie reakcji trzech odmian truskawki uprawianych w szklarni na deficyt wody. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 2(I): 137-146.
99. Klamkowski K, Treder W, Tryngiel-Gać. (2006). The effects of substrate moisture content on water potential, gas exchange rates, growth and yield in strawberry plants grown under greenhouse conditions. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 14: 163-171.

-
100. Klamkowski K, Treder W, Wójcik K. (2015b). Effects of long-term water stress on leaf gas exchange, growth and yield of three strawberry cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 14(6): 55-65.
 101. Klamkowski K, Treder W. (2006). Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71(4): 159-165.
 102. Klamkowski K, Treder W. (2008). Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 179-188.
 103. Koszański Z, Rumasz-Rudnicka E, Podsiadło C. (2006). Wpływ nawadniania kropłowego i nawożenia mineralnego na jakość owoców truskawki. *Journal of Elementology*, 11(1): 21-27.
 104. Koszański Z, Rumasz-Rudnicka E. (2008). Ocena efektów nawadniania kropłowego borówki wysokiej (Reaction of raspberry on varied nitrogen fertilization and drop irrigation). *Inżynieria Rolnicza*, 4(102): 415-422.
 105. Koźmiński C, Czarnecka M. (1993). Klimat miasta Szczecina i okolicy. [w:] Stan środowiska miasta i rejonu Szczecina. J. Jasnowska [red.], Wyd. ESOFT, Szczecin, 49-63.
 106. Łabędzki L, Bąk B. (2015). Metoda wskaźnikowej oceny i klasyfikacji uwilgotnienia gleb trwałych użytków zielonych w Polsce. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, III(I): 515-531.
 107. Łabędzki L. (2004). Problematyka susz w Polsce. *Water-Environment-Rural Areas*, 1(10): 47-66.
 108. Lamari Z, Landsberger S, Braisted J, Neggache H, Larbi R. (2008). Trace element content of medicinal plants from Algeria. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 276(1): 95-99.
 109. Lefèvre I, Ziebel J, Guignard C, Hausman JF, Gutiérrez Rosales RO, Bonierbale M, Hoffman L, Schafleitner R, Evers D. (2012). Drought impacts mineral contents in Andean potato cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(3): 196-206.
 110. Li H, Li T, Gordon RJ, Asiedu SK, Hu K. (2010). Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 165-174.
 111. Li M, Yang Y, Raza A, Yin S, Wang H, Zhang Y, Dong J, Wang G, Zhong C, Zhang H, Liu J, Jin W. (2021). Heterologous expression of *Arabidopsis thaliana* rty gene in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) improves drought tolerance. *BMC Plant Biology*, 21(1): 1-20.

-
112. Li Q, He P, He Y, Han X, Zeng T, Lu G, Wang H. (2020). Investigation to the relation between meteorological drought and hydrological drought in the upper Shaying River Basin using wavelet analysis. *Atmospheric Research*, 234: 104743.
113. Lichtenthaler HK, Wellburn AR. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11: 591-592.
114. Lipiec J, Doussan C, Nosalewicz A, Kondracka K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27(4): 463-477.
115. Liston A, Cronn R, Ashman TL. (2014). *Fragaria*: a genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American journal of botany*, 101(10): 1686-1699.
116. Liu F, Savic S, Jensen CR, Shahnazari A, Jacobsen SE, Stikic R, Andersen MN. (2007). Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. *Scientia Horticulturae*, 111: 128-132.
117. Liu F, Stützel H. (2004). Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 102(1): 15-27.
118. Maina JN, Wang Q. (2015). Seasonal response of chlorophyll a/b ratio to stress in a typical desert species: *Haloxylon ammodendron*. *Arid Land Research and Management*, 29(3): 321-334.
119. Makosz E. (2007). Z optymizmem w przyszłość sadownictwa. *Miesięcznik Praktycznego Sadownictwa Sad*, 05-06: 48-52.
120. Marschner H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, UK.
121. Martinez JP, Ledent JF, Bajji M, Kinet JM, Lutts S. (2003). Effect of water stress on growth, Na⁺ and K⁺ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. *Plant Growth Regulation*, 41(1): 63-73.
122. Martinez-Ferri E, Soria C, Ariza MT, Medina JJ, Miranda L, Domiguez P, Muriel JL. (2016). Water relations, growth and physiological response of seven strawberry cultivars (*Fragaria*×*ananassa* Duch.) to different water availability. *Agricultural Water Management*, 164: 73-82.
123. Masih I, Maskey S, Mussá FEF, Trambauer P. (2014). A review of droughts on the African continent: a geospatial and long-term perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9): 3635-3649.

-
124. McDnald SS, Archbold DD. (1998). Membrane competence among and within *Fragaria* species varies in response to dehydration stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(5): 808-813.
125. Michalska B. (2011). Tendencje zmian temperatury Powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne*, 40: 67-75.
126. Mikiciuk M. (2013). Wpływ preparatów zawierających substancje antystresowe na cechy fizjologiczne i plonowanie wybranych gliko- i halofitów w warunkach stresu solnego, Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.
127. Mishra AK, Singh VP. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2): 202-216.
128. Muradoglu F, Gundogdu M, Ercisli S, Encu T, Balta F, Jaafar HZ, Zia-Ul-Haq M. (2015). Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. *Biological research*, 48(1): 1-7.
129. Murashige T, Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3): 473-497.
130. Nyman M, Wallin A. (1992). Improved culture technique for strawberry (*Fragaria x ananasa* Duch.) protoplasts and the determination of DNA content in protoplast derived plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 30: 127-133.
131. O'Neill SD. (1983). Role of Osmotic potential gradients during water stress and leaf senescence in *Fragaria virginiana*. *Plant Physiology* 72: 931-937.
132. Odemis B, Candemir DK, Evrendilek F. (2020). Responses to Drought Stress Levels of Strawberry Grown in Greenhouse Conditions, *HortiS*, 37(2): 113-122.
133. Oloruntade AJ, Mohammad TA, Ghazali AH, Wayayok A. (2017). Analysis of meteorological and hydrological droughts in the Niger-South Basin, *Nigeria. Global and Planetary Change*, 155: 225-233.
134. Olszewska M, Grzegorzczak S, Olszewski J, Bałuch-Małecka A. (2010). Porównanie reakcji wybranych gatunków traw na stres wodny. *Grassland Science in Poland*, 13: 127-136.
135. Olszewska M, Grzegorzczak S. (2013). Oddziaływanie stresu wodnego na wybrane gatunki traw uprawianych na glebie organicznej. *Fragmenta Agronomica*, 30(3): 140-147.
136. Olszewska M. (2003). Reakcja wybranych odmian kostrzewy łąkowej i tymotki łąkowej na stres wodny. *Acta Scientiarum Polonorum seria Agricultura*, 2(2): 141-148.

