

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY
W SZCZECINIE
WYDZIAŁ KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA I ROLNICTWA



Monika Rozmarynowska

**Badania nad wpływem dolistnego dokarmiania
siarką i żelazem z produktu ubocznego
7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II)
na wielkość i cechy jakościowe plonów roślin**

Praca doktorska wykonana w Katedrze
Rekultywacji i Chemii Środowiska
pod kierunkiem
prof. dr hab. Edwarda Krzywego

Szczecin 2009

Spis treści

Wstęp	4
1. Przegląd literatury	7
1.1. Rola nawozów wieloskładnikowych w nawożeniu gleb i roślin	7
1.2. Zawartości siarki i żelaza w glebach	11
1.2.1. Siarka	11
1.2.2. Żelazo	15
1.3. Rola siarki i żelaza w organizmach roślinnych	18
1.3.1. Siarka	18
1.3.2. Żelazo	22
1.4. Wpływ dokarmiania dolistnego na wielkość i jakość plonów roślin	25
1.5. Możliwości wykorzystania $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w różnych gałęziach gospodarki	35
2. Zakres i metody badań	39
2.1. Lokalizacja doświadczenia	39
2.2. Charakterystyka chemiczna gleby użytej do badań	39
2.3. Charakterystyka warunków meteorologicznych w okresie badań	40
2.4. Schemat i prowadzenie doświadczenia	43
2.5. Charakterystyka roślin i ich odmian w doświadczeniu	48
2.5.1. Ziemniak	48
2.5.2. Pszenica	49
2.5.3. Rzepak	50
2.5.4. Pszenżyto	51
2.6. Metody analiz gleby i roślin oraz obliczeń statystycznych	52
2.6.1. Metody analiz gleby i roślin	52
2.6.2. Metody obliczeń statystycznych	53
3. Wyniki badań	54
3.1. Plony roślin	54
3.1.1. Plon bulw ziemniaka	54
3.1.2. Plon ziarna pszenicy	57
3.1.3. Plon nasion rzepaku	59
3.1.4. Plon ziarna pszenżyta	61
3.1.5. Plon roślin przeliczony na jednostki zbożowe	64

3.2. Skład chemiczny roślin	65
3.2.1. Zawartość azotu	66
3.2.2. Zawartość fosforu	67
3.2.3. Zawartość potasu	68
3.2.4. Zawartość wapnia	69
3.2.5. Zawartość magnezu	70
3.2.6. Zawartość siarki	71
3.2.7. Zawartość żelaza	72
3.2.8. Zawartość skrobi	74
3.2.9. Plon skrobi	75
3.3. Stosunki jonowe pierwiastków	76
3.3.1. Stosunek jonowy N: S	76
3.3.2. Stosunek jonowy K: Ca	77
3.3.3. Stosunek jonowy K: Mg	79
3.3.4. Stosunek jonowy K: (Ca+Mg)	81
3.3.5. Stosunek jonowy Ca: P	82
4. Dyskusja	84
5. Wnioski	97
6. Spis literatury	99

Wstęp

Pogarszający się stan środowiska przyrodniczego, związany z rozwojem przemysłu i rolnictwa, prowadzi do zakłócenia naturalnej równowagi w przyrodzie. Powinniśmy zdać sobie sprawę z zagrożeń, jakie stwarza rozwój tych dwóch gałęzi gospodarki narodowej.

Zagrożeniem dla środowiska może stać się także nieodpowiednia i nieracjonalna działalność człowieka w zakresie gospodarki odpadami. Mając na względzie konieczność ochrony poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego, podjęto działania zmierzające do takiej gospodarki odpadami, która będzie sprzyjać ochronie i kształtowaniu środowiska.

Przepisy prawne zobowiązują producentów i importerów do zagospodarowania wytworzonych odpadów bądź poddania ich utylizacji, którą należy prowadzić bez ujemnego oddziaływania na środowisko (DZ. U. 01. 62. 628).

Nowoczesne technologie produkcji przemysłowej mają na celu pozyskanie głównego produktu bez odpadów, lub z jak najmniejszą ich ilością. Praktyka jednak pokazuje, że technologie „produkcji bezodpadowych” należą do rzadkości. Pollo (1998) stwierdza, iż całkowite wyeliminowanie odpadów z produkcji jest nieosiągalne. Dodaje, że w praktyce powstawanie odpadów jest nieodłączną cechą każdego procesu wytwórczego. Tego samego zdania jest Zieliński (1998), który wysuwa tezę, że eliminacja odpadów może odnosić się do niektórych tylko etapów produkcji.

Dynamicznie rozwijające się od kilku lat Chiny i Indie wykazują zapotrzebowanie na różnego rodzaju surowce (w tym także do produkcji nawozów mineralnych). Sytuacja ta spowodowała wzrost cen surowców do produkcji nawozów mineralnych (fosforyty, sól potasowa). Problem ten dotyczy także Polski, która nie posiada naturalnych źródeł tych surowców. Surowce te są importowane z różnych

krajów Europy, Afryki i USA. Wzrastają także ceny gazu ziemnego, energii elektrycznej oraz frachtu (Krzywy 2007a).

W wyniku ograniczenia chowu zwierząt, nastąpiło obniżenie produkcji nawozów naturalnych, które dostarczają glebom substancję organiczną i składniki pokarmowe dla roślin.

Na skutek wysokich cen na nawozy mineralne rolnicy ograniczyli ich zakup. Skutkuje to zmniejszonymi ilościami substancji organicznej i składników pokarmowych wprowadzanych do gleb. W konsekwencji tego zjawiska rośliny mogą nie otrzymywać optymalnych ilości składników pokarmowych, potrzebnych do ich wzrostu i rozwoju. Zdaniem Goska i Kopińskiego (2001) w glebach zmniejszyły się zasoby form przyswajalnych składników pokarmowych dla roślin. Zwiększył się wyraźnie areal gleb o niskiej i bardzo niskiej zawartości form przyswajalnych dla roślin fosforu i potasu. Jednocześnie według Krzywego (2007a) niebezpiecznie zwiększa się areal gleb zakwaszonych. Obecnie ocenia się, że w Polsce mamy ponad 50% gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych. Dane te wskazują, że w dalszej konsekwencji zjawisko to może prowadzić do obniżenia żyzności i urodzajności gleb.

Powstaje więc konieczność szukania nowych, stosunkowo tanich i nie mających ujemnego oddziaływania na środowisko, źródeł zaopatrzenia gleb w substancję organiczną i składniki pokarmowe dla roślin.

Niektóre odpady pochodzenia przemysłowego, a także komunalnego zawierają substancję organiczną i składniki pokarmowe dla roślin. Mogą one także zawierać nadmierne ilości metali ciężkich, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz być skażone sanitarnie. Dlatego zanim podejmie się decyzję o wykorzystaniu odpadu do celów nawozowych należy poddać go badaniom chemicznym i mikrobiologicznym.

W trakcie produkcji ditlenku tytanu (bieli tytanowej) powstaje produkt uboczny (odpad) 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Produkt ten zawiera siarkę i żelazo.

W ostatnich latach wyraźnie zwiększyły się niedobory siarki w glebach Europy, a także i Polski. Niedobory siarki w glebach i roślinach w Polsce związane są z działaniami proekologicznymi oraz ograniczeniem produkcji jednoskładnikowych nawozów mineralnych zawierających ten pierwiastek (siarczan amonu i superfosfat pojedynczy i inne).

Przesłanki te skłoniły do szukania możliwości wykorzystania odpadów zawierających siarkę do celów nawozowych. Duża zawartość tego składnika w 7 hydracie siarczanu (VI) żelaza (II) stała się czynnikiem motywującym do sprawdzenia jego wartości nawozowej.

Duża rozpuszczalność w wodzie 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) (95%) oraz dotychczas osiągnięte rezultaty badań skłoniły do przeprowadzenia doświadczeń mających na celu określenie wpływu wodnego roztworu tego produktu ubocznego bez i z dodatkiem mocznika stosowanych na tle standardowego nawożenia mineralnego na wielkość i niektóre cechy jakościowe plonów roślin.

1. Przegląd literatury

1.1. Rola nawozów wieloskładnikowych w nawożeniu gleb i roślin

Szeroka oferta asortymentowa nawozów na Polskim rynku jest potwierdzeniem znaczenia nawożenia roślin we współczesnym rolnictwie.

Nawożenie roślin ma na celu osiągnięcie ekonomicznie uzasadnionych plonów roślin o dobrej jakości oraz utrzymanie żyzności gleb, co najmniej na dotychczasowym poziomie, a nawet jej zwiększenie (Marska i Nowak 2001).

Dlatego nawozy należy stosować w optymalnych dawkach i terminach, a ich skład chemiczny powinien gwarantować odpowiednią zawartość form przyswajalnych dla roślin składników pokarmowych. Agrochemiczną obsługę rolnictwa i zasady postępowania z nawozami określa Ustawa o nawozach i nawożeniu (DZ. U. 07. 147. 1033).

W miarę intensyfikacji produkcji, nawożenie nawozami jednoskładnikowymi stało się niekorzystne z wielu powodów. Wielokrotne przejazdy ciągnika na uprawianej glebie niszczą strukturę gruzelkową, w wyniku czego pogarszają się stosunki wodno – powietrzne gleby, zmniejsza się jej produktywność. Innymi przyczynami ograniczenia stosowania nawozów jednoskładnikowych są duże nakłady pracy i zużycie paliwa, obniżające opłacalność produkcji roślin uprawnych oraz duża zawartość balastu (Jabłoński 1998a, Masztalerz 1996).

Nowe technologie produkcji nawozów mineralnych stwarzają możliwość dobrania proporcji poszczególnych składników pokarmowych w nawozie wieloskładnikowym do wymagań pokarmowych roślin przy uwzględnieniu zasobności gleb w przyswajalne formy składników (Kalembasa i Symanowicz 1998). Wysoka procentowa zawartość składników pokarmowych w nawozach wieloskładnikowych zwiększa oszczędność w transportowaniu, magazynowaniu i rozsiewaniu ich na polu. W celu zapewnienia optymalnych warunków wzrostu i rozwoju roślin w praktyce rolniczej, Czuba (1988), a także Faber i in. (1988) zalecają stosowanie wieloskładnikowych nawozów mineralnych jako jedną z możliwości zwiększenia efektywności nawożenia, bez obawy pogorszenia jakości odżywczej, paszowej, czy też przemysłowej uzyskanego plonu.

W celu określenia roli wieloskładnikowych nawozów mineralnych w użyźnianiu gleb, a także wzroście i rozwoju roślin podjęto szereg doświadczeń.

Jabłoński (1997) stosując Polifoskę 6, Polifoskę 12 i Polimag 305 pod ziemniaki na glebie lekkiej uzyskał wyższą plonów bulw ziemniaka pod wpływem Polifoski 12, a na glebach średnio zwięzłych pod wpływem wszystkich badanych nawozów istotnie zwiększyły się plony bulw testowanej rośliny. Najlepszym okazał się jednak Polimag 305 z dodatkiem mocznika. W warunkach uprawy ziemniaków bez obornika na glebie ubogiej w potas i magnez osiągnięto wysokie plony bulw i skrobi po zastosowaniu wymienionych nawozów wieloskładnikowych.

Na tych samych glebach porównano efekty agrotechniczne wyżej wspomnianych nawozów z nawożeniem standardowym (Jabłoński 1997). Analiza chemicznego składu bulw ziemniaka wykazała, że Polifoska 12 i Polimag 305 powodowały obniżenie zawartości azotu i azotanów w bulwach ziemniaka oraz zwiększenie zawartości magnezu i fosforu. Zastąpienie tradycyjnego systemu nawożenia, nawozami wieloskładnikowymi prowadzi nie tylko do oszczędności w nakładach na roboczogodziny i zużycie paliwa, ale także powoduje zwiększenie plonów bez pogarszania jakości bulw ziemniaka.

W doświadczeniu nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia nawozami wieloskładnikowymi na stopień porażenia bulw ziemniaka pustowatością, rdzawą plamistością miąższu i parchem zwykłym oraz innymi chorobami wirusowymi, bakteryjnymi i grzybowymi (Jabłoński 1997, 1998b).

Przytoczona literatura, uzasadnia użycie nawozów wieloskładnikowych do nawożenia ziemniaka. Teza ta znajduje potwierdzenie również w badaniach Grześkiewicza i Trawczyńskiego (1998b). Dodatkową zaletą stosowania tych nawozów jest poprawa składu chemicznego bulw ziemniaka (obniżenie zawartości azotanów, zwiększenie zawartości magnezu i fosforu) (Grześkiewicz i Trawczyński 1998b). Badania Kalembasy i Symanowicz (1998), wskazują na zwiększenie koncentracji azotu, fosforu, potasu, wapnia i sodu po zastosowaniu Polifoski 8. Procentowa zawartość azotu w bulwach ziemniaka zwiększyła się wraz ze wzrostem dawek azotu. Autorzy ocenili wzrost ten na poziomie od kilku do kilkunastu procent.

Krzywy i Głowacka (1998a) wykazali, że nawozy wieloskładnikowe (Polifoska 8, Polimag 306) istotnie zwiększyły plon suchej masy mieszanki rekultywacyjnej traw w porównaniu z wariantem kontrolnym. Dodatkowo wskazano, że wzrastające dawki nawozów wieloskładnikowych w niewielkim stopniu wpłynęły na zawartość

makroskładników w mieszance traw. W kolejnych badaniach autorzy udowodnili, że wzrastające dawki nawozów wieloskładnikowych (Polifoska 8, Polimag 306) nie miały wpływu na wielkość plonów świeżej masy liści rzodkiewki, natomiast istotnie wpłynęły na zwiększenie plonu korzeni tej rośliny. Wzrastające dawki nawozów wieloskładnikowych w niewielkim stopniu oddziaływały na skład chemiczny liści i korzeni rzodkiewki (Krzywy i Głowacka 1998b).

Polifoski (6, 12) i Polimagi (305, 405, 311, S) stosowane w nawożeniu rzepaku wpływają na dobre plonowanie roślin, a zawarte w nich składniki pokarmowe hamują powstanie szarej pleśni (Grześkowiak 2001).

W doświadczeniu Bieszczada i Piotrowskiego (1992) wykazano pozytywny wpływ nawożenia mineralnego na plonowanie pszenżyta jarego. Najkorzystniejszym wariantem okazało się nawożenie podwojoną dawką NPK, ponieważ przy jej stosowaniu uzyskano największe plony ziarna.

Polepszenie wartości odżywczej pszenżyta jarego odmiany Gabo w wyniku zastosowania nawozów wieloskładnikowych udowodniono w badaniach Domskiej i in. (1998). Zaobserwowali oni, że stosowanie ogólnej dawki $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ pozwoliło na uzyskanie większego plonu białka ogólnego i właściwego, a dawki $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ - białka właściwego.

Krzywy J. i Krzywy E. (2002) wykazali, że wprowadzenie do gleby nawozów wieloskładnikowych, Polifoski 8 i Polimagu 306 wpłynęło na zwiększenie zawartości form przyswajalnych dla roślin fosforu, potasu i magnezu. Zawartość form ogólnych makroskładników oraz mikroskładników w tym metali ciężkich pod wpływem wymienionych wyżej wieloskładnikowych nawozów mineralnych nie uległa większym zmianom. Po zastosowaniu Polifoski 8 pozostało w glebie więcej form przyswajalnych fosforu i potasu, a po zastosowaniu Polimagu 306 - więcej magnezu.

Jakość zbieranych plonów określa się nie tylko na podstawie optymalnych zawartości poszczególnych pierwiastków. W wielu wypadkach czynnikiem wskazującym na prawidłowy przebieg procesów biochemicznych zachodzących w roślinach jest wzajemny stosunek jonowy poszczególnych pierwiastków (Krzywy i in. 2002). Jednym z miarodajnych stosunków jonowych, wskazujących na cechy jakościowe zbieranych plonów roślin jest stosunek N: S.

W wielu opracowaniach podjęto badania nad wpływem nawozów wieloskładnikowych na kształtowanie stosunków jonowych N: S w roślinach uprawnych. W badaniach Krzywego i Krzywy (2001) nawozy wieloskładnikowe

wpłynęły na rozszerzenie omawianego stosunku jonowego w plonach mieszanki traw i korzeni rzodkiewki. Porównując działanie mineralnych nawozów wieloskładnikowych można stwierdzić, że Polimag 306 w większym stopniu rozszerzył stosunek N: S aniżeli Polifoska 8. Cennym spostrzeżeniem wydaje się fakt, iż nie stwierdzono, aby wielkość dawek nawozów wieloskładnikowych miała wpływ na kształtowanie proporcji azotu do siarki.

Krzywy i in. (2002) wykazali, że Polifoska 6 wpłynęła na nadmierne rozszerzenie stosunku jonowego N: S w bulwach ziemniaka. Autorzy stwierdzili, że pod wpływem zastosowanych wieloskładnikowych nawozów mineralnych (Polifoska 6, Polimag 305 i Hydroplon 6) w przypadku ziarna pszenżyta ozimego, a także nasion łubinu żółtego osiągnięto najszerszy stosunek N: S (przekraczający wartość optymalną 15-16: 1) w porównaniu z wariantem kontrolnym.

Należy zaznaczyć, iż opracowując efektywny system nawożenia roślin trzeba wybrać nawozy o takich właściwościach fizyko – chemicznych, z których wykorzystanie zastosowanych składników jest największe (Pasikowski 1997).

Według Głuskiej (2003) w krajach Europy Zachodniej (Holandia, Wielka Brytania, Francja) pod ziemniaki stosuje się wysokie nawożenie (ok. 300 kg N·ha⁻¹), regularne nawadnianie plantacji i 14-16 oprysków fungicydowych przeciw zarazie ziemniaczanej (*Phytophthora infestans*) w sezonie. Niepokojące jest to, że zabiegi te stają się przyczyną zanieczyszczenia gleb związkami chemicznymi. Niewykorzystane związki azotowe oraz pozostałości środków ochrony roślin są wypłukiwane do wód gruntowych przez opady (a częściowo także i przez nawadnianie deszczowniami), stając się źródłem zanieczyszczenia środowiska. Rolnictwo, a szczególnie rolnictwo intensywne, jakim przez ostatnie dziesięciolecia było rolnictwo zachodnie, jest źródłem różnego rodzaju zanieczyszczeń środowiska.

Mając na uwadze ten aspekt w ostatnich latach coraz większego znaczenia nabiera jakość plonu i ochrona środowiska. W Europie coraz częściej dąży się do pozyskania „zdrowego” produktu. Obrońcy środowiska walczą o czystość powietrza, wody i gleby. Niektóre kraje wprowadziły przepisy przeciwdziałające intensyfikacji technologii (np. w Danii wprowadzono ograniczenie poziomu nawożenia). Określone zostały dawki maksymalne nawozów pod poszczególne uprawy. Ściśle kontrolowany jest obrót nawozami, rejestruje się sprzedawane ilości nawozów na kontach poszczególnych farm (Głuska 2003).

Nowym systemem, sprawdzonym pod względem agrotechnicznym i ekologicznym, rozpowszechnionym głównie w USA, na Węgrzech i w Czechach jest stosowanie wieloskładnikowych nawozów zawieszinowych typu NPK (Sztuder 2007). W kraju technikę tę, jak dotychczas, stosuje się w jednej Stacji Nawozów Płynnych w Łagiewnikach Śląskich, obsługującej około 10 000 ha. Biskupski i in. (2004) wykazali, że nawozy zawieszinowe odpadowych soli magnezu (odpad z produkcji siarczanu magnezu, odpadowy karnalit, odpadowy magnezyt) nie zawierają nadmiernej ilości substancji toksycznych dla roślin i z tego punktu widzenia mogą być wykorzystywane do nawożenia. Autorzy stwierdzili, że w zależności od wykorzystywanego odpadu można wytwarzać nawozy zawieszinowe o typowych składach stosowanych w praktyce (PK 10-15 i NPK 3,5-9,5-12,5, 6-9,5-12,5, 9,5-9,5-9,5), zawierające dodatkowo do 7% MgO. Wytworzone zawiesziny charakteryzowały się dobrą stabilnością w czasie przechowywania oraz lepkością umożliwiającą ich bezproblemową aplikację przy użyciu typowego sprzętu.