-
137. Olszewska M. (2009). Reakcja odmian kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.) i tymotki łąkowej (*Phleum pratense* L.) uprawianych w glebie organicznej na niedobór wody. *Acta Scientiarum Polonorum seria Agricultura*, 8(1): 37-46.
138. Olszewski J, Pszczółkowska A, Kulik T, Fordoński G, Płodzień K, Okorski A, Wasilewska J. (2008). Intensywność fotosyntezy i transpiracji liści i kłód pszenicy ozimej w warunkach deficytu wody. *Polish Journal of Natural Sciences*, 23(2): 326-335.
139. Oosumi T, Gruszewski HA, Blischak LA, Baxter AJ, Wadl PA, Shuman JL, Veilleux RE, Shulaev V. (2006). High-efficiency transformation of the diploid strawberry (*Fragaria vesca*) for functional genomics. *Planta*, 223: 1219-1230.
140. Owen HR, Miller AR. (1996). Haploid plant regeneration from anther cultures of three North American cultivars of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Plant Cell Reports*, 15: 905-909.
141. Ozturk M, Turkyilmaz Unal B, García-Caparrós P, Khursheed A, Gul A, Hasanuzzaman M. (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 172(2): 1321-1335.
142. Ögren E. (1990). Evaluation of chlorophyll fluorescence as a probe for drought stress in willow leaves. *Plant Physiology*, 93: 1280-1285.
143. Penuelas J, Munne-Bosch S. (2005). Isoprenoids: an evolutionary pool for photoprotection. *Trends in Plant Science*, 10: 166-169.
144. Perin EC, Messias RDS, Galli V, Borowski JM, Souza ERD, Avila LOD, Bamberg AL, Rombaldi CV. (2019). Mineral content and antioxidant compounds in strawberry fruit submitted to drought stress. *Food Science and Technology*, 39: 245-254.
145. Pirker KF, Goodman BA, Pascual EC, Kiefer S, Soja G, Reichenauer TG. (2002). Free radicals in the fruit of three strawberry cultivars exposed to drought stress in the field. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 709-717.
146. Qayyum A, Razzaq A, Bibi Y, Khan SU, Abbasi KS, Sher A, Mehmood A, Ahmed W, Mahmood I, Manaf A, Khan A, Farid A, Jenks MA. (2017). Water stress effects on biochemical traits and antioxidant activities of wheat (*Triticum aestivum* L.) under *in vitro* conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 68(4): 283-290.
147. Razavi F, Pollet B, Steppe K, Labeke MCV. (2008). Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry. *Photosynthetica*, 46: 631-633.
148. Rengel Z. (1992). The role of calcium in salt toxicity. *Plant, Cell and Environment*, 15: 652-632.

-
149. Roiloa SR, Retuerto R. (2007). Responses of the clonal *Fragaria vesca* to microtopographic heterogeneity under different water and light conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 1-9.
150. Rugienius R, Bendokas V, Siksnianas T, Stanys V, Sasnauskas A, Kazanaviciute V. (2021). Characteristics of *Fragaria vesca* Yield Parameters and Anthocyanin Accumulation under Water Deficit Stress. *Plants*, 10(3): 557.
151. Rumasz-Rudnicka E. (2010). Wpływ nawadniania i nawożenia azotem na asymilację i transpirację życicy westerwoldzkiej. *Acta Agrophysica*, 15(2): 395-408.
152. Saied AS, Keutgen A J, Noga G. (2005). The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. 'Elsanta' and 'Korona'. *Scientia Horticulturae*, 103(3): 289-303.
153. Sampath-Wiley P, Neefus CD, Jahnke LS. (2008). Seasonal effects of sun exposure and emersion on intertidal seaweed physiology: Fluctuations in antioxidant contents, photosynthetic pigments and photosynthetic efficiency in the red alga *Porphyra umbilicalis* Kützinger (*Rhodophyta*, *Bangiales*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 361: 83-91.
154. Sarker BC, Hara M, Uemura M. (2005). Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulturae*, 103: 387-402.
155. Savé R, Peñuelas J, Marfà O, Serrano L. (1993). Changes in leaf osmotic and elastic properties and canopy structure of strawberries under mild water stress. *Horticultural Science*, 28(9): 925-927.
156. Sawicka B. (2016). Niedobory i nadmiar magnezu w krajowej diecie na przykładzie ziemniaka, [w:] Magnez. Pierwiastek życia, Maj-Żurawska M. (red.), Pyrżyńska K. (red.), Warszawa: Wydawnictwo Malamut s. 295-310.
157. Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Ali N, Akmal M, Alotaibi M, Refay Y, Dindaroglu T, Abdul-Wajid HH, Battaglia ML. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2): 259.
158. Serrano L, Carbonell X, Savé R, Marfà O, Peñuelas J. (1992). Effects of irrigation regimes on the yield and water use of strawberry. *Irrigation Science*, 13: 45-48.
159. Shao H-B, Bu L-Y, Jaleel CA, Zhao C-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3): 215-225.
160. Sharma A, Kumar V, Shahzad B, Ramakrishnan M, Singh Sidhu GP, Bali AS, Handa N, Kapoor D, Yadav P, Khanna K, Bakshi P, Rehman A, Kohli SA, Khan EA, Parihar RD,

-
- Yuan H, Thukral AK, Bhardwaj R, Zheng B. (2020). Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(2): 509-531.
161. Sinclair TR, Ludlow MM. (1986). Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 329-341.
162. Sinha R, Fritschi FB, Zandalinas SI, Mittler R. (2021). The impact of stress combination on reproductive processes in crops. *Plant Science*, 111007.
163. Skupień K, Oszmiański J. (2004). Comparison of six cultivars of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) grow in northwest Poland. *European Food Research and Technology*, 219: 66-70.
164. Sowik I, Markiewicz M, Michalczyk L. (2015). Stability of *Verticillium dahliae* resistance in tissue culture – derived strawberry somaclones. *Horticultural Science (Prague)*, 42(3): 141-148.
165. Sruamsiri P, Lenz F. (1986). Photosynthese und stomatäres Verhalten bei Erdbeeren (*Fragaria x ananassa* Duch.). VI. Einfluß von Wassermangel. *Gartenbauwissenschaft*, 51: 84-92.
166. Starck Z, Chołuj D, Niemyska B. (1995). Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wyd. SGGW, Warszawa, s. 27-47.
167. Staudt G. (1962). Taxonomic studies in the genus *Fragaria* typification of *Fragaria* species known at the time of Linnaeus. *Canadian Journal of Botany*, 40(6): 869-886.
168. Suchocka M. (2011). Wpływ zmiany warunków siedliskowych na stan drzewostanu na terenach inwestycji. *Człowiek i Środowisko*, 35(1-2): 73-91.
169. Sun C, Li X, Hu Y, Zhao P, Xu T, Sun J, Gao X. (2015). Proline, sugars, and antioxidant enzymes respond to drought stress in the leaves of strawberry plants. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 33(5): 625-632.
170. Sun Y, Wang C, Chen HY, Ruan H. (2020). Response of plants to water stress: a meta-analysis. *Frontiers in plant science*, 11: 978.
171. Terry LA, Chope GA, Giné-Bordonaba J. (2007). Effect of water deficit irrigation and inoculation with *Botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26): 10812-10819.
172. Tezara W, Mitchall V, Driscoll SP, Lawlor DW. (2002). Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. *Journal of Experimental Botany*, 375: 1781-1791.
173. Tokarczyk T. (2008). Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 7: 167-182.

-
174. Tourneux C, Peltier G. (1995). Effect of water deficit on photosynthetic oxygen exchange measured using $^{18}\text{O}_2$ and mass spectrometry in *Solanum tuberosum* L. leaf discs. *Planta*, 195: 570-577.
175. Treder W, Wójcik K, Tryngiel-Grać A, Krzewińska D, Klamkowski K. (2011). Rozwój nawodnień roślin sadowniczych w świetle badań ankietowych. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 5: 61-69.
176. Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC. (2014). Nutrient management in strawberry: Effects on yield, quality and plant health. [w:] *Strawberries: Cultivation, Antioxidant Properties and Health Benefits*. Nova Science Publishers, Malone N. (red.): 239-267.
177. Trenberth K. (2001). Climate variability and global warming. *Science*, 293(5527): 48-49.
178. Turner LB. (1985). Changes in the phosphorus content of *Capsicum annuum* leaves during water stress. *Journal of plant physiology*, 121(5): 429-439.
179. UM (2014), Raport o stanie miasta Szczecin, Biuro Strategii Urzędu Miasta Szczecin, dostępne online
http://bip.um.szczecin.pl/UMSzczecinFiles/file/Raport_o_stanie_Miasta_2014.pdf
(11.03.2021)
180. VanDerZanden AM, Cameron JS. (1996). Effect of water deficit stress on 11 native *Fragaria chiloensis* clones selected as ornamental groundcovers. *Scientia Horticulturae*, 66: 241-253.
181. Vicente-Serrano SM, Gouveia C, Camarero JJ, Beguería S, Trigo R, López-Moreno, JI, Azorín-Molina C, Pasho E, Lorenzo-Lacruz J, Revuelto J, Morán-Tejeda E, Sanchez-Lorenzo A. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 110(1): 52-57.
182. Weber N, Zupanc V, Jakopic J, Veberic R, Mikulic-Petkovsek M, Stampar F. (2016). Influence of deficit irrigation on strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97: 849-857.
183. Webster KE, Kratz TM, Bowser CJ, Adagnuson JJ. (1996). The influence of landscape position on lake chemical responses to drought in Northern Wisconsin. *Limnology and Oceanography*, 41(5): 977-984.
184. Wyka T. (2010). Stres niedoboru wody [w:] Reakcje komórek roślin na czynniki stresowe. Tom II, Woźny A, Goździcka-Józefiak A (red.). Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, s. 33-58.
-

-
185. Yamasaki S, Dillenburg LR. (1999). Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de fisiologia vegetal*, 11(2): 69-75.
186. Yildirim AB, Turker AU. (2014). Effects of regeneration enhancers on micropropagation of *Fragaria vesca* L. and phenolic content comparison of field-grown and in vitro-grown plant materials by liquid chromatography-electrospray tandem massspectrometry (LC–ESI-MS/MS). *Scientia Horticulturae*, 169: 169-178.
187. Yin B, Wang Y, Liu P, Hu J, Zhen W. (2010). Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the protective system in strawberry leaves under drought stress. *Frontiers of Agriculture in China*, 4(2): 165-169.
188. Yin CY, Berninger F, Li CY. (2006). Photosynthetic responses of *Populus przewalski* subjected to drought stress. *Photosynthetica*, 44: 62-68.
189. Yosefi A, Mozafari A, Javadi T. (2020). Jasmonic acid improved *in vitro* strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) resistance to PEG-induced water stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 142(3): 549-558.
190. Yruela I. (2005). Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 145-156.
191. Yu MX, Liu XL, Wei L, Li QF, Zhang JY, Wang GQ. (2016). Drought Assessment by a Short-/Long-Term Composited Drought Index in the Upper Huaihe River Basin, China. *Advances in Meteorology*: 1-10.
192. Yuan BZ, Sun J, Nishiyama S (2004) Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse. *Biosystems Engineering*, 87(2): 237-245.
193. Zhang B, Archbold DD. (1993a). Water relations of *Fragaria chiloensis* and a *F. virginiana* selection during and after water deficit stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118: 274-279.
194. Zhang B, Archbold DD. (1993b). Solute accumulation in leaves of a *Fragaria chiloensis* and a *F. virginiana* selection responds to water deficit stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(2): 280-285.
195. Zhang Y, Zhang Q, Sammul M. (2011). Physiological integration ameliorates Negative effects of drought stress in the clonal herb *Fragaria orientalis*. *PLOS ONE*, 7(9): e44221.
196. Zhao A, Zhang A, Cao S, Liu X, Liu J, Cheng D. (2018). Responses of vegetation productivity to multi-scale drought in Loess Plateau, China. *Catena*, 163: 165-171.
197. Żurawicz E. (2005). Truskawka i poziomka, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.

Streszczenie

Susza jest jedną z istotnych kwestii zmian klimatycznych. Podstawowym problemem globalnym związanym z narastającym deficytem wody jest to, że zdecydowana większość roślin uprawnych to gatunki i odmiany będące wynikiem prac hodowlanych, które nie przewidywały tak gwałtownego zmniejszenia dostępności wody w glebie. Pierwszym krokiem w pracach hodowlanych, których celem jest zwiększenie odporności roślin na niedobór wody, poprzez poprawę wydajności jej wykorzystania, jest określenie stopnia adaptacji różnych genotypów (odmian) do ograniczonej dostępności wody. Pod tym względem warto zwrócić uwagę na rośliny z rodzaju *Fragaria*, których owoce posiadają duże znaczenie gospodarcze w Polsce i na świecie, a same rośliny charakteryzują się wysoką wrażliwością na niedobór wody, co związane jest z ich dużą powierzchnią liści, wysoką zawartością wody w owocach oraz płytkim systemem korzeniowym.

Pomimo wielu wysiłków poświęconych zrozumieniu reakcji roślin na stres wodny, przeprowadzono niewiele badań, w których jednocześnie porównywano cechy fizjologiczne genotypów (zarówno gatunków, jak i odmian), pozyskanych różnymi metodami rozmnażania, w zróżnicowanych typach doświadczeń. Celem przeprowadzonych badań było porównanie fizjologiczno-biochemicznej reakcji roślin z rodzaju *Fragaria* na niedobór wody, w warunkach doświadczeń wazonowych, hydroponicznych oraz kultur *in vitro*. Uzyskane wyniki pozwoliły również określić przydatność wybranych metod fizjologiczno-biochemicznych do oceny stanu fizjologicznego roślin z rodzaju *Fragaria* w warunkach stresu wodnego. Przede wszystkim jednak otrzymane rezultaty badań mają wskazywać kierunek przyszłych prac biotechnologicznych ukierunkowanych na poprawę odporności roślin z rodzaju *Fragaria* na stres związany z deficytem wody.

Przeprowadzono trzy niezależne doświadczenia wazonowe zlokalizowane na terenie hali wegetacyjnej Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, dwa niezależne doświadczenia hydroponiczne w fitotronie Katedry Bioinżynierii oraz jedno doświadczenie w kulturach *in vitro* w laboratorium Katedry Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, w których zależnie od typu uprawy, porównywano ze sobą rośliny z rodzaju *Fragaria* (gatunki: *F. vesca*, *F. virginiana*, *F. chiloensis*; odmiany: *F. vesca* cv. Rugia, *F. vesca* cv. Baron von Solemacher, *F. vesca* pozyskaną ze środowiska naturalnego oraz *F. vesca* cv. Rugia pochodzącą z sadzonek zielnych i z kultur *in vitro*).