1.2. Zawartości siarki i żelaza w glebach

1.2.1. Siarka

Siarka jest pierwiastkiem szeroko rozpowszechnionym w przyrodzie (jest obecna w skałach, glebie, wodzie i powietrzu). Pierwiastek ten zaliczany jest do grupy niezbędnych składników pokarmowych potrzebnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin (Alway 1940) i zwierząt (Motowicka-Terelak i Terelak 2000).

Alway (1940) zwraca uwagę, że do czasu szybkiego rozwoju cywilizacji przemysłowej o biologicznym i gospodarczym znaczeniu siarki wiedziano niewiele. Dopiero ponad 200 lat temu zapotrzebowanie na ten pierwiastek zaczęło wzrastać. Pozytywne działanie siarki na powiększenie plonów roślin po raz pierwszy zaobserwowano w 1768 roku w Szwajcarii. Uzyskane rezultaty badań skłoniły do stosowania tego pierwiastka w formie gipsu na użytkach zielonych w Europie i Ameryce.

Pod koniec XIX wieku, gdy na rynku pojawiły się nawozy mineralne zawierające siarkę, zainteresowanie tym pierwiastkiem diametralnie spadło. Nawozami

pokrywającymi zapotrzebowanie roślin na siarkę były superfosfat prosty, niskoprocetowe sole potasowe oraz ditlenek siarki emitowany do atmosfery przez przemysł w czasie spalania węgla (Messick i Fan 1999).

Z biegiem czasu w wielu glebach zaczęto obserwować występowanie nadmiernych ilości siarki, ujemnie wpływających na ich właściwości chemiczne i fizyczne, przyczyniając się jednocześnie do zmniejszania plonów roślin i ich jakości (Krzywy 2005). Pierwsze widoczne negatywne skutki tego zjawiska odnotowano w 1958 roku. Objawiło się to wystąpieniem wyraźnego zakwaszenia wód w górskich jeziorach Anglii (Gorham 1958).

Źródłem zwiększającym ilości tego pierwiastka w glebach stał się rozwój urbanizacji, uprzemysłowienia i motoryzacji (Bieńkowski i in. 1986, Bulewicz i Kandefer 1984, Garścia 1983, Kapala 1986, Strzyszczyński i Truszkowska 1985). W drugiej połowie XX wieku gwałtowny rozwój przemysłu spowodował bardzo intensywną emisję siarki do atmosfery, co stało się przyczyną powstania tzw. kwaśnego opadu atmosferycznego (Paul i Clark 2000).

Według Dechnika i in. (1990) rozszerzenie strefy oddziaływania kwaśnych opadów atmosferycznych zanotowano w latach 80 - tych minionego wieku w wielu krajach, a wśród nich w południowej części Norwegii i Szwecji, w Danii, Holandii, Niemczech, Czechosłowacji i Polsce.

Dużą część przedostającej się siarki z atmosfery do gleby stanowiły pyły zawierające ten pierwiastek w formie siarczanowej lub elementarnej. W ten sposób najwięcej siarki trafiło do gleb i roślin w pobliżu dużych zakładów przemysłowych (Garścia i Gorlach 1985).

Nadmierne ilości siarki w glebach łączone były z ich zakwaszeniem. Wielu autorów wskazuje na negatywne skutki działania związków siarki na właściwości fizyczne i chemiczne gleb. Do najważniejszych skutków należy zaliczyć:

- zwiększenie zakwaszenia gleb;
- zmniejszenie przyswajalności niektórych składników pokarmowych w glebach;
- zwiększenie rozpuszczalności związków glinu, manganu, kadmu i innych pierwiastków oraz substancji fitotoksycznych w glebach;
- zwiększenie wymywania składników o charakterze zasadowym z wierzchnich warstw profilu gleb;
- zmiany w składzie ilościowym i jakościowym mikroorganizmów glebowych, wpływające na zakłócenie naturalnego obiegu pierwiastków (Białobok 1986, Filipczak 1986).

1999, Goulding i Blake 1998, Kaczor 1994, Motowicka – Terelak 1989, Zimny i Malak 1997).

Kaczor i Kozłowska (1996, 2000) stwierdzili, że na obszarach o nadmiernej zawartości siarki w glebach zawartość przyswajalnych form fosforu, magnezu i molibdenu w środowisku glebowym była mała. Konsekwencją tego jest ograniczone pobieranie tych składników pokarmowych przez rośliny. Badora i Filipek (1994) twierdzą, że w warunkach silnego zakwaszenia gleb pojawiają się aktywne jony glinu w toksycznych ilościach. Zjawisko to prowadzi do pojawiania się w glebie, a tym samym w roślinie niedoboru magnezu i fosforu. Dodatkowo autorzy zaobserwowali, że jęczmień, będący ich obiektem badań, pobierał nadmierne ilości manganu i żelaza.

Wyniki uzyskane przez Kaczora i Kozłowską (1996) potwierdzają rezultaty Motowickiej – Terelak i Terelaka (1994), wskazujące że negatywne procesy rozpoczęte w glebach w wyniku oddziaływania na nie kwaśnych opadów, utrzymują się pomimo znacznej redukcji emisji zanieczyszczeń atmosfery.

Badania Gębskiego i Sommera (1997) wykazały, że pod wpływem soli siarczanowych (VI) (K_2SO_4) w większym stopniu następuje ograniczenie ruchliwości niektórych metali ciężkich w glebach lekkich, aniżeli pod wpływem soli chlorkowych (KCl). Z kolei badania Gębskiego i Mercika (1997) wskazują, że duże ilości siarczanów (VI), znajdujących się w roztworze glebowym, mogą prowadzić do wytrącania się ołowiu w formie $PbSO_4$.

Perspektywa nadmiernej emisji siarki spowodowana działalnością przemysłu (uprzemysłowienie, motoryzacja, chemizacja rolnictwa), stała się przyczyną podjęcia badań nad ograniczeniem koncentracji tego pierwiastka w glebach. Stosując nowe technologie przemysłowe wprowadzono wiele przedsięwzięć proekologicznych ograniczających emisję związków siarki do atmosfery, a następnie do gleb (Ceccotti 1996, Sweeney 1995).

Zmiany te dotyczyły asortymentu produkcji nawozów mineralnych. Rozpoczęto na szeroką skalę produkcję wysokoprocentowych mineralnych nawozów wieloskładnikowych, zmniejszając jednocześnie wytwarzanie nawozów jednoskładnikowych, zawierających w balaście siarkę (superfosfat pojedynczy, siarczan amonu) (Eriksen 1997, Krzywy 2005, Pedersen 1992).

Siarka nie jest zatrzymywana w wierzchniej warstwie gleb, lecz przemieszcza się wraz z wodami pochodzącymi z opadów atmosferycznych lub z nawadniania w głąb

profilów glebowych. Według Krzywego (2003) roczne straty siarki siarczanowej powstałe na skutek wymywania w głąb profilu gleby wynoszą od 120 do 150 kg·ha⁻¹.

Deficyt siarki w glebach odnotowano w 75 krajach świata, a wśród nich także w Polsce (Morris 1988). Według prognoz Światowego Instytutu Siarkowego w 2010 roku globalny deficyt siarki dla roślin uprawnych wyniesie 11,1 mln ton (Kaczor i Kozłowska 2000 za Bloem 1998). Można wysnuć hipotezę, że siarka w najbliższym czasie stanie się w Polsce, obok azotu, potasu i fosforu czwartym składnikiem pokarmowym brany pod uwagę przy ustalaniu potrzeb pokarmowych roślin i nawozowych gleb.

Działalność człowieka spowodowała zakłócenie naturalnego obiegu siarki w przyrodzie. To z kolei rzutuje na zmiany w ilościowym i jakościowym występowaniu tego pierwiastka w glebach i roślinach (Motowicka – Terelak i Terelak 2000). Szacuje się, że ogólna zawartość siarki w glebach jest bardzo zróżnicowana i uzależniona od wielu czynników zewnętrznych, do których zalicza się typ i rodzaj gleby, sposób gospodarowania, odległość od zakładów przemysłowych i szlaków komunikacyjnych (Krzywy 2000, Marska i Nowak 2001).

Zawartość siarki w glebach waha się w granicach od 0,02 do 1,2 g·kg⁻¹ s.m. (Zawadzki 2006). Badania zasobności przyswajalnych form siarki w glebach polskich wskazują, że w kraju występują obszary zarówno z wyraźnym niedoborem jak i nadmiarem tego pierwiastka (Motowicka – Terelak i Terelak 1998, Terelak i in. 1995). Blisko 57% areалу gleb użytkowanych rolniczo charakteryzuje się bardzo małą zawartością siarki dostępnej dla roślin (poniżej 15 mg S - SO₄·kg⁻¹ s.m. gleby), 26% gleb zawiera średnie ilości, a 16% wysoką ilość tego pierwiastka. Największy udział gleb o niskiej zawartości w siarkę przyswajalną dla roślin występuje w północnej i północno – wschodniej części Polski.

Siarka występuje w glebach w formie mineralnej i organicznej. Udział siarki organicznej wynosi 50 – 80% (nawet do 97%) w ogólnej zawartości tego pierwiastka (Czuba i in. 1996b, Jarociński 2008). W glebach o dużej zawartości masy organicznej siarka występuje w połączeniach organicznych. Te formy siarki dla roślin są niedostępne. W miarę rozkładu związków organicznych zawarta w nich siarka zostaje udostępniona roślinom. Z nieorganicznych związków siarki w glebie najczęściej występują siarczany (VI) oraz siarczki (II i III).

O przemianach związków siarki w glebach decydują procesy immobilizacji i mineralizacji oraz utlenienia i redukcji. Dużą rolę odgrywa adsorbcja i rozpuszczanie

gazowych związków siarki (SO_2) pochodzących z emisji przemysłowych. O wyniku procesów immobilizacji i mineralizacji związków siarki decyduje stosunek C: S w resztkach organicznych wprowadzonych do gleb. Dodatek materii organicznej ubogiej w siarkę powoduje jej immobilizację. Natomiast dodatek resztek zasobnych w siarkę prowadzi do uwalniania tego pierwiastka w postaci zredukowanych związków S^{2-} . Zredukowane związki siarki są bardzo nietrwałe i ulegają natychmiast utlenieniu do formy siarczanowej (SO_4^{2-}) (Buckman i Brady 1971, Fotyma i Mercik 1995, O'Neil 1998).

Przemianom siarki organicznej w formę mineralną sprzyja wysoki odczyn gleby. Wzrost jego wartości zwiększa szybkość mineralizacji. W glebach o pH_{KCl} powyżej 6,0 siarka (siarczanowa) występuje całkowicie w roztworze glebowym. Optymalna wilgotność do uwalniania siarczanów wynosi 60% pojemności wodnej gleby, a optymalna temperatura 20-30°C. Takie warunki, według Jarocińskiego (2008), zapewniają procesowi mineralizacji organicznych związków siarki korzystny przebieg.

1.2.2. Żelazo

Żelazo już w 1845 roku zostało zaliczone do grupy składników niezbędnych do wzrostu i rozwoju roślin. Pierwiastek ten występuje w znacznych ilościach w skałach (do 10%) i w wierzchniej warstwie gleb Polski (w granicach 8000 – 18000 $\text{mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m). Mimo tego uważane jest za deficytowy składnik pokarmowy (Kabata – Pendias i Pendias 1993 i 1999, Pondel i in. 1979). Według Thompsona i Troeha (1978) zjawisko to związane jest z wyjątkowo słabą rozpuszczalnością związków żelaza trójwartościowego (Fe^{3+}). Buyer i Sikora (1990) wskazują, że dostępność tego pierwiastka jest ograniczona w warunkach tlenowych, przy obojętnym i alkalicznym odczynie środowiska.

Średnia zawartość żelaza w glebach wynosi 25000 $\text{mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m, ale może ona ulegać dużym wahaniom, dzięki ruchliwości tego pierwiastka w profilach glebowych (Zawadzki 2006). Głównymi formami żelaza występującymi w glebach są krzemiany, siarczany, węglany, jednakże największy udział stanowią tlenki i wodorotlenki.

Według wielu autorów (Boratyński i in. 1988, Kabata Pendias i Pendias 1999, Mengel i Kirkby 1983) rozpuszczalność związków żelaza w roztworze glebowym osiąga minimum przy pH_{KCl} gleb powyżej 6,5. Autorzy ci stwierdzili, że gleby kwaśne

są bardziej zasobne w rozpuszczalne związki żelaza, aniżeli gleby wapienne, mogące charakteryzować się krańcowo niskimi jego zawartościami. Pobieranie żelaza zmniejsza się także w warunkach wysokiego stężenia fosforanów w środowisku glebowym. Odczyn obojętny i alkaliczny oraz intensywne przewietrzanie gleb sprzyja utlenieniu Fe^{2+} do Fe^{3+} , a tym samym także wytrącaniu soli żelaza (III) (Mengel i Kirkby 1983). Żelazo przemieszczając się z warstwy akumulacyjnej gleby w głąb profilu zostaje zatrzymane (wytrącone) w poziomach charakteryzujących się małym zakwaszeniem, bądź miejscach lepiej przewietrzanych (Krzywy 2003).

Bardzo ważnym zjawiskiem zwiększającym mobilność żelaza w glebach jest chelatowanie. Jednakże większość różnych związków kompleksujących obecnych w glebie charakteryzuje niskie powinowactwo do żelaza. Związki te łatwo chelatują jony innych, bardziej rozpuszczalnych metali. Spośród związków chelatujących żelazo, syntetyzowanych przez organizmy żywe, możemy wyróżnić siderofory wydzielane do środowiska przez mikroorganizmy w warunkach niedoboru żelaza. Ogromne znaczenie tego zjawiska podkreśla fakt, iż to właśnie kompleksy żelaza trójwartościowego z sideroforami hydroksamowymi są stabilne w całym zakresie pH_{KCl} w glebie (Kurek i Jaroszuk 1993). Biorąc pod uwagę przedstawione aspekty, można przypuszczać, że w glebach o uregulowanych stosunkach powietrzno – wodnych, z wysokim pH_{KCl} , stężenie sideroforów całkowicie kontroluje dostępność żelaza.

Według Kabaty – Pendias i Pendias (1993) związki i minerały żelaza oraz kompleksowe połączenia z substancją organiczną mają duże znaczenie w procesach glebotwórczych i w znacznym stopniu wpływają na zachowanie innych pierwiastków, szczególnie mikroskładników. Nadmiar fosforu w glebach powoduje wytrącanie w glebie fosforanu (V) żelaza (III), związku, który nie jest dostępny dla roślin (Mengel i Kirkby 1983). Zwiększenie stężenia anionów fosforowych w glebie utrudnia roślinom pobieranie i transport żelaza. Pobieranie żelaza przez rośliny może być ograniczone również w skutek występowania w glebie nadmiernych ilości mikroskładników takich jak: mangan, nikiel i kobalt (Krzywy 2001 za Bergmanem 1988). Nadmiar żelaza wywołuje niedobór fosforu i potasu w roślinach (Boratyński i in. 1988, Kabata Pendias i Pendias 1993 i 1999, Koter 1987).

Żelazo jest jednym z najbardziej ruchliwych pierwiastków i łatwo przemieszczających się w glebach. Stopień ruchliwości żelaza uzależniony jest od wielu czynników (Zonn 1982). Autor uważa, że nasilenie czynników antropogenicznych (kwaśne deszcze zakwaszające gleby, nawozy mineralne, nadmierny zrzut substancji

organicznej) może w istotnym stopniu wpłynąć na zachowanie żelaza w glebach, zmieniając jednocześnie jego obieg geochemiczny. Przemieszczając się do innych poziomów profilu glebowego pierwiastek ten ulega wytrącaniu w postaci konkrecji. Mechanizm powstawania konkrecji oraz skupisk manganowych lub manganowo – żelazowych jest ściśle związany ze zmianami warunków oksydacyjno – redukcyjnych. Powstałe konkrecje Mn – Fe mogą być przyczyną wtórnego niedoboru żelaza dla roślin (Kabata – Pendias i Pendias 1999).

W wielu opracowaniach żelazo omawiane jest razem z manganem. Przy zakwaszeniu gleb duże ilości obu pierwiastków oraz glinu, zostają uruchamiane. Staje się to poważnym problemem ze względu na niekorzystne i trudne do usunięcia zmiany (Kaczor i Kozłowska 1996). Autorzy wykazali, że wyeliminowanie dopływu kwaśnych jonów z symulowanym opadem nie było równoznaczne z zakończeniem niekorzystnych procesów zachodzących w glebie i w konsekwencji w roślinie. Następczy wpływ opadu (głównie o pH 3,2) spowodował dalszy wzrost zawartości form rozpuszczalnych żelaza i manganu w glebie (warstwa 0 – 20 cm), a tym samym w suchej masie kupkówki pospolitej. Po zastosowaniu dolomitu nastąpiło obniżenie zawartości przyswajalnych form żelaza i manganu w glebie oraz znaczne ograniczenie wzrostu ilości tych jonów w roślinie testowej.

Badania Kucharzewskiego i Nowaka (2004) wykazały, że typ gleby, kompleks, a także kategoria agronomiczna warunkują zawartość żelaza i manganu w glebie. Największe koncentracje obu pierwiastków odnotowano w madach. Można to tłumaczyć ich pochodzeniem. Na uwagę zasługuje również wyrównany poziom zawartości tych pierwiastków w glebach najlepszych kompleksów pszennych, zdecydowanie niski w kompleksach żytnich oraz stosunkowo duża zawartość tych metali ciężkich w glebach kompleksów pastewnych i górskich.

Oddziaływanie roślin i deszczowania, jako czynników mających wpływ na przemiany obu pierwiastków, są mniej poznane niż wpływ odczynu i składu granulometrycznego. Czekala (2004) wykazał, że zawartości rozpuszczalnego żelaza i manganu w poziomie próchnicznym gleby były istotnie determinowane tylko czynnikiem płodozmianowym. Największą ilość żelaza i manganu rozpuszczalnego stwierdzono w poziomie próchnicznym gleby płodozmianu zbożowego. Ciekawym wnioskiem wysuniętym przez autora jest to, iż w obiektach deszczowanych ilości żelaza i manganu rozpuszczalnego były większe od 4,7 do 5,9% w porównaniu do ilości z obiektów nie deszczowanych.

1.3. Rola siarki i żelaza w organizmach roślinnych

1.3.1. Siarka

Siarka jest niezbędnym pierwiastkiem potrzebnym do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin i zwierząt. Według Motowickiej – Terelak i Terelaka (2000) rola siarki w życiu roślin wynika z jej udziału w procesach życiowych wszystkich żywych organizmów. Biorąc pod uwagę zapotrzebowanie ilościowe roślin na siarkę umieszcza się ją na czwartym miejscu po azocie, potasie i fosforze (Morris 1988).

Rośliny pobierają ten pierwiastek z gleby w formie jonu siarczanowego (SO_4^{2-}) z soli kwasu siarkowego np. K_2SO_4 , CaSO_4 , MgSO_4 . Oprócz tego rośliny pobierają siarkę w postaci gazowej SO_2 z powietrza (Thompson i Troeh 1978). Siarka z atmosfery pobierana jest przez liście i szybko wykorzystana. Zdaniem Wartesiewicza (1979) poprzez wprowadzenie siarki przez aparaty szparkowe znajdujące się na liściach, roślina jest w stanie pokryć aż w 50% swoje zapotrzebowanie na ten składnik. Dytlenek siarki pobierany z atmosfery przez aparaty szparkowe częściowo ulega utlenieniu do SO_4^{2-} , częściowo pozostaje w postaci toksycznych siarczanów (IV) i siarczków lub wydzielany jest w formie H_2S . Nadmierne stężenie ditlenku siarki w powietrzu jest dla wielu gatunków roślin szkodliwe, gdyż powoduje uszkodzenie aparatu fotosyntetycznego liści (Butnerowicz i Molski 1974, Piskornik 1994, Świeboda 1977).