W ramach doświadczeń, w zależności od jego typu wykonano następujące pomiary i analizy: zawartości barwników asymilacyjnych w liściach, wskaźnika względnej zawartości wody w liściach, parametrów wymiany gazowej, parametrów fluorescencji chlorofilu „a”, zawartości wolnej proliny w liściach, sumarycznego plonu owoców, masy pojedynczego owocu, świeżej i suchej masy systemu

korzeniowego, zawartości K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Mo i stosunku kationów jedno- do dwuwartościowych w liściach, korzeniach i koronach roślin oraz wybranych cech morfologicznych.

W wyniku przeprowadzonych badań wykazano m.in., że badane genotypy z rodzaju *Fragaria*, zarówno gatunki, jak i odmiany, oraz rośliny pozyskane różnymi metodami rozmnażania (z sadzonek zielnych oraz metodą *in vitro*), różnią się między sobą cechami fizjologicznymi. Ponadto niedobór uwilgotnienia podłoża istotnie wpływał na cechy fizjologiczne roślin z rodzaju *Fragaria*, przy czym wykazane zmiany były uzależnione od badanego genotypu, metody pozyskania roślin, rodzaju doświadczenia i mierzonego parametru. W doświadczeniu, w którym porównywano gatunki z rodzaju *Fragaria* lepszym dostosowaniem do warunków deficytu wody w podłożu, charakteryzowały się gatunki pierwotne, tj. *F. virginiana* i *F. chiloensis* w porównaniu z poziomką pospolitą (*F. vesca*), a rośliny pochodzące z kultur *in vitro* były bardziej odporne na niekorzystny wpływ niedostatecznego uwilgotnienia podłoża niż rośliny pozyskane z sadzonek zielnych. Cechami przydatnymi do oceny stanu fizjologicznego roślin z rodzaju *Fragaria* w warunkach stresu wywołanego niedoborem wody okazały się: parametry wymiany gazowej, zawartość wolnej proliny w liściach, cechy morfometryczne, wielkość plonu owoców oraz masa pojedynczego owocu.

Abstract

Drought is one of the major issues of climate change. The basic global problem related to the increasing water deficit is that the vast majority of crops are species and varieties resulting from breeding work that did not anticipate such a sharp reduction in water availability in the soil. The first step in breeding works aimed at increasing the resistance of plants to water deficit by improving the efficiency of its use is to determine the adaptation level of various genotypes (varieties) to limited water availability. In this regard, it is worth to note plants of the genus *Fragaria* – its fruits are great economic importance in Poland and in the world, and the plants are characterized by high sensitivity to water deficiency, which is related to their large leaf surface, high water content in the fruit and shallow root system.

Despite many efforts to understand the response of plants to water stress, few studies have been conducted that simultaneously compared the physiological characteristics of genotypes (both species and cultivars) obtained by different methods of reproduction in different types of experiments. The aim of the research was to compare the physiological and biochemical response of *Fragaria* plants to water deficit under the conditions of pot and hydroponic experiments and *in vitro* cultures. The obtained results also allowed to determine the usefulness of selected physiological and biochemical methods for the assessment of the physiological conditions of *Fragaria* plants under water stress. Above all, however, the obtained research results are intended to show the direction of future biotechnological works aimed at improving the resistance of plants of the genus *Fragaria* to stress related to water deficit.

Three independent pot experiments, located in the vegetation hall of the Faculty of Environmental Management and Agriculture of the West Pomeranian University of Technology in Szczecin, two independent hydroponic experiments in the phytotron of the Department of Bioengineering and one experiment in *in vitro* cultures, in the laboratory of the Department of Genetics, Breeding and Plant Biotechnology were carried out, in which depending on type of cultivation, plants of the genus *Fragaria* were compared (species: *F. vesca*, *F. virginiana*, *F. chiloensis*; cultivars: *F. vesca* cv. Rugia, *F. vesca* cv. Baron von Solemacher, *F. vesca* obtained from the natural environment and *F. vesca* cv. Rugia from herbaceous cuttings and from *in vitro* cultures).

As part of the experiments, depending on its type, the following parameters were measured and analyzed: the content of assimilation pigments in the leaves, the index of the relative water content in the leaves, gas exchange parameters, chlorophyll "a" fluorescence parameters, the content of free proline in the leaves, the total fruit yield, single fruit weight, fresh and dry mass of the root

system, the content of K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Mo and the ratio of monovalent to divalent cations in leaves, roots and plant crowns, and selected morphological features.

As a result of the conducted research, it was shown, among others, that the studied genotypes of the genus *Fragaria*, both species and cultivars, and plants obtained by various methods of reproduction (from herbaceous cuttings and by *in vitro* method), differ in physiological characteristics. Moreover, the lack of soil moisture significantly influenced the physiological characteristics of *Fragaria* plants, and the changes shown were dependent on the genotype, the method of obtaining the plants, the type of experiment and the measured parameter. In the experiment in which species from the genus *Fragaria* were compared, the primary species, i.e. *F. virginiana* and *F. chiloensis*, were characterized by better adaptation to the conditions of water deficit in the substrate, compared to the common wild strawberry (*F. vesca*), and plants from cultures *in vitro* were more resistant to the adverse effects of insufficient substrate moisture than plants obtained from herbaceous cuttings. The following features were useful for assessing the physiological condition of *Fragaria* plants under stress caused by water shortage: gas exchange parameters, free proline content in leaves, morphometric features, fruit yield and single fruit weight.

Spis rycin

Ryc. 1. Budowa morfologiczna roślin z rodzaju <i>Fragaria</i>	17
Ryc. 2. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach genotypów <i>F. vesca</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego w doświadczeniu wazonowym nr 1	54
Ryc. 3. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach genotypów <i>F. vesca</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 1	59
Ryc. 4. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach genotypów <i>F. vesca</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich zawartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 1	64
Ryc. 5. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych genotypów <i>F. vesca</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 1	68
Ryc. 6. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2	72
Ryc. 7. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2	75
Ryc. 8. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich zawartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2	78
Ryc. 9. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 2	81
Ryc. 10. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3	84
Ryc. 11. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru	

wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3	88
Ryc. 12. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich zawartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3.....	91
Ryc. 13. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu, w stosunku do średnich wartości w warunkach uwilgotnienia optymalnego, w doświadczeniu wazonowym nr 3.....	94
Ryc. 14. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów wymiany gazowej w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych. w doświadczeniu hydroponicznym nr 1	95
Ryc. 15. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu badanych odmian <i>F. vesca</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 1	96
Ryc. 16. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian z gatunku <i>F. vesca</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych w doświadczeniu hydroponicznym nr 1.	97
Ryc. 17. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych badanych odmian <i>F. vesca</i> , w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 1	98
Ryc. 18. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu „a” w liściach genotypów z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 2.....	99
Ryc. 19. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach genotypów z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich zawartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 2	100
Ryc. 20. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych genotypów z rodzaju <i>Fragaria</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w doświadczeniu hydroponicznym nr 2	101
Ryc. 21. Zmiany średnich wartości wybranych cech morfologicznych badanych odmian <i>Fragaria vesca</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych w kulturach <i>in vitro</i>	102

Ryc. 22. Zmiany średnich zawartości barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian <i>Fragaria vesca</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich zawartości w optymalnych warunkach wodnych, w kulturach <i>in vitro</i>	103
Ryc. 23. Zmiany średnich wartości wybranych parametrów fizjologicznych badanych odmian <i>Fragaria vesca</i> w warunkach deficytu dostępności wody, w stosunku do średnich wartości w optymalnych warunkach wodnych, w kulturach <i>in vitro</i>	104

Spis fotografii

Fot. 1. Rośliny z rodzaju <i>Fragaria</i> w badaniach własnych	20
Fot. 2. Od góry: rośliny w pierwszym roku doświadczenia oraz rośliny w ostatnim roku doświadczenia	22
Fot. 3. A) badane rośliny w czasie wzrostu na wełnie kamiennej w uprawie hydroponicznej; B) od lewej: <i>F. vesca</i> , <i>F. chiloensis</i> i <i>F. virginiana</i> w czasie wzrostu w pożywce pełnej Hoaglanda.....	26
Fot. 4. Etap inicjacji kultur <i>in vitro</i> . Od lewej: dwie próbówki z zainicjowanymi kulturami pędowymi, próbówka z niedokładnie odkażonym nasieniem (pożywka z namnożonym drobnoustrojem), dwie próbówki z nieskiełkowanymi nasionami	27

Spis tabel

Tab. 1. Warunki meteorologiczne w okresie wegetacyjnym badanych roślin w latach 2017-2020 na tle średnich wieloletnich dla Stacji Meteorologicznej w Szczecinie-Dąbiu	30
Tab. 2. Intensywność transpiracji (E) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	31
Tab. 3. Przewodność szparkowa H ₂ O (g _s) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	32
Tab. 4. Intensywność asymilacji CO ₂ netto (P _n) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	32
Tab. 5. Podszparkowe stężenie CO ₂ (C _i) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	32
Tab. 6. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	33
Tab. 7. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F ₀) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	33
Tab. 8. Fluorescencja maksymalna (F _M) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	33
Tab. 9. Fluorescencja zmienna (F _V) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	34
Tab. 10. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F _V /F _M) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	34
Tab. 11. Czas wzrostu fluorescencji (T _{FM}) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	34

Tab. 12. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	35
Tab. 13. Zawartość chlorofilu „a” w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	35
Tab. 14. Zawartość chlorofilu „b” w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	35
Tab. 15. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	36
Tab. 16. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	36
Tab. 17. Zawartość karotenoidów w liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	37
Tab. 18. Względna zawartość wody w liściach (RWC) genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	37
Tab. 19. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny oraz masa pojedynczego owocu w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) u genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	37
Tab. 20. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	38
Tab. 21. Zawartość wolnej proliny liściach genotypów z gatunku <i>F. vesca</i>	38
Tab. 22. Parametry wymiany gazowej w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	39
Tab. 23. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	40
Tab. 24. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	41
Tab. 25. Względna zawartość wody w liściach (RWC) gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	41
Tab. 26. Masa systemu korzeniowego badanych genotypów <i>F. vesca</i>	41
Tab. 27. Zawartość wolnej proliny liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i>	42
Tab. 28. Parametry wymiany gazowej w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania	43
Tab. 29. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania.....	43
Tab. 30. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania.....	44
Tab. 31. Względna zawartość wody (RWC) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania.....	44
Tab. 32. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny oraz masa pojedynczego owocu w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) roślin z gatunku <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanych różnymi metodami rozmnażania.....	44
Tab. 33. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania.....	45
Tab. 34. Zawartość wolnej proliny w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania.....	45

Tab. 35. Parametry wymiany gazowej w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w doświadczeniu hydroponicznym.....	46
Tab. 36. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w doświadczeniu hydroponicznym	46
Tab. 37. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w doświadczeniu hydroponicznym	46
Tab. 38. Względna zawartość wody w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w doświadczeniu hydroponicznym.....	46
Tab. 39. Parametry wymiany gazowej w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w doświadczeniu hydroponicznym	47
Tab. 40. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w doświadczeniu hydroponicznym	47
Tab. 41. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w doświadczeniu hydroponicznym	48
Tab. 42. Względna zawartość wody w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w doświadczeniu hydroponicznym	48
Tab. 43. Wybrane cechy morfologiczne badanych odmian <i>F. vesca</i> w kulturach <i>in vitro</i>	48
Tab. 44. Zawartość barwników asymilacyjnych i proliny w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w kulturach <i>in vitro</i>	48
Tab. 45. Intensywność transpiracji (E) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	49
Tab. 46. Przewodność szparkowa H ₂ O (g _s) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	50
Tab. 47. Intensywność asymilacji CO ₂ netto (P _n) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	51
Tab. 48. Podszparkowe stężenie CO ₂ (c _i) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	52
Tab. 49. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	52
Tab. 50. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F ₀) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	55
Tab. 51. Fluorescencja maksymalna (F _M) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	55

Tab. 52. Fluorescencja zmienna (F_V) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	56
Tab. 53. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	56
Tab. 54. Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	57
Tab. 55. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	58
Tab. 56. Zawartość chlorofilu „a” w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	60
Tab. 57. Zawartość chlorofilu „b” w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	61
Tab. 58. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	61
Tab. 59. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	62
Tab. 60. Zawartość karotenoidów w liściach genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	63
Tab. 61. Względna zawartość wody w liściach (RWC) genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	65
Tab. 62. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) u badanych genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	65
Tab. 63. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego badanych genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	66
Tab. 64. Zawartość wolnej proliny liściach badanych genotypów <i>F. vesca</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	66
Tab. 65. Intensywność transpiracji (E) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	69
Tab. 66. Przewodność szparkowa H_2O (g_s) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	69
Tab. 67. Intensywność asymilacji CO_2 netto (P_n) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	70
Tab. 68. Podszparkowe stężenie CO_2 (c_i) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	70

Tab. 69. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	71
Tab. 70. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F_0) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	71
Tab. 71. Fluorescencja maksymalna (F_M) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	72
Tab. 72. Fluorescencja zmienna (F_V) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	73
Tab. 73. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F_V/F_M) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	73
Tab. 74. Czas wzrostu fluorescencji (T_{FM}) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	74
Tab. 75. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A_M) w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	74
Tab. 76. Zawartość chlorofilu „a” w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	75
Tab. 77. Zawartość chlorofilu „b” w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	76
Tab. 78. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	76
Tab. 79. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	76
Tab. 80. Zawartość karotenoidów w liściach gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	77
Tab. 81. Względna zawartość wody w liściach (RWC) gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	78
Tab. 82. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	79
Tab. 83. Zawartość wolnej proliny w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> , rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	79
Tab. 84. Intensywność transpiracji (E) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	81
Tab. 85. Przewodność szparkowa H_2O (g_s) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	82