Marska i Wróbel (2000) są zdania, że często jedynym źródłem tego pierwiastka dla roślin są związki organiczne gromadzone w glebie. Pod wpływem mikroorganizmów ulegają one mineralizacji, dzięki czemu w glebach stale odnawiają się zasoby łatwo przyswajalnej przez korzenie roślin formy siarczanowej (VI). Autorzy podkreślają jednak, że nie są to znaczne ilości. Tylko około 2% siarki ogółem przechodzi z form organicznych do mineralnej (anionu SO_4^{2-}), która z kolei łatwo ulega wypłukiwaniu poza strefę korzeniową roślin, ponieważ jest słabo związana z kompleksem sorpcyjnym.

Zdaniem Czuby i in. (1996b) powietrze może stać się cennym źródłem tego pierwiastka w przypadku niedoborów siarki w glebie. Jeśli roślina jest zaopatrzona w siarkę z podłoża, nie korzysta z siarki pochodzącej z powietrza. Według Jarocińskiego (2008) wynikać to może z faktu, że siarka w niewielkim stopniu

transportowana jest „w dół rośliny” (od liści do korzeni), czyli nie jest przemieszczana przeciw prądowi transpirującemu.

Thompson i Troeh (1978) zwracają także uwagę, iż w toku przemiany materii rośliny przeprowadzają redukcję jonu SO_4^{2-} oraz ditlenku siarki do postaci, które mogą zostać wbudowane do cząsteczek związków organicznych.

Siarka stanowi istotną część białek roślinnych oraz enzymów. Jest pierwiastkiem wchodzącym w skład aminokwasów egzogennych. Do najważniejszych połączeń organicznych siarki należą aminokwasy siarkowe: cysteina, cystyna (utleniona forma cysteiny) oraz metionina. Aminokwasy te występują we wszystkich białkach roślinnych (Berg i in. 2003, Fotyma i Mercik 1995, Marska i Nowak 2001).

Cysteina zawiera reaktywną grupę tiolową $-\text{SH}$ (sulfhydrylową), która łatwo ulega odwodornieniu, zarówno w przypadku wolnego aminokwasu, jak i w przypadku, gdy aminokwas ten zostaje wbudowany w łańcuch białkowy. W procesie odwodornienia dwóch cząsteczek cysteiny powstaje jedna cząsteczka cystyny, czemu towarzyszy wytworzenie tzw. „mostka dwusiarczkowego” ($-\text{S}-\text{S}-$). Wiązanie dwusiarczkowe jest bardziej odporne na hydrolizę niż peptydowe, tworzy jedno z najtrwalszych typów wiązań utrzymujących strukturę przestrzenną białek. Odpowiednie zwinięcie łańcucha powoduje, że wcześniej oddalone od siebie grupy czynne, znajdują się teraz blisko siebie, przez co powstaje tzw. centrum aktywne enzymu zdolne do przeprowadzania określonych reakcji biochemicznych (Marska i Wróbel 2000). Szczególnie bogate w cysteinę i cystynę są białka typu kreatyny. Również insulina zawiera znaczną ilość tych aminokwasów. Grupy: tiolowa i dwusiarczkowa występują nie tylko w białkach, ale także w glutationie, ferredoksynie oraz koenzymie A (CoA), czyli związkach mających duże znaczenie dla metabolizmu roślinnego (Kączkowski 2005).

Metionina różni się od cysteiny tym, że nie odczepia ani wolnej siarki, ani H_2S . Aminokwas ten powstaje w komórkach homocysteiny przez odłączenie grupy metylowej. Metionina ma duże znaczenie nie tylko jako aminokwas egzogeny, ale także jako dawca grupy metylowej ($-\text{CH}_3$) w licznych przemianach metabolicznych (Kączkowski 2005).

Znajdujące się w roślinach jony SO_4^{2-} mogą brać udział w utrzymaniu odpowiedniego uwodnienia protoplazmy (jest to zjawisko antagonizmu w stosunku do jonów jednowartościowych) (Krzywy 2000).

Siarka w roślinach spełnia wiele funkcji związanych z prawidłowym przebiegiem procesów fizjologicznych, do których należą:

- udział w układach oksydoredukcyjnych, kontrolujących syntezę chlorofilu w chloroplastach;
- udział w reakcjach enzymatycznych, związanych z biologicznym wiązaniem azotu atmosferycznego przez bakterie *Rhizobium*, redukcja azotanów do amoniaku oraz stymulacja procesu fotosyntezy (ferredoksyna);
- zmniejszenie udziału niebiałkowych form azotu w roślinach (obecność cysteiny warunkuje aktywność reduktazy azotanowej);
- udział w składzie witamin B₁ (tiamina) oraz H (biotyna);
- zwiększenie walorów smakowych i zapachowych produktów roślinnych (czosnek, cebula);
- zwiększenie odporności roślin na choroby i szkodniki (Gaj 2006).

W procesie mineralizacji masy organicznej gleby uwalniają się azot i siarka w proporcjach optymalnych dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Prawidłowy stosunek N: S, według Czuby i Mazura (1988) oraz Metsona (1984), w nasionach rzepaku powinien wynosić 7 – 9: 1, a w roślinach pastewnych 15 - 16: 1. Stosunek N: S w głównych plonach roślin stanowi jeden z najlepszych i powszechnie akceptowanych testów roślinnych potrzeb nawożenia siarką (Gaj 2006). Naruszenie tego stosunku poprzez czynniki zewnętrzne np.: stosowanie wysokich dawek nawozów azotowych lub nadmiernej emisji siarki przez glebę prowadzi do zakłócenia procesów biochemicznych w roślinie (metabolizm azotu, ograniczenie syntezy białka oraz obniżona aktywność fotosyntezy wskutek chlorozy). Bez dostarczania z zewnątrz siarki pozostaje jedynie niewielka ilość wolnego siarczanu, ponieważ ilość siarki uwalniana z materii organicznej równoważy potrzeby materii związanej z jej przetwarzaniem (Grzesiuk 1977, Thomson i Troeh 1978).

Zróżnicowanie zawartości siarki w roślinach uprawnych wynika z różnych potrzeb pokarmowych poszczególnych gatunków roślin. Ilościowe zapotrzebowanie roślin na siarkę jest na ogół nieco mniejsze lub nieco większe niż na fosfor (Wartesiewicz 1979).

Pod względem wymagań w stosunku do siarki rośliny można podzielić na trzy grupy:

- rośliny o bardzo dużym zapotrzebowaniu na siarkę. Należą do nich rośliny krzyżowe (rzepak, kapusta, rzodkiew, brukiew, rzepa) oraz liliowate (cebula i czosnek);

- rośliny o dużym zapotrzebowaniu na siarkę. Są to głównie motylkowate oraz kukurydza i burak;
- rośliny o stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na siarkę. Do tej grupy zalicza się trawy (w tym zboża) i ziemniaki (Grześkowiak i Jakubowski 2004).

Zawartość siarki w roślinach uprawnych jest różna. Waha się w granicach od 0,6 g S·kg⁻¹ (w słomie żyta) do 11,3 g S·kg⁻¹ (w nasionach rzepaku jarego) (Panak 1995).

Według Motowickiej – Terelak i Terelaka (2000), największe nagromadzenie siarki w biomase roślin ma miejsce w uprzemysłowionych rejonach kraju lub w zasięgu oddziaływania lokalnych źródeł emisji, czyli tam, gdzie zarówno gleby jak i powietrze są bardziej zasiarczone.

Nadmiar siarki może wpływać negatywnie na skład chemiczny roślin i działać antagonistycznie na pobieranie niektórych jonów przez rośliny (Skwierawska i in. 2006). Nadmierna koncentracja siarki może działać toksycznie na organizm roślinny (Filipek 1999). Przyjmuje się, że w ziarnie zbóż nie powinno być więcej aniżeli 2,5 g S·kg⁻¹ s.m., w nasionach rzepaku 15,0 g S·kg⁻¹ s.m., a w bulwach ziemniaka i korzeniach buraka 3,0 g S·kg⁻¹s.m.

Większość związków siarki występujących w roślinach zawiera azot, stąd też objawy niedoboru siarki w roślinach są podobne do tych, które występują przy niedoborze azotu. Niedobór jednego z tych pierwiastków wpływa na te same procesy biochemiczne. Początkowe przejaśnienia (chlorozy) występujące na młodszych liściach mogą informować o niedoborze siarki, odróżniając się od niedoborów azotu, które objawiają się na starszych liściach. Azot jest jednak bardziej ruchliwy niż siarka i łatwo przemieszcza się do młodych liści, co określa się terminem remobilizacji (Gaj 2006). Następnie, przy niedoborze siarki, organy wegetatywne rośliny, najpierw młodsze, zaczynają zasychać na kolor słomkowy, podobnie jak w przypadku niedoboru azotu.

Niedobór siarki powoduje także obniżenie plonów roślin. Z badań przeprowadzonych przez wielu autorów wynika, że siarka wyraźnie wpływa na jakość plonów roślin uprawnych (Brown i in. 1997, Czuba i Mazur 1988, Mc Grath i Zhao 1996, Uziak i Szymańska 1987, Wielebski i Wójtowicz 1993, Zhao i in. 1997). Przy braku siarki w roślinach występuje zmniejszenie intensywności syntezy białek i metabolizmu cukrów. W dalszej kolejności zmniejsza się odporność roślin na oddziaływanie czynników biotycznych i abiotycznych. Zwiększa się zawartość azotanów (V) i niektórych metali ciężkich w roślinach (Kaczor i Kozłowska 2000,

Motowicka – Terelak i Terelak 1998, Park 1988). W przypadku roślin oleistych brak siarki powoduje zmniejszenie zawartości tłuszczu w nasionach (Blake – Kalff i in. 1998, Mc Grath i Zhao 1996). Zdaniem Krzywego 2003 za Bloem 1998, Zhao i in. 1997 niedobór siarki w zbożach obniża jakość mąki.

Asortyment dostępnych w handlu wieloskładnikowych nawozów mineralnych zawierających siarkę jest dość szeroki. Jednak w większości zawartość siarki kształtuje się w granicach 3-4%. Taka zawartość siarki w nawozach wieloskładnikowych nie pokrywa zapotrzebowania roślin na ten pierwiastek. Dlatego należy prowadzić badania nad możliwością zagospodarowania niektórych odpadów (lub produktów ubocznych) pochodzących z produkcji przemysłowej, a zawierających siarkę, jako źródło tego pierwiastka dla roślin.

1.3.2 Żelazo

Żelazo jest niezbędnym pierwiastkiem do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Żelazo w roślinach występuje w formie dwu- i trójwartościowej (Grzebisz 2008). Ilościowy stosunek kationów (Fe^{2+} , Fe^{3+}) uzależniony jest od obecności substancji utleniających lub redukujących. Za formę aktywną uważa się żelazo dwuwartościowe, a nieaktywną – trójwartościowe (Fotyma i Mercik 1995).

Rośliny mogą pobierać żelazo w postaci Fe^{2+} , Fe^{3+} oraz ze związków chelatowych. Zjawisko pobierania przez rośliny żelaza jest procesem metabolicznym, podczas którego na powierzchni korzeni roślin zachodzi redukcja Fe^{3+} do Fe^{2+} . W glebach o dostatecznie dużej rozpuszczalności żelaza korzenie pobierają go łatwo, najczęściej z form związanych z substancją organiczną. W warunkach niedoboru żelaza korzenie, np. roślin zbożowych, wydzielają kwas mugineinowy, uruchamiający trudno rozpuszczalne formy żelaza w glebie. Jony żelaza trójwartościowego wchodzi do kompleksu sorpcyjnego gleby i wypierają jony wodoru, co obniża odczyn gleby (Jarociński 2007).

Transport żelaza w roślinach odbywa się głównie w formach związków organicznych (np. z kwasem cytrynowym) lub w postaci jonowej (Fe^{2+}). Pierwiastek ten może być także pobierany przez liście (Boratyński i in. 1988, Kabata - Pendias i Pendias 1999).

Żelazo odgrywa ważną rolę w metabolizmie każdej żywej komórki (Kurek i Jaroszuk 1993). Pierwiastek ten w roślinach bierze udział w:

- syntezie chlorofilu i procesie fotosyntezy (żelazo stymulując te procesy, nie wchodzi w skład chlorofilu);
- redukcji azotanów (V) i wiązaniu wolnego azotu;
- metabolizmie kwasów nukleinowych;
- regulowaniu reakcji oksydacyjno – redukujących (Kabata – Pendias i Pendias 1993, 1999, Skinder 1991).

Większość zawartego żelaza w roślinach wchodzi w połączenia ze związkami organicznymi (80 – 90%).

O dostępności żelaza dla roślin decyduje nie tyle całkowita jego zawartość w glebie, ale czynniki wpływające na jego rozpuszczalność, a zwłaszcza odczyn (Kucharzewski i Nowak 2004). Kabata - Pendias i Pendias (1993) uważają, że stężenie żelaza zależy od gatunku i wieku rośliny. Według autorów zawartość żelaza w roślinach waha się w bardzo dużych granicach (na przykład bulwy ziemniaka zawierają od 21 do 58 mg Fe·kg⁻¹ s.m, ziarno pszenicy od 25 do 40 mg Fe·kg⁻¹ s.m, korzenie buraka 71 mg Fe·kg⁻¹ s.m, trawy od 60 do 140 mg Fe·kg⁻¹ s.m, koniczyny od 76 do 136 mg Fe·kg⁻¹ s.m.). Najzasobniejsze w żelazo są zielone części roślin, które mogą zawierać od 100 do 800 mg Fe·kg⁻¹ s.m. W roślinach żelazolubnych (sałata, szpinak, ryż) zawartość żelaza może dochodzić nawet do 2000 mg Fe·kg⁻¹ s.m.

Zakłócenia w odżywianiu roślin żelazem występują najczęściej na glebach wapiennych i glebach o odczynie obojętnym. Gleby wapienne z reguły zawierają w roztworze glebowym duże ilości Ca²⁺, które współzawodniczą z Fe²⁺, o te same miejsca wiązania w związkach chelatujących, wskutek czego zmniejsza się dostępność Fe²⁺ dla roślin (Mengel i Kirkby 1983).

Niedobór żelaza w roślinach nie jest związany z rzeczywistym jego brakiem w glebach. Wiąże się z ograniczoną jego rozpuszczalnością (Kabata - Pendias i Pendias 1993). Niedobór żelaza może być również wynikiem antagonistycznego oddziaływania innych pierwiastków (Boratyński i in. 1988, Kabata – Pendias i Pendias 1993). Według Thompsona i Troeha (1978) zjawisko niedoboru żelaza w roślinie wywołuje nadmiar manganu i prawdopodobnie nadmiar miedzi. Oba pierwiastki działając jako czynniki utleniające sprzyjają przekształceniu związków żelaza dwuwartościowego do trójwartościowego. Forma żelaza Fe³⁺ jest słabo rozpuszczana w wodzie i jest niedostępna lub mało dostępna dla większości roślin.

Szkodliwość nadmiaru żelaza związana jest z zaburzeniami metabolizmu innych pierwiastków. Stosunek Fe:Mn 1,5-2,5:1,0 jest niezbędny do zachowania równowagi procesów enzymatycznych zachodzących w roślinach. Zawężenie stosunku Fe:Mn poniżej 1,5 powoduje wystąpienie objawów toksyczności manganu i niedoboru żelaza, a rozszerzenie powyżej 2,5 wskazuje na szkodliwy nadmiar żelaza, któremu towarzyszą niedobory manganu (Kabata – Pendias i Pendias 1993).

Istnieje duża współzależność w metabolicznym działaniu pomiędzy żelazem, a niklem i kobaltem. Pierwiastki te ograniczają pobieranie i przemieszczanie żelaza w roślinach, w efekcie zostaje zahamowana synteza chlorofilu, występuje u roślin chloroza (Krzywy 2000). Pierwsze symptomy niedoboru żelaza w postaci chlorozy międzyżyłkowej pojawiają się głównie na młodych częściach roślin. Jarociński (2007) dodaje, że chloroza objawia się zmianą barwy młodych liści, które początkowo stają się jasnozielone, następnie żółkną i bieleją, a nerwy liściowe i tkanka do nich przylegająca pozostają zielone. Chloroza rozpoczynająca się od wierzchołka i najmłodszych liści roślin, stopniowo obejmuje też liście starsze. Takie objawy dość często spotyka się w uprawach sadowniczych, na glebach świeżo zwapnowanych, przewapnowanych i zasadowych (o pH_{KCl} powyżej 7,2), a szczególnie przy nadmiernej wilgotności i słabym napowietrzaniu podłoża oraz w rejonach emisji przemysłu miedziowego. Inne czynniki powodujące chlorozę to: intensywna uprawa, duże wahania temperatur, duża zawartość azotu, zbyt słabe lub bardzo intensywne oświetlenie (np. w uprawach szklarniowych, pod folią), wysoka albo niska zawartość substancji organicznej (Jarociński 2007).

Większość roślin jest wrażliwa na niedobór żelaza. Wyraźny niedobór tego pierwiastka można zaobserwować u roślin uprawianych na glebach alkalicznych, zasolonych oraz piaszczystych (Krzywy 2007b). Autor jest zdania, że na glebach zakwaszonych rośliny mogą pobierać nadmierne jego ilości. Na ogół jednak rośliny odznaczają się dużą tolerancją na wysokie stężenia w tkankach, w których nadmiar odkładają w nieaktywnych połączeniach z białkami.

1.4. Wpływ dokarmiania dolistnego na wielkość i jakość plonów roślin

W nawożeniu powszechnie przyjętym sposobem jest stosowanie składników pokarmowych dla roślin doglebowo w formie nawozów o konsystencji stałej. Według Krzywego (2000) to właśnie gleba jest głównym źródłem składników pokarmowych dostępnych dla roślin. Potwierdzeniem tej tezy są również wnioski Kropisza (1983), dla którego gleba stanowi źródło ciepła, powietrza, wody i składników pokarmowych dla roślin.

Tradycyjne nawożenie doglebowe nie zawsze gwarantuje dostarczenie roślinom niezbędnych składników pokarmowych do wzrostu i rozwoju oraz uzyskanie ekonomicznie uzasadnionych plonów o dobrej jakości.

Coraz większego znaczenia nabiera dolistne dokarmianie roślin które, staje się integralną częścią nowoczesnych rolniczych technologii produkcji. Zabieg ten nie może być traktowany jako wyizolowany element nawożenia, powinien być włączony do całokształtu zabiegów agrotechnicznych. Badania wykazały, że dolistne dokarmianie nawozami wieloskładnikowymi zawierającymi mikroskładniki jest uzasadnione wszędzie tam, gdzie stosuje się wysoki poziom agrotechniki, pełną ochronę plantacji przed chwastami, chorobami i szkodnikami oraz występują niedobory składników pokarmowych w glebie (Jabłoński 2006a). Zrównoważone zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe w czasie wegetacji warunkuje osiągnięcie wysokich plonów o dobrej jakości.

W okresie wzrostu rośliny występują fazy, w których pobieranie składników przez system korzeniowy jest zbyt wolne. U zbóż dotyczy to fazy krzewienia i strzelania w źdźbło, w przypadku rzepaku - fazy krzewienia. Okresem krytycznym u buraka cukrowego jest czas zakrywania rzędów, a u ziemniaka to faza zawiązywania i wykształcania bulw, a także okres przed kwitnieniem. Sytuacje takie mogą wystąpić także w okresach niedoboru wody w glebach spowodowane brakiem opadów atmosferycznych, zbyt niskimi temperaturami, nadmiernym zakwaszeniem lub alkalizacją gleb, a także małą ilością próchnicy i brakiem mikroskładników. W takich przypadkach, aby tempo wzrostu i rozwoju roślin nie uległo spowolnieniu Czuba (1996c), Czuba i in. (1996b), Grześkowiak (2003), a także Jabłoński (1998a) zalecają

dokarmianie dolistne. Pozwala ono na maksymalne wykorzystanie potencjału plonotwórczego roślin.