Tab. 86. Intensywność asymilacji CO ₂ netto (P _n) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	82
Tab. 87. Podszparkowe stężenie CO ₂ (c _i) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	83
Tab. 88. Fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	83
Tab. 89. Fluorescencja początkowa (zerowa) (F ₀) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	84
Tab. 90. Fluorescencja maksymalna (F _M) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	85
Tab. 91. Fluorescencja zmienna (F _V) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	85
Tab. 92. Stosunek fluorescencji zmiennej do maksymalnej (F _V /F _M) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	86
Tab. 93. Czas wzrostu fluorescencji (T _{FM}) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	86
Tab. 94. Powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji (A _M) w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	87
Tab. 95. Zawartość chlorofilu „a” w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	87
Tab. 96. Zawartość chlorofilu „b” w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	89
Tab. 97. Stosunek zawartości chlorofilu „a” do chlorofilu „b” w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	89
Tab. 98. Zawartość chlorofilu całkowitego w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	89
Tab. 99. Zawartość karotenoidów w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	90
Tab. 100. Względna zawartość wody w liściach (RWC) <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	91

Tab. 101. Sumaryczny plon owoców z jednej rośliny oraz masa pojedynczego owocu w okresie wegetacyjnym (czerwiec-wrzesień) <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża	92
Tab. 102. Świeża i sucha masa systemu korzeniowego <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	92
Tab. 103. Zawartość wolnej proliny w liściach <i>F. vesca</i> cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnącej w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.....	92
Tab. 104. Parametry wymiany gazowej badanych odmian <i>F. vesca</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym	95
Tab. 105. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym.....	96
Tab. 106. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym.....	97
Tab. 107. Względna zawartość wody w liściach badanych odmian <i>F. vesca</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym.....	98
Tab. 108. Parametry fluorescencji chlorofilu „a” badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym.....	99
Tab. 109. Zawartość barwników asymilacyjnych w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym.....	100
Tab. 110. Względna zawartość wody (RWC) w liściach badanych gatunków z rodzaju <i>Fragaria</i> w zróżnicowanych warunkach dostępności wody, w doświadczeniu hydroponicznym.....	101
Tab. 111. Wybrane cechy morfologiczne badanych odmian <i>F. vesca</i> w kulturach <i>in vitro</i> , w warunkach zróżnicowanej dostępności wody (zawartości mannitolu w podłożu).....	102
Tab. 112. Zawartość barwników asymilacyjnych w badanych odmianach <i>F. vesca</i> w kulturach <i>in vitro</i> , w warunkach zróżnicowanej dostępności wody (zawartości mannitolu w podłożu)	103
Tab. 113. Zawartość wolnej proliny u badanych odmian <i>F. vesca</i> w kulturach <i>in vitro</i> w warunkach zróżnicowanej dostępności wody (zawartości mannitolu w podłożu)	104

Tabela A. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach, koronach i korzeniach genotypów z gatunku *Fragaria vesca*

Organ	Odmiana	g·kg ⁻¹				w mg·kg ⁻¹				
		K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe
Liście	B	97,6 a	66,9 a	13,5 b	4,8 a	37,3 a	172,5 ab	201,8 a	11,7 a	1,9 a
	R	106,9 a	69,7 a	15,7 a	2,8 a	52,2 a	236,4 a	205,4 a	6,6 b	1,8 a
	N	96,5 a	51,9 b	17,2 a	2,7 a	45,6 a	146,8 b	139,2 b	12,8 a	0,7 b
Korony	B	82,9 a	115,6 b	3,9 b	28,0 ab	87,9 ab	155,2 b	31,4 b	17,6 a	0,2 a
	R	92,2 a	91,4 b	3,4 b	37,4 a	117,1 a	141,3 b	30,8 b	16,4 a	0,2 a
	N	50,4 b	159,7 a	5,4 a	10,0 b	74,4 b	212,9 a	61,8 a	17,3 a	0,2 a
Korzenie	B	25,9 a	80,7 a	13,4 a	6,1 a	92,5 b	853,5 ab	373,3 b	12,4 a	6,3 b
	R	24,5 a	63,4 a	13,4 a	5,9 a	111,4 a	677,8 b	388,0 b	9,4 a	6,4 b
	N	12,9 b	60,2 a	9,8 b	5,9 a	71,8 c	883,8 a	940,8 a	14,6 a	13,7 a
Średnia	B	69,9 a	89,9 a	9,8 a	32,6 a	73,7 ab	375,4 a	189,0 a	14,2 a	2,6 a
	R	74,5 a	74,8 a	10,8 a	15,4 a	93,6 a	351,8 a	208,1 a	10,8 b	2,8 a
	N	53,3 a	90,6 a	10,8 a	6,2 a	63,9 b	414,5 a	380,6 a	14,9 a	4,9 a

Objaśnienia: B – odmiana Baron von Solenacher; R – odmiana Rugia; N – pozyskana ze stanowiska naturalnego

Tabela B. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach, koronach i korzeniach genotypów z rodzaju *Fragaria*

Organ	Gatunek	g·kg ⁻¹				w mg·kg ⁻¹				
		K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe
Liście	VI	8,5 b	29,1 a	5,7 a	0,4 a	3,3 ab	52,0 a	95,9 a	19,6 a	0,2 a
	CH	12,2 a	26,8 ab	3,9 b	0,5 a	3,0 b	62,5 a	53,6 a	16,4 a	0,1 a
	VE	9,8 ab	22,8 b	4,0 b	0,3 a	4,0 a	55,2 a	99,8 a	13,3 a	0,2 a
Korony	VI	58,0 a	266,4 a	37,9 a	5,1 a	2,5 a	84,9 b	34,1 a	19,8 a	1,9 a
	CH	64,3 a	202,4 ab	36,6 a	7,5 a	3,4 a	100,4 a	13,7 b	16,8 b	0,9 a
	VE	39,0 a	183,8 b	29,2 a	6,8 a	2,4 a	103,9 a	33,6 a	19,1 ab	2,5 a
Korzenie	VI	2,3 a	16,8 a	2,5 a	0,4 b	4,4 b	63,2 a	35,0 a	21,1 a	0,6 a
	CH	4,0 a	10,0 b	2,5 a	1,0 a	4,6 ab	79,8 a	17,7 b	23,0 a	0,3 b
	VE	2,5 a	12,7 ab	2,4 a	0,5 b	6,1 a	75,3 a	37,6 a	13,3 b	0,6 a
Średnia	VI	22,9 a	104,1 a	15,4 a	2,0 a	3,4 a	66,7 a	55,0 a	20,2 a	0,9 a
	CH	26,8 a	79,7 a	14,3 a	3,0 a	3,7 a	80,9 a	28,3 a	18,8 ab	0,5 a
	VE	17,1 a	73,1 a	11,9 a	2,5 a	4,2 a	78,1 a	57,0 a	15,2 b	1,1 a

Objaśnienia: VI – gatunek *F. virginiana*; CH – gatunek *F. chiloensis*; VE – gatunek *F. vesca*

Tabela C. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach, koronach i korzeniach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania

Organ	Metoda pozyskania	g·kg ⁻¹				w mg·kg ⁻¹				
		K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe
Liście	INV	12,6 a	23,5 a	4,2 a	0,4 a	8,0 a	49,8 b	73,3 a	16,7 a	0,4 a
	ZIE	11,9 a	24,0 a	4,4 a	0,3 a	4,2 a	67,4 a	47,3 a	22,6 a	0,4 a
Korony	INV	25,3 a	160,0 a	35,1 a	3,9 a	10,3 a	182,7 a	39,7 a	18,4 a	0,7 a
	ZIE	45,6 a	230,7 a	34,5 a	4,6 a	3,2 b	93,5 b	21,6 a	18,4 a	1,1 a
Korzenie	INV	3,9 a	8,8 a	3,5 a	0,8 a	45,8 a	191,5 a	83,5 a	38,3 a	1,6 a
	ZIE	2,4 a	12,0 a	2,2 b	0,6 a	42,2 a	67,4 b	47,3 a	22,6 b	0,8 a
Średnia	INV	13,9 a	64,1 a	14,3 a	1,7 a	21,4 a	141,3 a	65,5 a	24,5 a	0,9 a
	ZIE	20,0 a	88,9 a	13,7 a	1,8 a	16,5 a	76,1 a	38,7 b	21,2 a	0,8 a

Objaśnienia: INV – rośliny pochodzące z kultur *in vitro*; ZIE – rośliny pozyskane z sadzonek zielnych

Tabela D. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach, koronach i korzeniach genotypów z gatunku *Fragaria vesca* rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.

Organ	Odmiana	Poziom uwilgotnienia podłoża	g·kg ⁻¹				w mg·kg ⁻¹					K:(Ca+Mg)
			K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe	
Liście	B	Optimum	97,6 a	66,9 a	13,5 b	64,8 a	37,3 b	172,5 a	201,8 a	11,7 a	1,9 a	0,743 a
		Deficyt	100,4 a	70,2 a	16,6 a	4,9 a	53,4 a	225,0 a	241,8 a	12,8 a	2,6 a	0,729 a
	R	Optimum	106,9 a	69,7 a	15,7 a	2,8 b	52,2 a	236,4 a	205,4 a	6,6 a	1,8 a	0,783 a
		Deficyt	118,0 a	68,4 a	17,0 a	5,5 a	56,0 a	228,0 a	186,4 a	6,7 a	1,2 b	0,884 a
	N	Optimum	96,5 b	51,9 a	17,2 a	2,7 b	45,6 a	146,8 a	139,2 b	12,8 a	0,7 b	0,955 b
		Deficyt	108,7 a	42,2 b	18,2 a	4,6 a	46,0 a	288,2 a	225,8 a	12,4 a	1,8 a	1,304 a
	Średnia	Optimum	100,5 a	62,5 a	15,6 b	20,5 a	45,6 a	186,1 b	180,7 b	10,3 a	1,4 a	0,833 a
		Deficyt	109,0 a	60,6 a	17,3 a	5,0 a	51,8 a	247,1 a	218,0 a	10,6 a	1,8 a	0,972 a
Korony	B	Optimum	82,9 a	115,6 a	3,9 a	28,0 a	87,9 a	155,2 a	31,4 b	17,6 a	0,2 b	0,386 a
		Deficyt	92,2 a	129,7 a	4,2 a	49,8 a	84,1 a	160,8 a	49,8 a	14,6 a	0,5 a	0,366 a
	R	Optimum	92,2 a	91,4 a	3,4 a	37,4 a	117,1 a	141,3 a	30,8 a	16,4 a	0,2 a	0,530 a
		Deficyt	104,3 a	120,3 a	3,9 a	56,6 a	85,6 a	164,1 a	34,5 a	13,9 a	0,3 a	0,446 a
	N	Optimum	50,4 a	159,7 a	5,4 a	10,0 a	74,4 a	212,9 a	61,8 a	17,3 a	0,2 a	0,162 b
		Deficyt	54,9 a	130,2 b	5,1 a	20,8 a	64,0 a	245,6 a	77,2 a	18,6 a	0,3 a	0,217 a
	Średnia	Optimum	75,2 a	122,2 a	4,3 a	25,1 b	93,1 a	169,8 a	41,3 a	17,1 a	0,2 b	0,360 a
		Deficyt	83,8 a	126,7 a	4,4 a	42,4 a	77,9 a	190,2 a	53,8 a	15,7 a	0,3 a	0,343 a
Korzenie	B	Optimum	25,9 a	80,7 a	13,4 a	6,1 b	92,5 b	853,5 a	373,3 a	12,4 a	6,3 a	0,176 a
		Deficyt	26,9 a	88,3 a	12,1 a	8,6 a	121,2 a	844,4 a	422,2 a	19,0 a	7,5 a	0,155 a
	R	Optimum	24,5 a	63,4 a	13,4 a	5,9 b	111,4 a	677,8 b	388,0 a	9,4 a	6,4 a	0,221 a
		Deficyt	29,0 a	103,3 a	13,1 a	8,9 a	107,6 a	913,2 a	309,0 a	14,0 a	7,3 a	0,162 a
	N	Optimum	12,9 b	60,2 a	9,8 b	5,9 b	71,8 b	883,8 b	940,8 a	14,6 a	13,7 a	0,110 a
		Deficyt	20,9 a	77,6 a	12,9 a	9,6 a	93,0 a	1232,3 a	926,8 a	12,4 a	12,6 a	0,148 a
	Średnia	Optimum	20,7 a	67,2 b	12,1 a	6,0 b	91,9 b	801,6 b	581,2 a	12,1 a	9,0 a	0,169 a
		Deficyt	25,9 a	90,6 a	12,7 a	9,0 a	108,3 a	979,8 a	525,9 a	15,3 a	8,9 a	0,155 a

Objaśnienia: B – odmiana Baron von Solenacher; R – odmiana Rugia; N – pozyskana ze stanowiska naturalnego;

Tabela E. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach, koronach i korzeniach genotypów z rodzaju *Fragaria* rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.