Dolistne dokarmianie roślin umożliwia szybkie wniesienie w okresie wegetacji deficytowych dla roślin składników pokarmowych zarówno w przypadku niedoboru, jak i utrudnionego pobierania (Szewczuk 2008). W pełni uzasadnione jest dolistne dokarmianie roślin także w fazach intensywnego przyrostu biomasy, gdy rośliny intensywnie pobierają składniki pokarmowe, a ich system korzeniowy nie zawsze jest wystarczająco wydajny do pełnego pokrycia potrzeb pokarmowych (Krzywy 2007b). Artyszak (2007) jest zdania, że sytuacja taka występuje szczególnie w uprawie odmian pszenicy ozimej.

Koter (1987) uważa, że dokarmianie dolistne roślin, podobnie jak nawożenie zasadnicze, powinno być dostosowane do wymagań pokarmowych rośliny. W okresie największego nasilenia procesów asymilacyjnych roślin, dokarmianie dolistne powinno dostarczyć im optymalną ilość składników pokarmowych niezbędnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju.

Rola wodnych roztworów, zawierających makro i mikroskładniki, przeznaczonych do dolistnego dokarmiania, polega na usunięciu głodu roślin na składniki pokarmowe, zwiększeniu ich plonu oraz jakości (ilości białka, węglowodanów, związków tłuszczowych, olejków eterycznych i witamin) (Koter 1987).

Uzupełnienie niedoborów składników pokarmowych bezpośrednio na liście roślin w formie oprysku jest prostym, i co ważniejsze, skutecznym sposobem. W odróżnieniu od nawożenia doglebowego jest to zabieg działający niemal natychmiast i pozwalający na uzyskanie dużej efektywności działania stosunkowo małej ilości składnika (Czuba 1993a, Grześkowiak 2003, Kocoń i in. 1999, Witek 2003). Komosa (1990) jest zdania, że najlepsze efekty produkcyjne można uzyskać przez łączenie ze sobą nawożenia doglebowego i dolistnego.

W formie dolistnego dokarmiania można dostarczać zarówno makro-, jak i mikroskładniki. Należy jednak pamiętać, iż makroskładniki (azot, fosfor, potas, magnez, wapń i siarka), pobierane przez rośliny w dużych ilościach, powinny być wnoszone głównie doglebowo. Z kolei zapotrzebowanie roślin na mikroskładniki (bor, miedź, cynk, mangan, molibden, żelazo), pobierane w niewielkich ilościach (od kilku gramów do 2-3 kg·ha⁻¹), można w dużym stopniu zaspokoić poprzez opryski dolistne (Szewczuk 2008). Autor dodaje, że dolistne stosowanie nawozów zawierających

mikroskładniki rozpowszechniło się najbardziej w praktyce rolniczej. Mikroskładniki w nawozach dolistnych, występujące w formie chelatów, są łatwiej pobierane i przemieszczane w roślinie oraz zapobiegają wytrącaniu osadu w cieczy roboczej (Jabłoński 2006a). Według Czuby (1996a), Kozery i in. (2006), Ruszkowskiej i Wojcieszkiej – Wyskupajtys (1996), a także Szewczuka i Michałojć (2003) mikroskładniki regulują procesy enzymatyczne zachodzące w roślinie, wpływają także na zawartość makroskładników, a ich wzajemne stosunki decydują o jakości plonów roślin. Szewczuk (2008) jest zdania, że mikroskładniki stosowane dolistnie są 10, a niektóre nawet 30 - krotnie lepiej przyswajalne przez rośliny w porównaniu z ich doglebowym stosowaniem. Ponadto autor twierdzi, że dolistne dokarmianie mikroskładnikami można łączyć (w jednej cieczy użytkowej) z dokarmianiem roślin azotem, 7 hydratami siarczanu (VI) magnezu (II) lub ze środkami ochrony roślin. Uzupełnienie braku mikroskładników umożliwia roślinie wydanie większego plonu, bez pogorszenia jego jakości (Bansal i in. 1994, Cakmak i in. 1997, Czuba 1993b, Domska i in. 1997, Gembarzewski i in. 1996).

Do zalet dokarmiania dolistnego należy również możliwość uniknięcia sorpcji chemicznej i biologicznej w glebie, a na terenach urzeźbionych – wymywania składników mineralnych przez spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe. Poprzez bardziej efektywne i szybkie dostarczanie potrzebnych składników pokarmowych, dolistne dokarmianie jest zabiegiem prowadzącym do zmniejszenia zanieczyszczenia gleby i wód gruntowych (Czuba 1993a,b, Haneklaus i Schnug 1993, Jahiruddin i in. 1992). Ten sposób nawożenia jest uzasadniony nie tylko z punktu widzenia fizjologii roślin, ale także ochrony środowiska glebowego i wodnego.

Roztwory wodne zawierające składniki pokarmowe przy dokarmianiu dolistnym roślin są w stanie przenikać przez warstwę kutikuli przez tzw. ektodesmy oraz w pobliżu wiązek naczyniowo – sitowych, gdzie kutikula i tkanka liścia mają odmienną budowę, ułatwiającą wnikanie roztworów do wnętrza liścia. W mniejszym stopniu roztwory podawane na liść przenikają do jego wnętrza przez szparki oddechowe. Przez kutikulę oraz przez ściany komórkowe przechodzą one na zasadzie dyfuzji, dalsze przenikanie do wnętrza komórek odbywa się według takich samych mechanizmów, jak przy pobieraniu składników przez korzeń (Czuba 1986).

Zdaniem Jankowskiego i Nowaka (1999) na dolistne dokarmianie pozytywnie reagują rośliny upraw ogrodniczych, sadowniczych i rolniczych. Należy jednak pamiętać o wielu czynnikach, warunkujących pobieranie składników pokarmowych

przez liście roślin. Efektywność tego sposobu dokarmiania roślin jest tym większa im rośliny są lepiej zaopatrzone w podstawowe składniki pokarmowe i są zdrowe. Zabieg ten przeprowadza się w okresie wzrostu roślin wtedy, gdy mają one dobrze rozwinięte blaszki liściowe. Wchłanianie składników jest tym większe, im dłużej pozostają one zwilżone roztworem wodnym zawierającym składniki pokarmowe. Dlatego też najlepsze wyniki według Boratyńskiego i in. (1981) daje, dokarmianie dolistne roślin w czasie pochmurnej bezdeszczowej pogody, lub rano i wieczorem, przy wysokiej wilgotności względnej powietrza. Tak dostarczone składniki pokarmowe od razu mogą zostać użyte przez roślinę. Stąd też efektywność takiego dokarmiania roślin jest wielokrotnie większa niż doglebowego.

Dodatkowo Szewczuk (2008) zwraca uwagę na kilka czynników warunkujących prawidłowy oprysk roślin:

- optymalną temperaturą jest 12-20°C;
- do sporządzenia roztworu nawozów można dodać jeden środek ochrony roślin (grzybo- lub owadobójczy), zgodnie z instrukcją jego stosowania. Wskazany jest też dodatek zwilżacza;
- zaleca się podczas oprysku nanoszenie sporządzonego roztworu również na spodnią stronę liścia, dzięki czemu wzrasta przyswajalność składników.

Zabieg ten dość szybko rozpowszechnił się w praktyce produkcyjnej wielu krajów. Dobrzański i Haman (1976) już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku oszacowali z dostępnej literatury, że co najmniej w 60 krajach stosuje się dolistne dokarmianie różnych gatunków roślin uprawnych.

Warto podkreślić, że niektóre z wyprodukowanych w Polsce nawozów do dolistnego dokarmiania wykazują działanie ochronne przed chorobami i szkodnikami (Biesiada i Kołota 1998, Narkiewicz – Jodko 1989, Narkiewicz – Jodko i in. 1988, Nowosielski 1986, Nowosielski i in. 1987, Osińska i Kołota 1998).

Użycie nawozów dolistno – ochronnych umożliwia zmniejszenie zużycia pestycydów, a w niektórych przypadkach całkowite ich pominięcie (Narkiewicz – Jodko 1986, Narkiewicz – Jodko i in. 1989, Nowosielski 1989). Ma duże znaczenie w produkcji tzw. zdrowej żywności.

Od kilku lat można odnotować znaczną aktywność badawczą – wdrożeniową dotyczącą stosowania nawozów w postaci płynnej, zarówno dolistnie (roztwór mocznika), jak i doglebowo (roztwór saletrzano – mocznikowy). Za wykorzystaniem dolistnych nawozów płynnych przemawia: równomierne ich rozprowadzanie, lepsze

dostosowanie składu nawozu do potrzeb pokarmowych roślin, a także lepsze efekty plonotwórcze w latach o mniejszej ilości opadów w okresie wegetacji (Czuba 1998, 2000, Sztuder 2007, Sztuder i Świerczewska 1997).

Na rynku między innymi dostępne są koncentraty nawozowe typu PLONIS. Wyniki badań wykazały, że koncentraty makro- i mikroelementowe dają możliwość szybkiego i efektywnego uzupełnienia składników pokarmowych. Dodatkowo stosowanie PLONISÓW zwiększa odporność roślin na choroby grzybowe. Ważną kwestią pozostaje ekologia, w aspekcie której związki te uważane są za czynniki przyjazne dla środowiska i umożliwiają produkcję zdrowej żywności (Krupski 1997).

W sprzedaży dostępne są również nawozy typu „U” stosowane w uprawach sadowniczych. Są to nawozy jednocześnie żywiące roślinę i utrudniające rozwój patogenów. Zdaniem Szewczuka i Michałojć (2003) nawozy „U” stosowane dolistnie, już w kilka godzin po zabiegu, powodują poprawę stanu odżywiania roślin składnikami pokarmowymi. Według Jabłońskiego (2003a), a także Kołoty i Adamczewskiej - Sowińskiej (1996) nawozy te są wielokrotnie efektywniejsze od nawozów stałych stosowanych doglebowo.

Badania nad wpływem dolistnego dokarmiania roślin prowadzono już w latach 50-tych ubiegłego stulecia. Nawóz wieloskładnikowy, Wuxal okazał się bardzo skuteczny, powodując wzrost plonu, liści korzeni buraka cukrowego i zawartości cukru. W przypadku tytoniu cygarowego, po zastosowaniu tego nawozu nastąpiło zwiększenie plonu zielonej i suchej masy liści. Wykazano również, że Wuxal w warunkach suszy dodatnio wpłynął na plon ziela mięty (*Mentha piperita* L.) i jej struktury, zwiększając udział młodych liści. Zwiększyła się również procentowa zawartość olejku miętowego w liściach (Dobrzański i Haman 1976). O zaletach wieloskładnikowego nawozu dolistnego typu Wuxal piszą także Jabłoński i Dryjańska (1998). Ich zdaniem nawóz ten charakteryzuje się całkowitą rozpuszczalnością w wodzie, a zawarte w nim sole mineralne występują w formie chelatów łatwo przyswajalnych dla roślin. Może być on stosowany łącznie ze środkami ochrony roślin przeciw stoncy i zarazy ziemniaka, dzięki czemu obniżają koszty dolistnego dokarmiania.

Według dystrybutora i producenta nawozów dolistnych Wuxal szybkie uzupełnienie występujących niedoborów pozwala na wyrównanie zachwianych proporcji i znacznie zwiększa pobieranie pierwiastków z gleb. Dostarczenie składników w krytycznych momentach rozwoju rośliny daje dodatkowy czynnik plonotwórczy.

Lepsza staje się też jakość produktów np. zawartość glutenu w ziarnie pszenicy (Podolska 2005) lub cukru w korzeniach buraka (Sztuder i Świerczewska 2002).

Na rynku obserwuje się wzrost zainteresowania produkcją nawozów do dolistnego dokarmiania roślin, wzbogaconych niekiedy w różne środki stymulujące ich wzrost. Najbardziej efektywnym sposobem dolistnego dokarmiania roślin jest łączne stosowanie makroskładników i mikroskładników w roztworze wodnym.

W dużym asortymencie nawozów w Polsce (Łabuda 1994), uwagę zwracają sole techniczne zawierające mikroskładniki lub wieloskładnikowe nawozy mineralne typu insoli, agrosoli oraz chelaty (Mikrochelacyt LS - 3 i Polichelat LS - 7). Założeniem producentów jest produkcja takich nawozów dolistnych, które będą dostosowane do potrzeb poszczególnych roślin uprawnych w fazach szybkiego wzrostu i rozwoju. Ponieważ nawozy dolistne stosuje się dodatkowo, ich skład pierwiastkowy powinien uzupełniać niedostatek, lub zapobiegać niedoborom składników pokarmowych pobieranych przez rośliny z gleby (Łabuda 1998).

W okresie wegetacji roślin zaleca się stosowanie siarczanu (VI) magnezu (II), stanowiącego źródło magnezu dla roślin, który zapewnia prawidłowy wzrost i rozwój. (Krzywy 2000). Kolejnym zalecanym związkiem stosowanym przy tej formie dokarmiania roślin jest 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), jako źródło siarki i żelaza.

Najczęściej stosowanym makroskładnikiem do dolistnego dokarmiania roślin jest azot w postaci mocznika. Po oprysku roślin wodnym roztworem mocznika azot amidowy ulega w roślinie przemianom. Niezbędny do przemian azotu amidowego enzym (ureaza) występuje w tkankach roślinnych lub wytwarzany jest w liściach adaptacyjnie. Roślina wytwarza ten enzym po wnikięciu do liści azotu amidowego (Artyszak 2007). Roztwór wodny mocznika powoduje lepszą przepuszczalność naskórka roślin (kutikuli), zwiększa to pobieranie składników pokarmowych i polepsza działanie środków ochrony roślin. Grześkowiak (2003) uważa, że działanie mocznika z herbicydami i regulatorami wzrostu może okazać się szkodliwe dla roślin uprawnych. W myśl tej zasady istotne jest, aby dokarmianie dolistne z herbicydami stosować ostrożnie, zgodnie z instrukcjami.

Artyszak (2007) zwraca uwagę na oziębienie roztworu przy rozpuszczaniu mocznika w wodzie. Z tego względu autor zaleca rozpuszczanie mocznika w ciepłej wodzie, w celu uniknięcia stresu termicznego opryskiwanych roślin.

Stosowanie mocznika jako nawozu azotowego do oprysków jest szczególnie polecane ze względu na małe właściwości parzące, w porównaniu z saletrą amonową. Mocznik szybko (w przeciągu od 2 do 10 godz.) przenika do tkanki roślinnej. Zalecane stężenia roztworów wodnych mocznika są różne: dla ogórków $0,3 \div 0,4\%$, dla drzew owocowych $0,6 \div 1,0\%$, dla roślin zbożowych $5 \div 10\%$ (Koter 1987), a dla ziemniaków i buraków 6% (Grześkowiak 2003).

Zdaniem Czuby i in. (1996b) dolistne dokarmianie roślin powoduje lepsze wykorzystanie azotu przez rośliny (do 8%) oraz magnezu i mikroskładników. Czuba (1988) dodaje, że zwyczajki plonu nasion, po zastosowaniu mocznika, u bobiku szacuje się na $200\text{--}400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a u grochu na $340 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Następuje także zwiększenie plonów ziarna zbóż o $0,3 - 0,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, nasion rzepaku ozimego o $0,6 - 0,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a korzeni buraka cukrowego do $7,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Nawozem stosowanym najczęściej razem z mocznikiem, jest siarczan (VI) magnezu (II). W handlu dostępny jest 7 hydrat siarczanu (VI) magnezu (II) ($\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) zwany solą gorzką, który zawiera 16% magnezu i 13% siarki oraz hydrat siarczanu (VI) magnezu (II) ($\text{MgSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$) zawierający 26% magnezu i 22% siarki. Do dolistnego dokarmiania zbóż stosuje się 5-procentowy (wagowo) roztwór 7 hydratu siarczanu (VI) magnezu (II) lub 3-procentowy roztwór hydratu siarczanu (VI) magnezu (II) (czyli 5 lub 3 kg nawozu w 100 litrach cieczy) (Artyszak 2007, Czuba i in. 1996b).

Łączenie w jednym roztworze siarczanu (VI) magnezu (II) i mocznika jest bardzo korzystne, z uwagi na to, iż magnez ułatwia między innymi pobieranie azotu i przeciwdziała ewentualnym poparzeniom powodowanym przez zbyt wysokie stężenia stosowanych roztworów lub niekorzystnym warunkom pogodowym występującym w czasie suszy (Pojewska 2004). Aktualne zalecenia wskazują na efektywne zastosowanie takiej mieszaniny w uprawie roślin strączkowych dwukrotnie (na początku wzrostu wydłużeniowego łodygi i na początku pąkowania).

Z badań nad wpływem dolistnego dokarmiania roślin przeprowadzonych przez Boligłową (1994) wynika, że niezależnie od zastosowanej formy dokarmiania dolistnego, nie zanotowano zmian zawartości magnezu w bulwach ziemniaka. W doświadczeniu wykazano rozszerzenie stosunku K: (Ca + Mg) ponad wartość optymalną w bulwach obu porównywanych odmian ziemniaka po zastosowaniu dokarmiania dolistnego.

Nawożenie dolistne ziemniaka wpływa na zwiększenie efektywności nawożenia doglebowego, ograniczenie występowania chorób i poprawę jakości bulw (Bernat i Jabłoński 2001, Czuba i Mazur 1988, Gorlach 1996).

Pozytywne efekty uzyskano także w doświadczeniu Witka (1999). Przy stosowaniu trzykrotnego dokarmiania 8-procentowym roztworem mocznika łącznie z mikroskładnikami w trzech fazach rozwoju roślin (rozwój części nadziemnej, zwarcie międzyrzędzi, formowanie jagód), autor wykazał wzrost plonu bulw ziemniaka o 12,8%. Technika takiego sposobu nawożenia pozwoliła także na osiągnięcie większej zawartości skrobi o 2,4% oraz lepszej struktury plonu bulw. Badania te częściowo pokryły się z wnioskami uzyskanymi przez Grześkiewicza i Trawczyńskiego (1998a). W badaniach wykazali przyrost plonu bulw ziemniaka po zastosowaniu dolistnego dokarmiania, jednak autorzy ci stwierdzili, że, stosowane nawozy dolistne nie miały wpływu na zawartość skrobi.

Analizując literaturę od wielu lat obserwuje się wzrost zainteresowania nawożeniem dolistnym mikroskładnikami i jego korzystnym wpływem na plonowanie roślin strączkowych (Benedycka i Krause 1995, Czyż 1993, Kotecki 1990, Kulig i Ziółek 1996, Ziółek 1984). Należy przypuszczać także, że zastosowanie dolistnego dokarmiania roślin strączkowych azotem w okresie wypełniania nasion może pozwolić na wytworzenie dużego plonu, zwłaszcza w obecności magnezu mającego korzystny wpływ na intensywność fotosyntezy.

Stosowanie dokarmiania dolistnego zaleca się również w przypadku uprawy rzepaku ozimego. Zastosowanie siarczanu magnezu i mikroskładników na liść pozwala zapobiec niedoborom między innymi siarki i boru. Te dwa pierwiastki są niezwykle ważne dla tej rośliny z uwagi na to, iż siarka decyduje o walorach jakościowych tłuszczu, a niedobór boru objawia się zniekształceniem i zamieraniem pąka wierzchołkowego, nierównomiernością dojrzewania i wypełniania nasion (Pasikowski 1996).

W 3-letnim doświadczeniu polowym Szewczuk (2003) ocenił wpływ stosowania wybranych nawozów dolistnych (Rolvit-B, Plonvit R, roztwór hydrat siarczanu (VI) magnezu (II) i 10% roztwór mocznika) na przezimowanie i plony nasion rzepaku ozimego. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowane jednorazowo jesienią nawozy dolistne ograniczały straty roślin w okresie zimowym i wpłynęły na zwiększenie plonów nasion. Również zaaplikowany jednorazowo lub dwukrotnie w okresie wegetacji wieloskładnikowy nawóz dolistny Rolvit-B wywarł korzystny wpływ

na poszczególne elementy struktury plonu roślin, zwłaszcza liczbę łuszczyń na roślinie, liczbę nasion w łuszczykach pochodzących z pędów bocznych oraz masę 1000 nasion. Następstwem tego był istotny wzrost plonów nasion, większy w obiektach, w których stosowano roztwór Rolvitu-B z mocznikiem.

Pałka i in. (2003) wykazali, że dokarmianie dolistne w niewielkim stopniu różnicowało podstawowy skład chemiczny nasion rzepaku jarego. Zastosowany Agrosol R istotnie obniżył w nich zawartość włókna, w porównaniu ze stosowanym Ekolistem Standard i z obiektem bez nawożenia. Procentowa zawartość popiołu była istotnie większa po dokarmianiu dolistnym Agrosolem R niż w obiekcie kontrolnym. Czynniki nawozowe znacznie różnicowały wydajność tłuszczu i białka. Po zastosowaniu Mikrosolu R stwierdzono znacznie większą wydajność tłuszczu niż po aplikacji Agrosolu R, Plonvitu R i w obiekcie nie nawożonym. Większą zawartość białka ogólnego stwierdzono u nasionach rzepaku dokarmianego Agrosolem R. Plonvitem R i Ekolistem Standard niż w obiekcie kontrolnym. Badane odmiany odznaczały się zbliżoną zawartością białka i tłuszczu, natomiast miały istotnie zróżnicowany podstawowy skład chemiczny nasion.

Uzasadnione jest również stosowanie dolistnego dokarmiania w uprawie pszenżyta jarego (Warechowska i in. 2002). Autorzy wykazali wzrost zawartości azotu ogólnego i azotu białkowego po zastosowaniu odpowiedniej dawki mikroskładników w formie dolistnej.

Szewczuk i in. (2003) określili wpływ dokarmiania dolistnego na wielkość plonów i jakość szyszek chmielu. Uzyskane wyniki wskazały na istotny wpływ dolistnego dokarmiania chmielu na wielkość plonów szyszek (przeciętny wzrost o 20,5% w przypadku odmiany Lubelski i 11,3% - Marynka) oraz na tendencję wzrostową zawartości alfa-kwasów. Spośród ocenianych nawozów najlepsze wyniki uzyskano po zastosowaniu Chmiel-Vitu zawierającego 1,5% Zn oraz 8,4% Mg, 0,8% B i 0,03% Ti.

Z badań Barłoga i Grzebisza (1994) nad dolistnym dokarmianiem roślin uprawnych magnezem wynika, że metoda ta umożliwia uzyskanie większego plonu i poprawę jego jakości. Zdaniem autorów dolistne dokarmianie magnezem wiąże się również z jednoczesnym wprowadzeniem do roślin siarki.

Badania prowadzone w ostatnich latach wykazały, że poprzez dolistne dokarmianie roślin roztworami wodnymi wieloskładnikowych nawozów mineralnych o specjalnym składzie, istnieje możliwość wpływu na cechy jakościowe plonu.

Szczególnie zachęcające wyniki uzyskano w zmianach aminokwasowego składu białka ziarna pszenicy ozimej, co jest interesującą perspektywą dla tego zabiegu (Sztuder i Świerczewska 2002).

Niektóre doświadczenia wykazują brak różnic lub uzyskanie podobnych efektów w działaniu dolistnego dokarmiania i nawożenia doglebowego. Jednym z nich są badania Orlika i in. (2005), którzy wykazali, że obie formy nawożenia azotowego (doglebowa i dolistna) wpłynęły w podobnym stopniu na polepszenie struktury plonowania ziarna pszenicy ozimej, jarej i jęczmienia jarego. Autorzy wykazali również, że dodatkowe nawożenie azotem oraz stosowanie dolistnego dokarmiania tym pierwiastkiem roślin spowodowało wzrost procentowej zawartości białka w ziarnie zbóż.

Reasumując można powiedzieć, że prawidłowo i terminowo wykonany zabieg dolistnego dokarmiania roślin wykazuje szereg wymiernych zalet w porównaniu z niektórymi elementami tradycyjnej techniki nawożenia. Lepsze jest wykorzystanie azotu, magnezu, siarki i mikroskładników ze względu na równomierne rozmieszczenie ich na powierzchni liści. Ważne jest jednak zachowanie odpowiednich stężeń wszystkich związków chemicznych poprzez dobór prawidłowych nawozów płynnych. Podane zalety dolistnego dokarmiania roślin są jednak realne tylko w warunkach wysokiego poziomu agrotechniki, optymalnego odczynu gleby oraz prawidłowej zasobności gleb w fosfor, potas i magnez. Jest to zabieg uzupełniający podstawowe nawożenie przedsiewne lub pogłównie (Jankowski i Nowak, 1999).

Ponieważ dokarmianie dolistne roślin odbywa się przez liście, nawozy do tego przeznaczone muszą spełniać wysokie normy jakościowe. Bardzo ważna jest jakość i czystość używanych surowców.

Podsumowując można przytoczyć opracowanie Jodełki (2008), w którym ocenia dolistne dokarmianie, jako możliwość ciągłego uzupełnienia mikroskładników - pierwiastków niezbędnych dla roślin i zwierząt. Według autorki dolistne dokarmianie stwarza zdecydowanie większe możliwości ingerencji we wzrost i rozwój roślin, zwłaszcza podczas niekorzystnej pogody, czy też w wyniku wcześniejszych zaniedbań w nawożeniu.

1.5. Możliwości wykorzystania $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w różnych gałęziach gospodarki

Szereg odpadów z produkcji przemysłowej i komunalnej zdaniem Krzywego i Głowackiej (1998a) może być wykorzystana do nawożenia roślin, nie wpływając przy tym negatywnie na jakość oraz na żyzność i urodzajność gleb. Zawarta w odpadach substancja organiczna nabiera szczególnej wartości w świetle ujemnego bilansu próchnicy, bez której zdaniem Kosteckiej (2003), nie jest możliwe krążenie materii i przepływ energii przez ekosystemy. Wykorzystanie odpadów w procesie nawożenia i użyźniania gleb może przynieść znaczne efekty produkcyjne i ekologiczne (Baran i in. 1996, Baran i Turski 1995). Za rolniczym wykorzystaniem odpadów przemawia wiele argumentów, w tym także obniżenie kosztów utylizacji, czy zmniejszenie ilości odpadów (Borowik i in. 2004, Czyż i Kitczak 2004, Treffler 2004). Autorzy wykazali, że produkty odpadowe mogą stać się pośrednio lub bezpośrednio cennym związkiem wykorzystywanym jako nawóz.

Zakłady Chemiczne „Police” S.A., produkujące szereg nawozów wieloskładnikowych dla potrzeb rolnictwa, wytwarzają także biel tytanową (ditlenek tytanu, inaczej pigment). Biel tytanowa jest jednym ze strategicznych surowców w przemyśle farb i lakierów. Jest najlepszym białym pigmentem z powodu swoich unikalnych właściwości, takich jak zdolność rozpraszania światła i siła rozjaśniania, będąc jednocześnie chemicznie obojętnym oraz działającym stabilizująco w środowisku farb i lakierów. Jest też najlepszym z dostępnych chemikaliów posiadających cechę całkowitego krycia powłoki.

Najważniejszym odbiorcą TiO_2 jest sektor farb i lakierów. Pigment TiO_2 wykorzystywany jest ponadto w przemyśle tworzyw sztucznych, papierniczym oraz gumowym, włókienniczym i kosmetycznym. Zakłady Chemiczne „Police” SA są jedynym krajowym producentem bieli tytanowej.

Technologia otrzymywania tego związku z koncentratów ilmenitowych metodą siarczanową jest jedną z najbardziej uciążliwych dla producenta, przede wszystkim ze względu na bardzo duże ilości powstających odpadów poprodukcyjnych w przeliczeniu na jednostkę produktu (Kacalski i in. 1998). W procesie technologicznym wytwarzania bieli tytanowej otrzymuje się produkty uboczne: kwas siarkowy pohydrolityczny oraz 7- hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

W zależności od stosowanego surowca (rudy i koncentraty ilmenitowe o zawartości od 40 do 60% Ti_2O) przy wytwarzaniu 1 tony ditlenku tytanu otrzymuje się od 2 do 4 ton produktu ubocznego 7- hydratu siarczanu (VI) żelaza (II).

Do końca lat osiemdziesiątych jedynym sposobem postępowania z $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ było składowanie go na hałdach. Wiązało się z koniecznością budowy kolejnych składowisk. Poza aspektem ekologicznym takiego rozwiązania, przedsięwzięcie to wiązało się także z nakładami finansowymi (budowa i eksploatacja), a także z możliwością ujemnego oddziaływania na środowisko otaczające hałdę (Kacalski i in. 1998).

Przeprowadzone dotychczas badania wskazują, na szerokie możliwości wykorzystania $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Według Kacalskiego i in. (1998) 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) może stanowić nawet bez przetwarzania atrakcyjny produkt użyteczny (jako koagulant) w oczyszczalniach ścieków i w stacjach oczyszczania wód. Związek ten spełnia wymogi normy branżowej BN 89/6016 – 10.

Kolejnym procesem, w którym można wykorzystać powstały związek jest produkcja wysokiej jakości strączanych pigmentów żelazowych (Przepiera 1998, Przepiera i in. 1998). Pigmentami żelazowymi mogą być odpowiednie tlenki i hydroksotlenki żelaza (II) (getyt, hematyt lub magnetyt). 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II), zwany też „zieloną górą”, zagospodarowuje spółka „Kemipol”, opierając się na szwedzkiej technologii. Firma produkuje koagulanty nieorganiczne PIX i PAX przetwarzając rocznie 50 tysięcy ton 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Są to dobre środki strącające i koagulujące w procesach uzdatniania wody i oczyszczania ścieków. PAX nadaje się do uzdatniania wody pitnej. Warto przytoczyć badania Sołtysik (1998), w których autorka podaje sposób otrzymania pigmentowej żółci żelazowej z siarczanu (VI) żelaza (II) z wyeliminowaniem żelaza metalicznego jako surowca.

W badaniach Krupy i in. (1998), a także Skrzypka (1998) zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w budownictwie. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ jest podstawowym komponentem regulatora wiązania cementu i domieszek przyspieszających gęstnienie, wiązanie i twardnienie zapraw i betonów. 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) w postaci przekształconej występuje jako spoiwo żelazoanhydatowe lub podstawowy składnik zapraw w wytwarzaniu drobnowymiarowych prefabrykatów.

Według Skrzypka (1998) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ można wykorzystać także jako aktywny, lekki wypełniacz półsuchych lub suchych mieszanek tynkowo–szpachlowo–klejowych stosowanych w budownictwie.

Kaleńczuk (1998) wskazuje na możliwości wykorzystania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do produkcji nawozowego siarczanu potasowego i siarczanu amonowo – potasowego oraz otrzymania „wielosoli”, mających zastosowanie jako dodatek do zapraw obniżających temperaturę krzepnięcia betonu (antygen).

Inną drogą jest możliwość zastosowania siedmio hydratu siarczanu (VI) żelaza (II), a także monohydratu FeSO_4 i samej soli siarczanu (VI) żelaza (II) w żywieniu zwierząt jako komponentu do produkcji mieszanek odżywczych i paszowych (Kaleńczuk 1998).

W poszukiwaniu nowego, aktywnego katalizatora procesu utleniania SO_2 w roztworze Lewicki i Kałucki (1998) podjęli próbę zastosowania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w tym procesie. Na podstawie analizy procesu produkcyjnego autorzy stwierdzili, że sól ta charakteryzuje się stabilnością składu oraz zawiera domieszki soli innych metali (Mn, Cu, Cr, Ni, V oraz Ti) o zmiennej wartościowości, katalizujących utlenianie SO_2 w roztworze. 7 hydrat siarczan (VI) żelaza (II) może stać się aktywnym katalizatorem procesu absorpcji i utleniania $\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$.

Ponadto Siuta (1991) podaje, że $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ może być wykorzystywany jako zamiennik siarczanu glinu w przemyśle celulozowo–papierniczym.

Z Raportu Roczno z 2008 roku dotyczącego funkcjonowania Zakładów Chemicznych „Police” SA wynika, że uruchomiono instalację suszenia 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Inwestycja ta pozwoliła na zagospodarowanie produktu ubocznego w ilości 40 tysięcy ton rocznie.

Biorąc pod uwagę zmniejszające się zapasy siarki w wierzchniej warstwie gleb, spowodowane jej wypłukiwaniem, działaniami proekologicznymi i zmianą struktury produkcji nawozów mineralnych rozpoczęto badania nad możliwością wykorzystania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do celów nawozowych.

Ze wstępnych badań wynikało, że 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) stosowany dogłębnie w większości wariantów nawozowych zwiększył lub nie miał istotnego wpływu na wielkość plonów roślin. Pod wpływem tego produktu w roślinach zwiększyła się zawartość azotu, a tym samym białka ogólnego, a także siarki i żelaza. 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) nie miał wpływu na kształtowanie zawartości fosforu, potasu, wapnia i magnezu w roślinach testowych. Ważny jest również rezultat

obniżenia zawartości kadmu oraz w przeważającej większości wariantów doświadczeń ołowiu, niklu i cynku w testowanych roślinach (Krzywy i in. 1997, Krzywy i in. 1998, Krzywy i Głowacka 1998a,b, Krzywy i Jakubowski 2000, Krzywy J. 2001, Pasikowski 2000). Ponadto z niektórych badań wynika, że siarczany mogą ograniczać pobieranie niektórych metali ciężkich przez rośliny uprawne (Gębski i Mercik 1997, Krzywy i in. 1998).

Stosowany $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na tle nawozów mineralnych spowodował w roślinach testowych (mieszanka traw oraz rzodkiewka) rozszerzenie stosunku Fe: Mn w kierunku wartości optymalnej oraz zawężenie stosunku N: S w kierunku optymalnym (Krzywy E. i Krzywy J. 2001).

Rezultaty badań przeprowadzone przez Krzywy i in. (2003) wskazują, że mineralne nawozy wieloskładnikowe i stosowany na ich tle 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) wpływają na optymalne wartości stosunków jonowych K: Mg i K: (Mg + Ca). Nie mają wpływu na kształtowanie wartości stosunków jonowych Ca: P i Ca: Mg. Stosunek jonowy K: Ca w roślinach został rozszerzony ponad wartość optymalną.

Duża rozpuszczalność 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w wodzie (95%) skłoniła do podjęcia badań nad efektywnością jego działania w formie roztworu wodnego do dokarmiania dolistnego roślin.

Wyniki badań wykazały pozytywny wpływ 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na plony bulw ziemniaka, ziarna zbóż jarych oraz nasion rzepaku jarego (Bujnicka 2005). Wprowadzenie do wodnego roztworu mocznika, 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z reguły zwiększało plony testowanych roślin w porównaniu ze standardowym nawożeniem mineralnym stosowanym z dolistnym dokarmianiem wodnym roztworem mocznika.

Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w większości wariantów nie miało wpływu na kształtowanie zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w badanych roślinach. Stosowanie tej formy dokarmiania dolistnego pozwoliło na zwiększenie zawartości siarki i żelaza w badanych roślinach. Nastąpiło zawężenie stosunku N: S w bulwach ziemniaków i ziarnie zbóż jarych w kierunku wartości optymalnej (Krzywy i in. 2005a,b).

2. Zakres i metody badań

2.1. Lokalizacja doświadczenia

Doświadczenie polowe założono w roku 2004 na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu Szczecińskiego (woj. zachodniopomorskie) należącej do Akademii Rolniczej w Szczecinie (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie). Badania trwały do 2007 roku.

2.2. Charakterystyka chemiczna gleby użytej do badań

Doświadczenie założono na glebie brunatnej niecałkowitej, wytworzonej z piasku lekkiego pylastego klasy bonitacyjnej IV a, kompleksu przydatności rolniczej żytniego dobrego. Gleba charakteryzowała się następującym składem granulometrycznym: 59,1% piasku, 28,9% pyłu i 12% części spławianych.

W roku 2004 zostały przeprowadzone badania określające niektóre właściwości chemiczne gleby (tabela 1 i 2).

TABELA 1. Niektóre chemiczne właściwości gleby w warstwie 0 – 25cm

pH w 1 mol · dm ⁻³ KCl	Formy ogólne w g·kg ⁻¹ s.m.								Formy przyswajalne mg·kg ⁻¹ s.m. gleby			Formy rozpuszczalne w	
												0,5 mol · dm ⁻³ HCl	mg · kg ⁻¹ s.m.
	Corg.	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	P	K	Mg	Ca	S-SO ₄
6,1	8,44	0,81	1,23	5,12	0,24	2,16	0,15	0,31	64,2	114,5	53,2	35,0	12,7

Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że gleba, na której założono doświadczenie charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym, średnią zawartością fosforu i potasu przyswajalnego oraz wysoką magnezu przyswajalnego. Zawartość siarki w glebie była niska.

TABELA 2. Zawartość metali ciężkich w glebie w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. użytej do badań oraz liczby graniczne podawane przez Kabatę - Pendias i Pendias (1999)

Pierwiastek	Badana gleba	Dopuszczalne zawartości według Kabata-Pendias i Pendias (1999)
Zn	40,3	60
Cd	0,25	0,5
Ni	7,80	26
Pb	8,16	28
Mn	356,0	525
Cu	5,0	23

Zawartość metali ciężkich w glebie nie przekraczała wartości podanych przez Kabatę Pendias i Pendias (1999).

2.3. Charakterystyka warunków meteorologicznych w okresie badań

Charakterystyczną cechą klimatu województwa zachodniopomorskiego, z racji sąsiedztwa Bałtyku i Zalewu Szczecińskiego (klimat morski z kontynentalnym), jest duża zmienność warunków atmosferycznych. Zjawisko to, według Koźmińskiego i in. (2007), najczęściej związane jest z przemieszczaniem układów niżowych.

Warunki meteorologiczne panujące w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku w latach 2004 – 2007 oraz średnie za wielolecie (1962 – 2005) przedstawiono w tabelach 3 i 4.

Z danych dotyczących średnich wysokości temperatur powietrza, na przestrzeni lat objętych doświadczeniem, stwierdzono porównywalne wartości, choć nieco wyższe od wartości średnich za wielolecie. Natomiast suma opadów atmosferycznych była nieco niższa od średniej za wielolecie z wyjątkiem roku 2007, w którym wyniosła 752,8 mm.

TABELA 3. Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) w latach 2004 – 2007 oraz średnia z wielolecia 1962 – 2005 dla Rolniczej Stacji Doświadczalnej

Lata badań	Miesiące												Średnia
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2004	-3,1	1,8	4,5	9,4	13,1	15,9	17,9	19,8	13,9	9,6	4,4	2,7	9,1
2005	2,3	-1,1	2,0	9,2	13,1	15,8	19,4	16,6	15,5	10,1	4,2	1,2	9,0
2006	-5,5	-0,6	0,3	8,4	13,7	18,2	23,5	17,7	17,1	11,7	7,2	5,8	9,8
2007	4,9	1,5	6,7	9,9	14,9	18,3	18,4	18,6	13,3	7,7	3,4	2,0	10,0
Średnia	-0,3	0,4	8,5	9,2	13,7	17,0	19,8	18,2	15,0	9,8	4,8	2,9	
Średnia z wielolecia lata 1962-2005	-1,0	0,1	2,8	7,5	12,9	16,0	17,9	17,5	13,3	8,7	3,8	0,4	9,48

Z danych przedstawionych w tabeli 3 dotyczących temperatur powietrza wynika, że największymi średnimi miesięcznymi temperaturami obejmującymi lata 2004 – 2007 charakteryzował się miesiąc lipiec. Średnia miesięczna temperatura powietrza dla tego miesiąca wyniosła 19,8°C. W miesiącu sierpniu również odnotowano wysokie temperatury powietrza, których średnia wyniosła 18,2°C. Miesiąc styczeń natomiast był zdecydowanie najchłodniejszy. Miesięczna średnia temperatura w styczniu przypadająca na lata 2004 – 2007 wyniosła zaledwie -0,3°C.