Organ	Gatunek	Poziom uwilgotnienia podłoża	g kg ⁻¹			w mg kg ⁻¹						K:(Ca+Mg)
			K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe	
Liście	VI	Optimum	8,5 a	29,1 a	5,7 a	0,4 a	3,3 a	52,0 a	95,9 a	19,6 a	0,2 a	0,149 a
		Deficyt	8,5 a	25,9 a	4,5 b	0,3 a	3,3 a	53,5 a	105,9 a	21,3 a	0,2 a	0,168 a
	CH	Optimum	12,2 a	26,8 a	3,9 a	0,5 a	3,0 a	62,5 a	53,6 b	16,4 a	0,1 a	0,232 a
		Deficyt	11,8 a	31,5 a	4,1 a	0,3 a	2,8 a	61,2 a	99,3 a	20,9 a	0,2 a	0,190 a
	VE	Optimum	9,8 a	22,8 a	4,0 b	0,3 a	4,0 a	55,2 a	99,8 a	13,3 a	0,2 a	0,219 a
		Deficyt	9,6 a	23,8 a	4,8 a	0,6 a	5,4 a	76,8 a	121,5 a	15,4 a	0,2 a	0,205 a
Korony	Średnia	Optimum	10,2 a	26,2 a	4,5 a	0,4 a	3,4 a	56,6 a	83,1 a	16,4 a	0,2 a	0,200 a
		Deficyt	9,9 a	27,1 a	4,5 a	0,4 a	3,8 a	63,8 a	108,9 a	19,9 a	0,2 a	0,188 a
	VI	Optimum	58,0 a	266,4 a	37,9 a	5,1 a	2,5 b	84,9 a	34,1 a	19,8 a	2,0 a	0,111 a
		Deficyt	56,4 a	267,4 a	38,1 a	4,8 a	2,9 a	102,6 a	40,8 a	20,2 a	3,2 a	0,108 a
	CH	Optimum	64,3 a	202,4 b	36,6 a	7,5 a	3,4 a	100,4 a	13,7 b	16,8 a	0,9 a	0,161 a
		Deficyt	54,8 a	231,5 a	35,7 a	5,5 a	3,9 a	124,1 a	36,7 a	19,2 a	2,1 a	0,120 a
	VE	Optimum	39,0 a	183,8 a	29,2 a	6,8 a	2,4 a	103,9 a	33,6 b	19,1 a	2,5 a	0,115 a
		Deficyt	47,6 a	224,3 a	32,6 a	9,2 a	2,3 a	77,0 b	50,4 a	13,5 a	4,1 a	0,108 a
	Średnia	Optimum	53,8 a	217,5 a	34,6 a	6,4 a	2,8 a	96,4 a	27,1 b	18,6 a	1,8 a	0,129 a
		Deficyt	52,9 a	241,1 a	35,4 a	6,5 a	3,1 a	101,3 a	42,6 a	17,6 a	3,1 a	0,112 a
Korzenie	VI	Optimum	2,3 a	16,8 a	2,5 a	0,4 a	4,4 a	63,2 a	35,0 a	21,1 a	0,6 a	0,069 a
		Deficyt	2,3 a	10,6 a	3,0 a	0,5 a	4,7 a	85,0 a	28,2 a	23,3 a	0,4 a	0,109 a
	CH	Optimum	4,0 a	10,0 a	2,5 a	1,0 a	4,6 a	79,8 a	17,7 b	23,0 a	0,3 b	0,201 a
		Deficyt	2,3 a	15,1 a	2,6 a	0,8 a	8,1 a	80,4 a	37,5 a	20,5 a	0,8 a	0,077 a
	VE	Optimum	2,5 a	12,7 a	2,4 a	0,5 a	6,1 a	75,3 a	37,6 a	13,3 a	0,6 a	0,101 a
		Deficyt	2,5 a	17,0 a	2,5 a	0,9 a	8,0 a	79,8 a	36,8 a	15,4 a	0,7 a	0,074 a
	Średnia	Optimum	2,9 a	13,2 a	2,5 a	0,6 a	5,0 a	72,7 a	30,1 a	19,1 a	0,5 a	0,124 a
		Deficyt	2,3 a	14,2 a	2,7 a	0,7 a	6,9 a	81,7 a	34,2 a	19,7 a	0,6 a	0,087 a

Objaśnienia: VI – gatunek *F. virginiana*; CH – gatunek *F. chiloensis*; VE – gatunek *F. vesca*;

Tabela F. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach, koronach i korzeniach *F. vesca* cv. Rugia, pozyskanej różnymi metodami rozmnażania, rosnących w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia podłoża.

Organ	Metoda pozyskania	Poziom uwilgotnienia podłoża	g·kg ⁻¹					w mg·kg ⁻¹					K:(Ca+Mg)
			K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	Mo	Fe		
Liście	INV	Optimum	12,6 a	23,5 a	4,2 a	0,4 a	8,0 a	49,8 a	73,3 a	16,7 a	0,4 a	0,273 a	
		Deficyt	8,7 a	23,0 a	4,2 a	0,4 a	4,8 a	49,1 a	66,4 a	17,6 a	0,2 a	0,193 a	
	ZIE	Optimum	11,9 a	24,0 a	4,4 a	0,3 a	4,2 a	67,4 a	47,3 a	22,6 a	0,4 a	0,280 a	
		Deficyt	11,4 a	26,3 a	5,6 a	0,3 a	5,3 a	65,7 a	63,9 a	20,4 a	0,5 a	0,237 a	
	Średnia	Optimum	12,2 a	23,7 a	4,3 a	0,4 a	6,1 a	58,6 a	60,3 a	19,7 a	0,4 a	0,276 a	
		Deficyt	10,1 a	24,6 a	4,9 a	0,3 a	5,1 a	57,4 a	65,1 a	19,0 a	0,4 a	0,215 a	
Korony	INV	Optimum	25,3 a	160,0 a	35,1 a	3,9 a	10,3 a	182,7 a	39,7 a	18,4 a	0,7 a	0,081 b	
		Deficyt	26,7 a	83,6 a	28,4 b	3,3 a	6,5 a	137,7 a	18,3 b	18,2 a	1,7 a	0,163 a	
	ZIE	Optimum	45,6 a	230,7 a	34,5 a	4,6 a	3,2 a	93,5 a	21,6 a	18,4 a	1,1 a	0,101 b	
		Deficyt	58,3 a	250,1 a	39,4 a	4,3 a	3,4 a	100,1 a	37,0 a	20,3 a	2,2 a	0,119 a	
	Średnia	Optimum	35,4 a	195,3 a	34,8 a	4,3 a	6,7 a	138,1 a	30,6 a	18,4 a	0,9 b	0,091 b	
		Deficyt	42,5 a	166,9 a	33,9 a	3,8 a	5,0 a	118,9 a	27,7 a	19,3 a	2,0 a	0,141 a	
Korzenie	INV	Optimum	3,9 a	8,8 a	3,5 a	0,8 a	45,8 a	191,5 a	83,5 a	38,3 a	1,6 a	0,224 a	
		Deficyt	2,4 b	11,5 a	4,0 a	0,3 b	42,2 a	183,6 a	89,0 a	27,5 a	2,1 a	0,107 b	
	ZIE	Optimum	2,4 a	12,0 a	2,2 a	0,6 a	42,2 a	67,4 a	47,3 a	22,6 a	0,8 a	0,112 a	
		Deficyt	2,3 a	13,2 a	2,8 a	0,6 a	53,3 a	65,7 a	63,9 a	20,4 a	1,0 a	0,095 a	
	Średnia	Optimum	3,1 a	10,4 a	2,8 a	0,7 a	44,0 a	129,4 a	65,4 a	30,4 a	1,2 a	0,168 a	
		Deficyt	2,3 a	12,3 a	3,4 a	0,5 a	47,8 a	124,7 a	76,5 a	24,0 a	1,6 a	0,101 a	

Objasnienia: INV – rośliny pochodzące z kultur *in vitro*; ZIE – rośliny pozyskane z sadzonek zielnych;