Porównując te wartości ze średnią z wielolecia obejmującą lata 1962 – 2005 można zauważyć pewne podobieństwo. Najchłodniejszym miesiącem był styczeń, a najcieplejszymi – lipiec i sierpień, choć temperatury tych miesięcy były nieco niższe w stosunku do lat 2004 – 2007.

Średnie miesięczne temperatury powietrza przypadające na lata 2004 – 2007 charakteryzowały się wyższymi wartościami w stosunku do wielolecia. Wyjątek stanowi miesiąc czerwiec, którego średnia temperatura powietrza w wieloleciu była wyższa od średniej temperatury odnotowanej w latach 2004 – 2007.

Porównując średnie roczne temperatury powietrza przypadające na lata 2004 – 2007 obserwuje się minimalną tendencję wzrostową. Wraz z upływem lat średnie roczne temperatury powietrza zwiększały się. Najcieplejszym był rok 2007 ze średnią roczną temperaturą powietrza 10°C.

TABELA 4. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych (mm) w latach 2004 – 2007 oraz średnia z wielolecia 1961 – 2006 dla Rolniczej Stacji Doświadczalnej

Lata badań	Miesiące												Suma
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2004	43,4	43,3	44,2	20,7	39,5	61,0	69,8	47,2	33,5	40,0	52,8	35,6	531,0
2005	42,2	35,1	23,3	13,7	67,5	25,7	76,2	53,2	25,8	20,4	19,4	71,7	474,2
2006	12,4	32,4	32,7	21,8	42,7	23,2	7,3	104,0	38,4	25,1	61,2	27,4	494,6
2007	76,2	41,8	53,8	4,2	104,9	109,0	108,5	103,4	47,4	14,3	54,9	34,4	752,8
Średnia	43,5	38,1	38,5	24,6	63,6	54,7	81,9	76,9	36,3	25,0	47,1	42,3	
Średnia z wielolecia lata 1961-2006	35,1	27,3	33,7	35,6	50,4	59,0	63,8	56,1	47,3	38,2	41,5	41,5	563,2

W oparciu o dane, przedstawione w tabeli 4, dotyczące miesięcznych sum opadów atmosferycznych można stwierdzić, że w latach 2004 – 2007 najwięcej opadów odnotowano w miesiącu lipcu, a następnie sierpniu i maju. Średnie sumy opadów obejmujące lata 2004 – 2007 dla tych miesięcy wyniosły odpowiednio: 81,9mm, 76,9mm i 63,6mm. W miesiącu kwietniu i październiku było zdecydowanie najmniej opadów, których suma w poszczególnych latach wyniosła odpowiednio: 24,6mm i 25,0mm.

Porównując te dane ze średnią z wielolecia (1962 – 2006) można stwierdzić, że miesiącem z najwyższą średnią sumą opadów był lipiec. Natomiast w przypadku najniższej sumy opadów nie obserwuje się żadnych zależności między miesiącami. Najniższą sumą opadów w wieloleciu charakteryzował się miesiąc luty (27,3mm).

Rozważając roczne sumy opadów obejmujące lata 2004 – 2007 można zaobserwować stopniowy wzrost ilości opadów w poszczególnych latach badań.

Warunki pogodowe, obejmujące lata badań, przyczyniły się do różnic w wysokościach plonów testowych roślin. Najkorzystniejszym okazał się pierwszy rok doświadczenia, co przełożyło się na uzyskanie najwyższych plonów w przypadku wszystkich testowanych roślin. Wysokie plony roślin uzyskane w roku 2004 należy tłumaczyć korzystnymi dla danych upraw warunkami agrometeorologicznymi. Rośliny uprawne wykazują jednak różną reakcję na temperaturę i opady, stąd też najmniejszy plon bulw ziemniaka, ziarna pszenicy i pszenżyta uzyskano w trzecim roku badań, a dla nasion rzepaku był to rok drugi. Różnice te spowodowane były zróżnicowaniem

sum miesięcznych opadów atmosferycznych w czasie, gdy rośliny potrzebują optymalnego poziomu uwilgotnienia gleby. Najmniejszy plon uzyskany przez bulwy ziemniaka, ziarna pszenicy i pszenżyta wynikał z małej sumy opadów atmosferycznych w miesiącu maju, czerwcu i lipcu, a także następującymi po nich intensywnymi opadami w sierpniu. Dla nasion rzepaku najmniej urodzajnym okazał się rok drugi, jednak różnice w wartościach uzyskanych plonów w poszczególnych latach były porównywalne. Zjawisko to tłumaczyć można tolerancją rośliny na wielkość opadów atmosferycznych.

2.4. Schemat i prowadzenie doświadczenia

W tabeli 5 podano wielkość stosowanych dawek N, P i K pod poszczególne rośliny testowe (nawożenie standardowe).

Na tle nawożenia standardowego zostały wprowadzone następujące warianty dokarmiania dolistnego wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$:

I wariant – standardowe nawożenie mineralne pod daną roślinę,

II wariant - standardowe nawożenie mineralne pod daną roślinę + dokarmianie dolistne

I stężeniem roztworu wodnego 7 hydratemu siarczanu (VI) żelaza (II),

III wariant – standardowe nawożenie mineralne pod daną roślinę + dokarmianie dolistne

II stężeniem roztworu wodnego 7 hydratemu siarczanu (VI) żelaza (II),

IV wariant - standardowe nawożenie mineralne pod daną roślinę + dokarmianie dolistne wodnym roztworem mocznika,

V wariant - standardowe nawożenie mineralne pod daną roślinę + dokarmianie dolistne

I stężeniem roztworu wodnego 7 hydratemu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika,

VI wariant - standardowe nawożenie mineralne pod daną roślinę + dokarmianie dolistne

II stężeniem roztworu wodnego 7 hydratemu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika.

W tabeli 6 podano układ zmianowania roślin w doświadczeniu.

TABELA 5. Wielkość dawek czystego składnika N, P, K w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ stosowane pod poszczególne rośliny

Roślina	Wielkość dawek w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$			Razem
	N	P	K	
Ziemniaki	60	26	62	148
Pszenica ozima	80	22	62	164
Pszenica jara	80	22	62	164
Rzepak ozimy	100	35	100	235
Rzepak jary	80	22	75	177
Pszenżyto ozime	80	22	62	164
Pszenżyto jare	80	22	62	164

TABELA 6. Układ zmianowania roślin w doświadczeniu

Lata badań	Rośliny testowe			
	Ziemniaki	Pszenica jara	Rzepak jary	Pszenżyto jare
2004	Ziemniaki	Pszenica jara	Rzepak jary	Pszenżyto jare
2005	Pszenica ozima	Rzepak ozimy	Pszenżyto ozime	Ziemniaki
2006	Rzepak ozimy	Pszenżyto ozime	Ziemniaki	Pszenica ozima
2007	Pszenżyto ozime	Ziemniaki	Pszenica ozima	Rzepak ozimy

Ze względu na to, że doświadczenie założono wiosną 2004 r., wysiano odmiany jare pszenicy odmiany Eta, rzepaku odmiany Licosmos, pszenżyta odmiany Wanad, a także posadzono roślinę okopową – ziemniak odmiany Irga. W latach następnych, zgodnie z założeniami doświadczenia wysiano odmiany ozime pszenicy (Korweta), rzepaku (Bosman) i pszenżyta (Witon). W doświadczeniu posadzono ziemniaki odmiany Irga (tabela 6).

W tabeli 7 przedstawiono pokrycie azotu, fosforu i potasu w przeliczeniu na czysty składnik, zastosowany w formie Polifoski 6. Pod poszczególne rośliny zastosowano również mocznik, jako nawóz uzupełniający niedobory czystego składnika azotu.

TABELA 7. Pokrycie czystego składnika N, P i K w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w formie Polifoski 6 oraz niedobory azotu, które uzupełniono w formie mocznika

Roślina	Wysokość dawek w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$			Niedobór czystego składnika azotu w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, pokryty w formie mocznika
	N	P	K	
Ziemniaki	18	26	75	42
Pszenica ozima	15	22	62	65
Pszenica jara	15	22	62	65
Rzepak ozimy	24	35	100	76
Rzepak jary	18	26	75	62
Pszenżyto ozime	15	22	62	65
Pszenżyto jare	15	22	62	65

Zgodnie ze schematem badań stosowano dolistne dokarmianie roślin testowych wodnymi roztworami $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z dodatkiem mocznika. W tabeli 8 podano stężenia $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w roztworach wodnych, wielkość dawek roztworów wodnych $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ oraz terminy stosowania pod poszczególne rośliny. W tabeli 9 podano: wielkości dawek mocznika stosowanego pogłównie w formie granulowanej, wielkość dawek i stężenie mocznika oraz terminy dokarmiania dolistnego wodnym roztworem mocznika.

TABELA 8. Wielkość dawek w $\text{dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, stężenie w % i terminy stosowania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) pod poszczególne rośliny

Roślina	Termin stosowania	Dawka wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w $\text{dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	Stężenie roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w %	
			I	II
Ziemniaki	Wypuszczenie pędów bocznych	250	5,0	7,5
	10-14 dni po I oprysku	250	5,0	7,5
Zboża	Faza strzelania w źdźbło	250	5,0	7,5
	W fazie kłoszenia	250	5,0	7,5
Rzepak ozimy	Wysokość roślin 10-15 cm	250	6,0	9,0
	Faza zielonego pąka	250	6,0	9,0
Rzepak jary	Wysokość roślin 10-15 cm	250	5,0	7,5
	Faza zielonego pąka	250	5,0	7,5

Rośliny testowe dokarmiano wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w ilości $250 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Do przeprowadzenia doświadczenia użyto I stężenia $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (5% lub 6%) i II stężenia $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (7,5% lub 9%). Rośliny w każdej fazie rozwojowej opryskiwano dwukrotnie, tj. pierwszym i drugim stężeniem danego związku (tabela 8).

TABELA 9. Dodatkowe pogłowne nawożenie azotem w formie mocznika w postaci granulowanej i roztworu wodnego

Roślina	Termin stosowania	Forma granulowana		Forma roztworu wodnego		
		Dawka w czystym składniku N w kg·ha ⁻¹	Dawka w masie nawozu w kg·ha ⁻¹	Dawka w czystym składniku N w kg·ha ⁻¹	Stężenie w %	Dawka roztworu w dm ³ ·ha ⁻¹
Ziemniaki w wariantach 1, 2, 3	Gdy ziemniaki osiągną wysokość 20-25 cm	62,0	136,0	-	-	-
Ziemniaki w wariantach 4, 5 i 6	Wytworzenie pędów bocznych	-	-	6,9	6,0	250,0
	7-10 dni po pierwszym oprysku	-	-	6,9	6,0	250,0
	W czasie drugiego obredlania	48,2	104,8	-	-	-
Zboża ozime w wariantach 1, 2, 3	Wiosną w momencie ruszenia wegetacji	32,5	71,0	-	-	-
	W fazie strzelania w źdźbło	32,5	71,0	-	-	-
Zboża ozime w wariantach 4, 5 i 6	Wiosną w momencie ruszenia wegetacji	44,3	96,0	-	-	-
	W fazie strzelania w źdźbło	-	-	13,8	12,0	250,0
	W fazie kłoszenia	-	-	6,9	6,0	250,0
Zboża jare w wariantach 1, 2, 3	W fazie krzewienia	32,5	71,0	-	-	-
	W fazie strzelania w źdźbło	32,5	71,0	-	-	-
Zboża jare w wariantach 4, 5 i 6	W fazie krzewienia	44,3	96,0	-	-	-
	W fazie strzelania w źdźbło	-	-	13,8	12,0	250,0
	W fazie kłoszenia	-	-	6,9	6,0	250,0
Rzepak ozimy w wariantach 1, 2, 3	Wiosną w momencie ruszenia wegetacji	38	83	-	-	-
	10-14 dni później	38	83	-	-	-
Rzepak ozimy w wariantach 4, 5 i 6	Wiosną w momencie ruszenia wegetacji	48,4	105,0	-	-	-
	10-14 dni później	-	-	13,8	12,0	250,0
	W fazie zielonego pąka	-	-	13,8	12,0	250,0
Rzepak jary w wariantach 1, 2, 3	Po wschodach roślin	31,0	68,0	-	-	-
	10-14 dni później	31,0	68,0	-	-	-
Rzepak jary w wariantach 4, 5 i 6	Po wschodach roślin	34,4	75,0	-	-	-
	10-14 dni później	-	-	13,8	12,0	250
	W fazie zielonego pąka	-	-	13,8	12,0	250

W tabeli 10 podano charakterystykę chemiczną produktu ubocznego 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Skład chemiczny omawianego produktu wskazuje na to, że znajduje się w nim siarka (S) i żelazo (Fe), które według Krzywego i in. (1997, 1998), Krzywy (2001) i Pasikowskiego (2000) mogą stanowić źródło zaopatrzenia roślin w te pierwiastki. Rozpuszczalność 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w wodzie wynosi 95%.

Według Kabaty – Pendias i Pendias (1993) zawartość w tym produkcie metali ciężkich nie stanowi zagrożenia dla jakości zbieranych plonów.

Dane dotyczące koncentracji metali ciężkich w $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ wskazują, że produkt ten można stosować w rolnictwie, ponieważ zawarte w nim metale ciężkie nie przekraczają dopuszczalnych norm (Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Dz.U. 08.119.765)) (tabela 11).

TABELA 10. Charakterystyka chemiczna 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II)

Rodzaj oznaczenia	Odpad 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II)
N w %	n.s.
P_2O_5 w %	śląd.
K_2O w %	n.s.
MgO w %	0,6
CaO w %	0,07
S w %	11,80
Fe w %	20,96
Cd w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	1,34
Cu w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	1,42
Ni w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	3,89
Pb w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	8,98
Zn w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	13,33
pH H_2O	2,7

TABELA 11. Dopuszczalne normy metali ciężkich w nawozach organicznych, organiczno–mineralnych, organicznych, mineralnych, a także w organiczno-mineralnych i mineralnych środkach wspomagających uprawę roślin według Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Dz.U. 08.119.765). Dane w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

Rodzaj nawozu	Pierwiastek					
	Cr	Cd	Ni	Pb	Hg	As
Nawozy organiczne, organiczno-mineralne, a także organiczne i organiczno-mineralne środki wspomagające uprawę roślin	100	5	60	140	2	
Nawozy mineralne i środki wspomagające uprawę roślin pochodzenia mineralnego		50		140	2	50

Zabiegi agrotechniczne dotyczące terminów uprawy gleby, nawożenia, siewów lub sadzenia, ochrony roślin oraz ich zbioru wykonywano zgodnie z zaleceniami dobrej praktyki rolniczej.

2.5. Charakterystyka roślin i ich odmian w doświadczeniu

2.5.1. Ziemniak (*Solanum tuberosum*)

Do najważniejszych czynników, gwarantujących uzyskanie ekonomicznie uzasadnionych plonów o dobrej jakości bulw ziemniaka, a tym samym wpływających na opłacalność tego kierunku produkcji zalicza się optymalny poziom nawożenia, właściwie przeprowadzone zabiegi ochrony, zdrowy materiał sadzeniakowy i rozmieszczenie właściwej obsady roślin na polu (Raport Rolny 2008).

W Polsce uprawa ziemniaków możliwa jest na niemal wszystkich glebach, szczególnie na lżejszych oraz średnich. Na glebach zbyt ciężkich i wilgotnych ziemniaki nie udają się (gniąją). Zdaniem Jasińskiej i Koteckiego (1999a) ziemniak wymaga gleb niezbyt zwięzłych, pulchnych, przepuszczalnych, zapewniających dobre przewietrzanie. Najbardziej przydatne według autorów pod uprawę tej rośliny są gleby średnio zwięzłe, o składzie piasków gliniastych mocnych.

Jasińska i Kotecki (1999a) oceniają, że optymalne pH_{KCl} gleb wynosi 5,5–6,5. Spadek pH_{KCl} gleb poniżej 5 może powodować zahamowanie wzrostu i zmniejszenie plonu. Natomiast odczyn obojętny i alkaliczny gleb jest niekorzystny i sprzyja porażeniu bulw parchem zwykłym (*Streptomyces scabies*), powoduje obniżenie plonu i jego jakości (Zych 2005).

Ziemniak należy do roślin o umiarkowanych wymaganiach termicznych. Duży wpływ na plony ziemniaka ma odpowiednia ilość opadów i ich rozkład, gdyż zapewniają właściwe stosunki wilgotnościowe w glebie. Ziemniak jest powszechnie uznawany za roślinę wrażliwą na niedobory wody w glebie (Jasińska i Kotecki 1999a). Natomiast duża ilość ciągłych opadów w czerwcu i lipcu, chociaż sprzyja gromadzeniu plonu, to zdaniem Zycha (2005) jest jednocześnie czynnikiem sprzyjającym porażeniu plantacji zarazą ziemniaczaną (*Phytophthora infestans*).

Odmiana Irga zaliczana jest do średnio wczesnych, typu konsumpcyjnego ogólnoużytkowego (Szymczyk 2001). To typ rośliny łodygowo – liściowej, o zielonych liściach i białej barwie kwiatów. Bulwa charakteryzuje się kształtem okrągłoowalnym do owalnego, różowej skórce i kremowym miąższu.

Odmiana ta według Szymczyka (2001) odporna jest na mątwika ziemniaczanego, na wirusy Y i liściozwoju, jednocześnie bardzo podatna na zarazę liści.

Według Jasińskiej i Koteckiego (1999a) odmiana IRGA jest gatunkiem o średnich do dużych wymaganiach glebowych i wodnych i zawartości skrobi wynoszącej 14,4%.

2.5.2. Pszenica (*Triticum* L.)

Pszenica należy do zbóż z rodziny wiechlinowatych. Pochodzi z południowo-zachodniej i środkowej Azji. Oprócz jęczmienia jest najstarszym zbożem chlebowym uprawianym od co najmniej 6 tysięcy lat. Zajmuje pierwsze miejsce w światowej produkcji zbóż. Owocem jest ziarniak, który zawiera duże ilości skrobi, a także najwięcej białka i glutenu ze wszystkich gatunków zbóż. Roślina ta dostarcza także: estrogeny, ryboflawinę, tiaminę, niacynę, karoten, tokoferol. Bogata jest w związki mineralne (sodu, wapnia, potasu, magnezu, fosforu, siarki, żelaza) i witaminy B₁, B₂, D, E, K, PP (<http://manta.univ.gda.pl/~jbogalec/p.html>). Ziarno pszenicy jako surowiec chlebowy i paszowy ma znaczenie strategiczne.

Behnke i in. (1992) wykazali, że w wieloleciu 1989 – 1992 odmiana Eta była najwyższą plonującą. Stwierdzili, że o dużej wartości tej odmiany decyduje szereg innych korzystnych cech rolniczych, a między innymi: bardzo dobra sztywność słomy, niezła odporność na choroby oraz dobra (choć zmienna) wartość technologiczna ziarna. Odmiana Eta zaliczana jest do chlebowych klasy B. Roślina ta charakteryzuje się przeciętną wysokością i dużą odpornością na wyleganie. Jest także bardzo odporna na porastanie ziarna w kłosach. Odmiana ta daje dość duże, dobrze wyrównane ziarno o dużej zawartości białka (Szymczyk 2001). Roślina ta uprawiana jest w całym kraju i prawie na wszystkich rodzajach gleb. Wykazuje dużą tolerancję na suszę. Przy uprawie tej odmiany wymagany jest optymalny termin siewu, sprzyja to uzyskaniu bardzo dobrych plonów (Lewandowska 1993). Do Rejestru Odmian wpisana została w roku 1986.

Zgodnie z Listą odmian roślin rolniczych (1997) odmiana ozima pszenicy (Korweta) zaliczana jest do typu chlebowego. Wykazuje małą mrozoodporność i dość dobrą, choć zróżnicowaną odporność na choroby. Rośliny tej odmiany są wysokie,

o średniej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia odmiany Korweta jest późny, a dojrzewania średnio późny. Roślinę tę cechuje przeciętna odporność na porastanie w kłosie i duża liczba opadania. Walorem tej odmiany jest duża zawartość białka i glutenu. Do wad natomiast można zaliczyć średnią wydajność ogólną mąki i słabą plenność.

2.5.3. Rzepak (*Brassica napus*)

Rzepak jest rośliną wymagającą pod względem jakości gleby, warunków klimatycznych, przedplonu, nawożenia, zabiegów ochrony i staranności uprawy. To roślina, która ma duży potencjał plonotwórczy (Solan 2007). Według Jasińskiej i Koteckiego (1999b) wysokie plony tej rośliny zapewnia uprawa na glebach żyznych, zasobnych w próchnicę i wapń. Bardzo ważny jest odczyn gleby, najlepiej w granicach 6,5-7,2 pH. Rzepak wymaga starannej uprawy gleby i siewu nasion w optymalnym terminie.

Roślina ta charakteryzuje się dużą zmiennością plonowania. Rzepak ma duże wymagania pokarmowe, które muszą być pokryte z zasobów naturalnych gleb lub przez nawożenie. Rzepak pobiera duże ilości azotu, fosforu, potasu, wapnia, a także siarki. Z podstawowych mikroskładników rzepak potrzebuje manganu, cynku, boru, miedzi i molibdenu. Pierwiastki te powinny być przede wszystkim dostarczone do gleby, skąd mogą zostać pobrane przez korzenie. Część składników pokarmowych (azot, siarka i magnez oraz mikroskładniki) może być dostarczona w formie dokarmiania dolistnego. Rzepak w czasie mroźnych bezśnieżnych zim może wymarzać (Jasińska i Kotecki 1999b).

Odmiana rzepaku jarego Licosmos pochodzi z Niemiec, została zarejestrowana w Polsce w roku 1999. Jest to odmiana podwójnie ulepszona, populacyjna, średnio wczesna. Daje dość duże plony. Masa 1000 nasion wynosi 3,5g. Nasiona są drobne, zawierają jednak dużo tłuszczu. Natomiast zawartość glukozyolanów i białka jest stosunkowo niska. Rośliny tej odmiany są wysokie i mało podatne na wyleganie (Kozak 1999). To odmiana dość odporna na choroby grzybowe.

Bosman jest odmianą ozimą rzepaku, wpisaną do Rejestru Odmian w 2002r. To odmiana populacyjna, podwójnie ulepszona o podwyższonej zawartości białka w nasionach, dość dużym plonie nasion i tłuszczu (Szymczyk 2002). Zawartość

tłuszczu w nasionach pozwala na uzyskanie dużego plonu oleju surowego. Odmiana ta należy do średnio wczesnych, dojrzewających równomiernie, nie osypujących się. W doświadczeniach (COBORU) plonuje stabilnie, na poziomie 104% w stosunku do odmian wzorcowych. Jest odmianą intensywną. Rośliny odmiany Bosman są niewysokie i charakteryzują się silnym pokrojem, co sprawia, że niewylegnięty, stojący, dobrze wietrzony łan jest mniej podatny na atak chorób grzybowych (<http://hr-strzelce.pl/bosman.pdf>).

2.5.4. Pszenżyto (*Triticosecale*)

Pszenżyto jest nowym gatunkiem zboża, powstałym ze skrzyżowania żyta z pszenicą (Jasińska i Kotecki 1999a).

W Polsce uprawę pszenżyta na szeroką skalę rozpoczęto w połowie lat osiemdziesiątych. Powierzchnia uprawy i zbiory tego zboża charakteryzują się dużą dynamiką zmian. Aktualnie pszenżyto ma znaczący udział w strukturze zasiewów (Jaśkiewicz i Cyfert 2005).

Ziarno pszenżyta jest doskonałą paszą dla drobiu i trzody chlewnej. Zawiera więcej białka niż ziarno żyta, jest bardziej strawne niż ziarno pszenicy oraz zawiera dużo lizyny. Mąka z pszenżyta może być używana do wypieku chleba (Jasińska i Kotecki 1999a).

Odmiana Wanad została wyhodowana w ZDHAR Małyszyn i wpisana do rejestru odmian w 1997 roku (Dworakowska i Iwacewicz 2001). To średniej wysokości roślina, osiągająca według Lewandowskiej (1993) 108 cm wysokości i przeciętnej zawartości białka w ziarnie wynoszącej 13,0%. Termin kłoszenia jest dość wczesny, zaś termin dojrzewania późny. Wymagania glebowe tej odmiany są przeciętne, plonuje ona dobrze lub bardzo dobrze w całym kraju (Zych 1997). Najodpowiedniejsze są jednak gleby kompleksów żytniego bardzo dobrego oraz żytniego dobrego w dobrej kulturze. Zalecany przedplonem są rośliny okopowe na oborniku, strączkowe grubonasienne, motylkowate i mieszanki strączkowo – zbożowe. Odmiana ta charakteryzuje się dość dużą odpornością na wyleganie, plennością i zdrowotnością (Nita 2005).

Większość zarejestrowanych w Polsce odmian ozimych pszenżyta (w tym także Witon) ze względu na dość dużą mrozoodporność może być uprawiana na terenie

całego kraju (Jaśkiewicz 2006). Witon to odmiana wczesna, wpisana do Rejestru Odmian w 2002r. (Szymczyk 2002). Nita (2005) jest zdania, że odmianę Witon cechuje dobra tolerancja na zakwaszenie gleb, dobra odporność na choroby, między innymi na rdzę żółtą i dość duża odporność na wyleganie. Jest to roślina średniej wysokości, posiadająca ziarno o średniej masie, wyrównane, o podwyższonej zawartości białka (Nita 2005).

2.6. Metody analiz gleby i roślin oraz obliczeń statystycznych

2.6.1. Metody analiz gleb i roślin

W trakcie prowadzenia doświadczenia w każdym roku pobrano, z każdego powtórzenia, próbki roślin do analiz chemicznych. Z próbek pierwotnych sporządzono próbki średnie dla każdego wariantu nawozowego. Tak przygotowane próby roślin posłużyły do oznaczeń zawartości makroskładników oraz stosunków jonowych N: S, K: Ca, K: Mg, K: (Ca + Mg), Ca: P. Materiał roślinny spalono na mokro według metody podanej przez Ostrowską i in. (1991).

Przed założeniem doświadczenia w suchej masie gleby wykonano oznaczenia:

- pH gleby w 1M KCl potencjometrycznie wg Polskiej Normy PN – ISO 10390;
- węgiel organiczny metodą Tiurina;
- magnez, wapń, potas, żelazo ogółem metodą atomowej spektrofotometrii absorbcyjnej po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego (V) i nadchlorowego (VII) w stosunku 1: 1;
- fosfor ogółem metodą Burtona po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego (V) i nadchlorowego (VII) w stosunku 1: 1;
- azot i siarkę ogółem oznaczono analizatorem do analizy elementarnej CNS typu Vario Max, oznaczanie azotu ogólnego wg Polskiej Normy PN – ISO 11261;
- formy przyswajalne fosforu metodą Egnera-Riehma, po uprzedniej ekstrakcji w mleczanie wapnia, metodą kolorymetryczną wg Polskiej Normy PN – R – 04023;
- formy przyswajalne potasu metodą Egnera-Riehma, po uprzedniej ekstrakcji w mleczanie wapnia, metodą atomowej spektrofotometrii płomieniowej (ASA) wg Polskiej Normy PN – R – 04022;

- formy przyswajalne magnezu metodą Schachtschabela, po uprzedniej ekstrakcji w 0,0125 M CaCl_2 ;
- siarkę siarczanową metodą nefelometryczną używając do ekstrakcji fosforanowego roztworu w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ według Ensmingera.

W suchej masie badanych roślin oznaczono:

- azot metodą Kjeldahla po uprzedniej mineralizacji w stężonym kwasie siarkowym (VI) z mieszaniną selenową;
- fosfor metodą kolorymetryczną wg Burtona po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasów nadchlorowego (VII) i azotowego (V) w stosunku 3: 1;
- potas metodą fotometrii płomieniowej po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego (V) i nadchlorowego (VII) w stosunku 3:1;
- siarkę metodą „nefelometryczną”, po mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego (V) i nadchlorowego (VII) w stosunku 3:1;
- magnez, wapń i żelazo metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA), po uprzedniej mineralizacji prób w mieszaninie kwasów azotowego (V) i nadchlorowego (VII) w stosunku 3: 1.

2.6.2. Metody obliczeń statystycznych

Wyniki badań dotyczące wielkości plonów bulw ziemniaka, ziarna pszenicy i pszenżyta oraz nasion rzepaku, a także plonów roślin testowych przeliczone na jednostki zbożowe oraz zawartości i plonu skrobi w bulwach ziemniaka opracowano statystycznie posługując się analizą wariancji w układzie bloków losowych oraz w formie syntezy z badanych lat w modelu mieszanym. Porównanie wielokrotne średnich wykonano testem T-Tuckeya przy poziomie istotności $\text{NIR}_{0,05}$.

Średnie wyniki doświadczenia podano w tabelach dotyczących wielkości plonów (tabele 12, 13, 14, 15), wielkości plonów w przeliczeniu na jednostki zbożowe (tabela 16), a także zawartości i plonu skrobi (tabel 25 i 26).

Przy określeniu średnich wielkości plonów bulw ziemniaka, ziarna pszenicy, nasion rzepaku i ziarna pszenżyta uzyskanych w latach 2004-2007, wyrażonych w jednostkach zbożowych korzystano z testu Tuckey'a, w którym analizy statystyczne

opracowano na podstawie analizy wariancji dla dwuczynnikowego układu bloków losowych. Pierwszym badanym czynnikiem były rośliny, a drugim warianty nawozowe. Średnie wyniki dla efektów głównych, a także wyniki interakcji między poszczególnymi czynnikami doświadczenia przedstawiono w tabeli 16.

Skład chemiczny roślin opracowano za pomocą analizy wariancji w układzie bloków losowych, traktując lata jako powtórzenia. Zestawienie zawartości analizowanych pierwiastków przedstawiono w tabelach 18 – 24.

3. Wyniki badań

3.1. Plony roślin

3.1.1. Plon bulw ziemniaka

Wielkość plonów bulw ziemniaka, uzyskaną w trakcie prowadzonych badań, przedstawiono w tabeli 12 i na ryc. 1.

Średnie plony bulw ziemniaka uzyskane pod wpływem dolistnego dokarmiania rośliny testowej wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia wahały się w granicach od 18,4 do 34,9 t·ha⁻¹.

Rezultaty badań wskazują, że w trzecim roku prowadzenia doświadczenia (2006 r.) zebrano najmniejsze plony bulw ziemniaka. Zdecydowanie odbiegające od wielkości plonów uzyskanych w latach 2004 i 2005 (33,2 i 32,5 t·ha⁻¹). Różnica średniej wielkości plonów bulw ziemniaka w wymienionych latach była spowodowana zróżnicowaniem sum miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie największego zapotrzebowania ziemniaka na składniki pokarmowe i optymalnego uwilgotnienia gleby. W latach 2004 i 2005 suma miesięcznych opadów atmosferycznych w czerwcu i lipcu wyniosła odpowiednio 130,8 i 101,9 mm (średnia za wielolecie 122,8 mm). W 2006 r. w tym okresie suma opadów atmosferycznych wyniosła 30,5 mm. W roku 2007 średnie plony bulw ziemniaka były mniejsze, aniżeli w latach 2004 i 2005 i większe, aniżeli w roku 2006. Spowodowane to było nadmierną ilością opadów atmosferycznych, które w miesiącu czerwcu wyniosły 104,9 mm, w lipcu 109,0 mm i w sierpniu 103,4 mm.

Dolistne dokarmianie rośliny testowej 7 hydratem siarczanu (VI) żelaza (II) stosowane na tle standardowego nawożenia mineralnego średnio zwiększyło plon bulw ziemniaka o $3,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Statystycznie udowodnioną wyższą plonów bulw ziemniaka w stosunku do standardowego nawożenia mineralnego uzyskano jedynie pod wpływem II stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Analizując działanie stężeń wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ można stwierdzić, że pod wpływem II stężenia uzyskano większy plon bulw ziemniaka o $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu ze stężeniem I. Nie była to różnica istotna.

Dolistne dokarmianie rośliny testowej wodnym roztworem mocznika stosowane na tle standardowego nawożenia mineralnego zwiększyło plon bulw ziemniaka o $2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wzrost ten nie był istotny.

Stosując wodne roztwory 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika do dolistnego dokarmiania, uzyskano średnio większe plony bulw ziemniaka o $2,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu z wariantem, w którym użyto tylko wodnego roztworu mocznika. Statystycznie udowodnioną wyższą plonów bulw ziemniaka w stosunku do wodnego roztworu mocznika i standardowego nawożenia mineralnego uzyskano jedynie pod wpływem dolistnego dokarmiania II stężeniem wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Porównując działanie stężeń wodnych roztworów 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z dodatkiem mocznika można stwierdzić, że uzyskano większe plony bulw ziemniaka pod wpływem stężenia II. Były one większe o $0,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ bulw ziemniaka. Nie było jednak istotnych różnic pomiędzy działaniem obu stężeń (tabela 12, ryc. 1).

Reasumując można stwierdzić, że dolistne dokarmianie stężeniem II wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) wpłynęło istotnie na zwiększenie plonów bulw ziemniaka. Wprowadzenie do wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mocznika spowodowało zwiększenie plonów bulw ziemniaka w porównaniu z serią bez tego nawozu mineralnego. Z reguły dokarmianie dolistne wodnym roztworem zawierającym 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) (stężenie II) bez i z dodatkiem mocznika zwiększyło plony bulw ziemniaka w porównaniu ze stężeniem I (tabela 12, ryc.1). Różnice te były nieistotne.

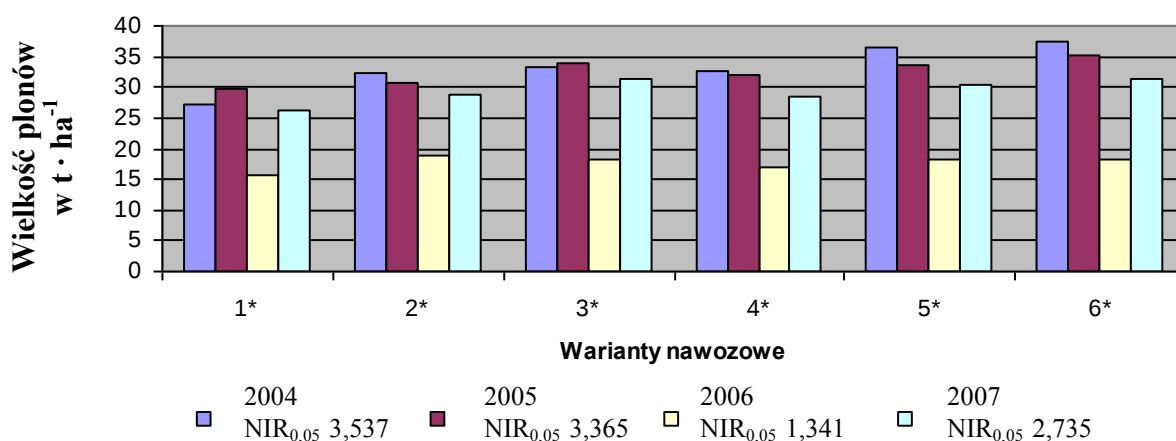
TABELA 12. Wielkość plonów bulw ziemniaka odmiany Irga uzyskanych w latach 2004-2007. Dane w t·ha⁻¹

Warianty nawozowe	Lata badań				
	2004	2005	2006	2007	Średnia
1*	27,3	29,7	15,8	26,1	24,7
2*	32,2	30,8	18,8	28,9	27,7
3*	33,4	33,8	18,3	31,3	29,2
4*	32,5	31,9	17,0	28,5	27,4
5*	36,6	33,5	18,2	30,5	29,7
6*	37,5	35,2	18,3	31,4	30,6
Średnia	33,2	32,5	17,7	29,5	28,2
NIR _{0,05}	3,537	3,365	1,341	2,735	3,063

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe:

1. Mineralne nawożenie standardowe
2. Nawożenie standardowe + I poziom dokarmiania dolistnego roztworem wodnym FeSO₄·7 H₂O
3. Nawożenie standardowe + II poziom dokarmiania dolistnego roztworem wodnym FeSO₄·7 H₂O
4. Nawożenie standardowe + dokarmianie dolistne roztworem wodnym mocznika
5. Nawożenie standardowe + dokarmianie dolistne roztworem wodnym mocznika + I poziom dolistnego dokarmiania wodnym roztworem FeSO₄·7H₂O
6. Nawożenie standardowe + dokarmianie dolistne roztworem wodnym mocznika + II poziom dolistnego dokarmiania wodnym roztworem FeSO₄·7H₂O

Wielkość plonów bulw ziemniaka odmiany Irga uzyskanych w latach 2004-2007



*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Ryc. 1. Wielkość plonów bulw ziemniaka odmiany Irga uzyskanych w latach 2004–2007

3.1.2. Plon ziarna pszenicy

Wielkość plonów ziarna pszenicy uzyskaną w trakcie prowadzenia doświadczenia przedstawiono w tabeli 13 i na ryc. 2.

Średnie plony ziarna pszenicy uzyskane pod wpływem dolistnego dokarmiania roztworem wodnym 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia wahały się w granicach od 4,38 do 5,88 t·ha⁻¹ (tabela 13, ryc. 2).

Rezultaty badań wskazują, że w latach 2004 i 2005 uzyskano większe plony ziarna pszenicy (odpowiednio 5,46 i 5,25 t·ha⁻¹), w porównaniu z latami 2006 i 2007 (odpowiednio 4,10 i 4,24 t·ha⁻¹). Wyniki te w dużej mierze wiążą się z układem warunków atmosferycznych okresu wegetacyjnego w poszczególnych latach badań. W latach 2004 i 2005 miesięczne sumy opadów w okresie wiosenno – letnim były zbliżone do średniej za wielolecie. Rok 2006 w okresie wiosenno – letnim (maj, czerwiec, lipiec) charakteryzował się wyraźnie mniejszą sumą opadów atmosferycznych (42,7; 23,2 i 7,3 mm), aniżeli za wielolecie. W 2007 roku w miesiącu kwietniu suma opadów atmosferycznych wyniosła 4,2 mm, a w następnych miesiącach było ich w nadmiarze (maj 104,9, czerwiec 109,0 i lipiec 108,5 mm). Nadmiar opadów utrudniał stosowanie dolistnego dokarmiania rośliny testowej oraz spowodował wypłukiwanie składników pokarmowych ze standardowego nawożenia mineralnego poza strefę korzeniową. W końcowej fazie dojrzewania pszenicy były trudności z jej zbiorem.

Dolistne dokarmianie pszenicy 7 hydratem siarczanu (VI) żelaza (II) stosowane na tle standardowego nawożenia mineralnego istotnie zwiększyło średni plon ziarna o 1,12 t·ha⁻¹. Zarówno pierwszy, jak i drugi poziom stężenia roztworu wodnego FeSO₄·7H₂O spowodował istotny wzrost plonów ziarna pszenicy w stosunku do wariantu standardowego nawożenia mineralnego.

Analizując działanie stężeń wodnego roztworu FeSO₄·7H₂O, można stwierdzić, że pod wpływem stężenia II uzyskano większy o 0,31 t·ha⁻¹ plon ziarna pszenicy w porównaniu ze stężeniem I. Wzrost ten był nieistotny.

Dolistne dokarmianie rośliny testowej wodnym roztworem mocznika na tle standardowego nawożenia mineralnego zwiększyło plon ziarna pszenicy o 0,6 t·ha⁻¹. Nie była to jednak różnica istotna.

Stosując dolistne dokarmianie pszenicy wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika na tle standardowego nawożenia mineralnego, uzyskano średnio większe plony ziarna o $0,83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w porównaniu z wariantem, w którym zastosowano nawożenie mineralne i dokarmianie dolistne wodnym roztworem mocznika. Zarówno pierwszy, jak i drugi poziom stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ spowodował istotny wzrost plonów ziarna pszenicy w stosunku do wariantu standardowego nawożenia mineralnego z roztworem wodnym mocznika.

Porównując działanie stężeń wodnych roztworów 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika można stwierdzić, że największe plony ziarna pszenicy uzyskano pod wpływem stężenia II ($5,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Były one większe o $0,14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ od plonów uzyskanych pod wpływem stężenia I. Różnica ta nie była istotna.

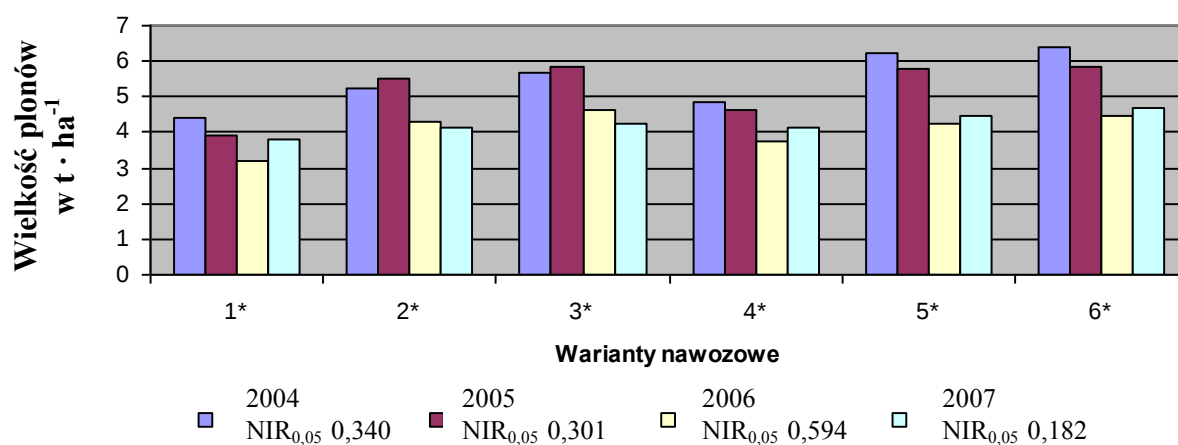
Reasumując można stwierdzić, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) wpłynęło istotnie na zwiększenie plonów ziarna pszenicy w porównaniu ze standardowym nawożeniem mineralnym. Roztwory wodne $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ stosowane wraz z mocznikiem istotnie zwiększyły plony ziarna pszenicy w porównaniu z serią bez tego nawozu. Z reguły roztwory wodne z II stężeniem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) stosowane bez i z udziałem mocznika zwiększyły plon ziarna pszenicy w porównaniu z serią z I stężeniem $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (tabela 13, ryc.2). Analizy statystyczne wykazały jednak brak istotności.

TABELA 13. Wielkość plonów ziarna pszenicy odmiany Eta uzyskanych w latach 2004-2007. Dane w $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$

Warianty nawozowe	Lata badań				
	2004	2005	2006	2007	Średnia
1*	4,40	3,90	3,21	3,80	3,83
2*	5,24	5,52	4,30	4,11	4,79
3*	5,66	5,82	4,65	4,26	5,10
4*	4,83	4,62	3,74	4,15	4,43
5*	6,23	5,78	4,27	4,49	5,19
6*	6,38	5,82	4,46	4,66	5,33
Średnia	5,46	5,25	4,10	4,24	4,76
NIR _{0,05}	0,340	0,301	0,594	0,182	0,712

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Wielkość plonów ziarna pszenicy odmiany Eta uzyskanych w latach 2004-2007



*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Ryc. 2. Wielkość plonów ziarna pszenicy odmiany Eta uzyskanych w latach 2004–2007

3.1.3. Plon nasion rzepaku

Wielkość plonów nasion rzepaku uzyskaną w trakcie prowadzonych badań, przedstawiono w tabeli 14 i na ryc. 3.

Średnie plony nasion rzepaku uzyskane pod wpływem dolistnego dokarmiania rośliny testowej wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia wahały się w granicach od 2,15 do 3,07 t·ha⁻¹.

Rezultaty badań wskazują, że w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia (2004 r.) zebrano największe plony nasion rzepaku (2,90 t·ha⁻¹) w stosunku do lat 2005, 2006 i 2007 (odpowiednio 2,04; 2,14 i 2,20 t·ha⁻¹). Różnice w wartościach średnich rocznych temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych spowodowały nieduże różnice w wielkościach uzyskanych plonów.

Porównywalne plony rzepaku uzyskane w toku badań tłumaczyć można tolerancją rośliny na wielkość opadów atmosferycznych, przy jednoczesnym zaznaczeniu, że w żadnym analizowanym roku nie wykazano niedoborów wody. Ponadto rzepak posiada korzeń palowy, mogący czerpać wodę i składniki pokarmowe w głębszych warstwach profilów glebowych.

Dolistne dokarmianie rośliny testowej wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) stosowanego na tle standardowego nawożenia mineralnego istotnie zwiększyło plon nasion rzepaku. Zarówno pierwszy, jak i drugi poziom stężenia roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ spowodował istotny wzrost plonów nasion rzepaku w stosunku do wariantu standardowego nawożenia mineralnego.

Analizując działanie stężeń wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ można stwierdzić, że pod wpływem II stężenia uzyskano większy plon nasion rzepaku o $0,11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu ze stężeniem I. Różnica ta była nieistotna.

Dolistne dokarmianie rośliny testowej wodnym roztworem mocznika stosowane na tle standardowego nawożenia mineralnego zwiększyło plon nasion rzepaku o $0,13 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Różnica ta była nieistotna.

Stosując wodny roztwór 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika do dolistnego dokarmiania uzyskano istotnie większe plony nasion rzepaku o $0,33 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, w porównaniu z wariantem, w którym użyto tylko wodny roztwór mocznika.

Porównując działanie stężeń wodnych roztworów 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z dodatkiem mocznika można stwierdzić, że uzyskano większe plony nasion rzepaku pod wpływem stężenia II. Były one większe o $0,06 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ nasion rzepaku w stosunku do plonów uzyskanych pod wpływem I stężenia (tabela 14, ryc. 3). Różnice plonów nasion rzepaku uzyskane pod wpływem I i II stężenia były nieistotne.

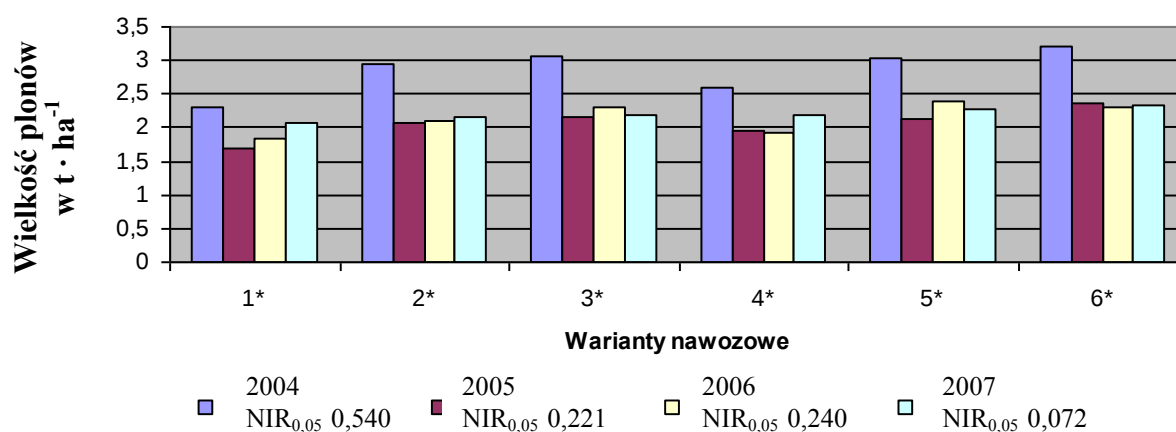
Reasumując można stwierdzić, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) istotnie wpłynęło na zwiększenie plonów nasion rzepaku. Wprowadzenie do wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mocznika spowodowało zwiększenie plonów nasion rzepaku w porównaniu z serią bez tego nawozu mineralnego. Z reguły dokarmianie dolistne wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) (stężenie II) bez i z dodatkiem mocznika zwiększyło plony nasion rzepaku w porównaniu ze stężeniem I (tabela 14, ryc.3). Różnice jednak nie były istotne.

TABELA 14. Wielkość plonów nasion rzepaku odmiany Licosmos uzyskanych w latach 2004-2007. Dane w t·ha⁻¹

Warianty nawozowe	Lata badań				
	2004	2005	2006	2007	Średnia
1*	2,54	1,67	1,83	2,08	2,03
2*	2,96	2,06	2,09	2,17	2,32
3*	3,06	2,17	2,29	2,19	2,43
4*	2,60	1,94	1,93	2,18	2,16
5*	3,04	2,14	2,38	2,28	2,46
6*	3,21	2,24	2,31	2,32	2,52
Średnia	2,90	2,04	2,14	2,20	2,32
NIR _{0,05}	0,540	0,221	0,240	0,072	0,227

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Wielkość plonów nasion rzepaków odmiany Licosmos uzyskanych w latach 2004-2007



*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Ryc. 3. Wielkość plonów nasion rzepaku odmiany Licosmos uzyskanych w latach 2004-2007

3.1.4. Plon ziarna pszenżyta

Wielkość plonów ziarna pszenżyta, uzyskaną w trakcie prowadzonych badań, przedstawiono w tabeli 15 i na ryc. 4.

Średnie plony ziarna pszenżyta uzyskane pod wpływem dolistnego dokarmiania rośliny testowej wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia wahały się w granicach od 4,50 do 6,55 t·ha⁻¹.

Rezultaty badań wskazują, że w trzecim roku prowadzenia doświadczenia (2006r.) zebrano najmniejsze plony ziarna pszenżyta ($4,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), odbiegające od wielkości plonów uzyskanych w latach 2004 i 2007 (odpowiednio $6,27$ i $5,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Różnica średniej wielkości plonów ziarna pszenżyta w wymienionych latach była spowodowana zróżnicowaniem sum miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie największego zapotrzebowania pszenżyta na wodę i składniki pokarmowe. Uzyskanie mniejszych plonów pszenżyta w 2006 roku w stosunku do pozostałych lat może być wynikiem zbyt niskich opadów w miesiącu czerwcu i lipcu, które wyniosły zaledwie $30,5 \text{ mm}$.

Według danych literaturowych średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych dla pszenżyta powinny wynosić około $30 - 40 \text{ mm}$ w miesiącu kwietniu oraz po około 60 mm w maju i czerwcu, kiedy to przypada krzewienie i okres strzelania w źdźbło. Optymalna suma opadów w lipcu dla pszenżyta kształtuje się na poziomie około 60 mm (Jasińska i Kotecki 1999a).

Dolistne dokarmianie rośliny testowej (pierwszym, jak i drugim stężeniem) 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) stosowanym na tle standardowego nawożenia mineralnego zwiększyło plon ziarna pszenżyta (o $0,94 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Analizując działanie stężeń wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ można stwierdzić, że pod wpływem II stężenia uzyskano większy plon ziarna pszenżyta o $0,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w porównaniu ze stężeniem I. Wzrost ten był nieistotny.

Dolistne dokarmianie rośliny testowej wodnym roztworem mocznika na tle standardowego nawożenia mineralnego istotnie zwiększyło plon ziarna pszenżyta (o $0,46 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Stosując wodne roztwory 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) (zarówno w pierwszym, jak i drugim stężeniu) i mocznika do dolistnego dokarmiania, uzyskano istotnie większe plony ziarna pszenżyta w porównaniu z wariantem, w którym użyto tylko wodny roztwór mocznika.

Porównując działanie stężeń wodnych roztworów 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z dodatkiem mocznika, można stwierdzić, że uzyskano większe plony ziarna pszenżyta pod wpływem stężenia II. Różnice nie były istotne (tabela 15, ryc. 4).

Reasumując można stwierdzić, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na tle standardowego nawożenia mineralnego istotnie wpłynęło na zwiększenie plonów ziarna pszenżyta. Wprowadzenie do wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mocznika spowodowało istotne zwiększenie plonów ziarna

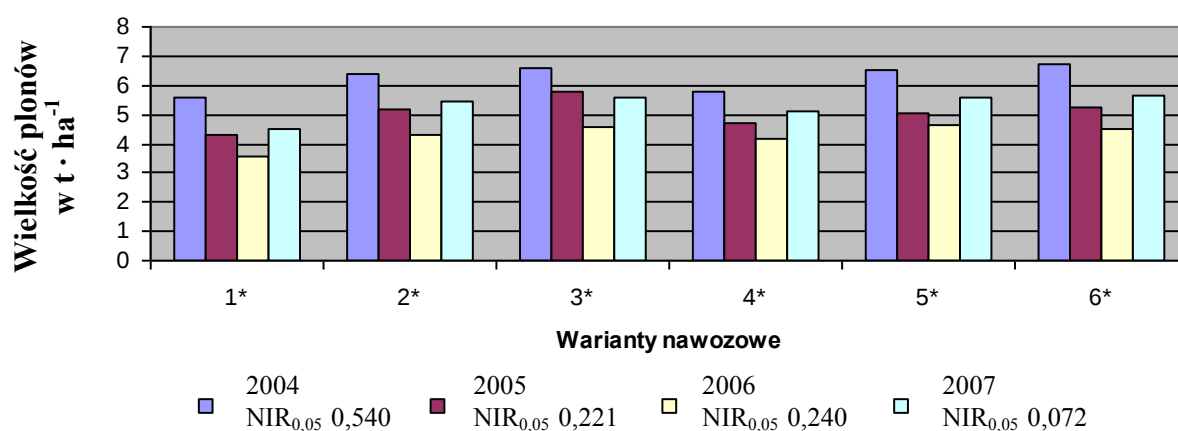
pszenżyta w porównaniu z serią bez tego nawozu. Z reguły dokarmianie dolistne wodnym roztworem zawierającym 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) (stężenie II) bez i z dodatkiem mocznika zwiększyło plon ziarna pszenżyta w porównaniu ze stężeniem I (tabela 15, ryc.4). Różnice były nieistotne.

TABELA 15. Wielkość plonów ziarna pszenżyta odmiany Wanad uzyskanych w latach 2004-2007. Dane w t·ha⁻¹

Warianty nawozowe	Lata badań				
	2004	2005	2006	2007	Średnia
1*	5,61	4,28	3,55	4,50	4,48
2*	6,39	5,21	4,28	5,45	5,33
3*	6,58	5,28	4,56	5,60	5,50
4*	5,79	4,70	4,14	5,11	4,94
5*	6,51	5,01	4,62	5,55	5,42
6*	6,73	5,23	4,53	5,65	5,54
Średnia	6,27	4,95	4,28	5,31	5,20
NIR _{0,05}	0,335	0,642	0,394	0,517	0,252

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Wielkość plonów ziarna pszenżyta odmiany Wanad uzyskanych w latach 2004-2007



*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Ryc. 4. Wielkość plonów ziarna pszenżyta odmiany Wanad uzyskanych w latach 2004-2007

Rezultaty czteroletnich badań wskazują, że najmniejsze plony bulw ziemniaka, ziarna pszenicy i pszenżyta, a także nasion rzepaku osiągnięto pod wpływem standardowego nawożenia mineralnego. Plony omawianych roślin pod wpływem dolistnego dokarmiania wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) były większe aniżeli na tle standardowego nawożenia mineralnego. Nie wszystkie różnice

były istotne. Zastosowanie wodnego roztworu mocznika spowodowało zwiększenie plonów roślin w stosunku do standardowego nawożenia mineralnego. Jednak tylko w przypadku plonów ziarna pszenżyta wzrost ten był istotny. Wodny roztwór $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z mocznikiem spowodował zwiększenie plonów roślin. Nie wszystkie rezultaty były udokumentowane statystycznie.

Omawiając działanie stężeń 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) należy zaznaczyć, że drugi poziom stężeń dał lepsze efekty w plonach wszystkich roślin testowych. Różnice w działaniu pomiędzy I i II stężeniem roztworu wodnego $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nie były istotne.

3.1.5. Plony roślin przeliczone na jednostki zbożowe

Plony roślin testowych przeliczono na jednostki zbożowe. Rezultaty zestawiono w tabeli 16.

Średni plon w jednostkach zbożowych z 1 ha za czteroletni okres badań wyniósł 54,2.

TABRLA 16. Plony roślin testowych wyrażone w jednostkach zbożowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Średnie za czteroletni okres badań	Warianty nawozowe	Badane rośliny				Średnia
		Ziemniaki	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto	
	1*	61,7	38,3	39,4	44,8	46,4
	2*	69,2	47,9	46,4	53,3	54,2
	3*	72,9	50,9	48,9	55,1	56,9
	4*	68,6	43,4	42,9	49,5	51,1
	5*	74,2	51,9	49,2	54,2	57,4
	6*	76,5	53,3	50,4	55,4	58,9
Średnia		70,6	47,6	46,4	52,0	54,2
NIR _{0,05} I czyn. (rośliny) - 5,439 II czyn. (warianty nawozowe) - 7,417 Interakcja IxII - n.i.						

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Omawiając średnie plony roślin wyrażone w jednostkach zbożowych w ujęciu czteroletnich badań można stwierdzić istotną zwyżkę plonów bulw ziemniaków w porównaniu z plonami pozostałych roślin. Różnica w plonach ziarna pszenicy i pszenżyta w przeliczeniu na jednostki zbożowe nie była istotna. Plon nasion rzepaku wyrażony w jednostkach zbożowych był istotnie mniejszy aniżeli ziarna pszenżyta.

Różnica między plonem nasion rzepaku, a ziarna pszenicy wyrażona w jednostkach zbożowych nie była istotna (tabela 16).

Rozpatrując warianty nawozowe na przestrzeni czterech lat badań można stwierdzić, że dolistne dokarmianie roślin testowych wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z dodatkiem mocznika istotnie zwiększyło plony w porównaniu z wariantem, w którym zastosowano tylko standardowe nawożenie mineralne.

Pod wpływem II stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ uzyskano większy plon roślin o 2,7 jednostki zbożowe w porównaniu ze stężeniem I. Różnica ta nie była istotna.

Dolistne dokarmianie roślin testowych wodnym roztworem mocznika stosowane na tle standardowego nawożenia mineralnego, średnio zwiększyło plon roślin testowych o 4,7 jednostki zbożowe. Różnica ta nie była istotna.

Różnica w działaniu na tle standardowego nawożenia mineralnego pomiędzy dokarmianiem dolistnym wodnym roztworem zawierającym I stężenie $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i mocznik, a wariantem w którym zastosowano tylko wodny roztwór mocznika w plonach roślin nie była istotna. Pod wpływem dokarmiania dolistnego wodnym roztworem II stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i mocznika uzyskano istotnie większy plon roślin testowych w porównaniu z wariantem, w którym stosowano wodny roztwór mocznika.

Roztwory wodne zawierające stężenia I i II $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z dodatkiem mocznika nie miały istotnego wpływu na zróżnicowania wielkości plonów roślin testowych wyrażonych w jednostkach zbożowych.

3.2. Skład chemiczny roślin

Wiele badań prowadzonych na temat nawożenia potwierdza fakt, iż wpływa ono nie tylko na wzrost plonów, ale także poprawia ich cechy jakościowe. Nawożenie jest jednym

z głównych, a według Fotymy i Mercika (1995) często najważniejszym środkiem niezbędnym do osiągnięcia wysokich plonów roślin.

W suchej masie roślin testowych oznaczono zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarki i żelaza (tabele 18 - 24). Ogólnie można stwierdzić, że zawartości oznaczonych pierwiastków w badanych roślinach były zbliżone

do średnich koncentracji publikowanych w piśmiennictwie naukowym (Krzywy i in. 2005b, Gorlach i Mazur 2002, Mercik i in. 2002, Panak 1995). W tabeli 17 przedstawiono średnią zawartość omawianych składników pokarmowych w roślinach uprawnych użytych w doświadczeniu według Panaka (1995).

TABELA 17. Średnia zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarki (w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) i żelaza (w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w roślinach uprawnych użytych w doświadczeniu (Panak 1995)

Roślina (część)	Azot (N)	Fosfor (P)	Potas (K)	Wapń (Ca)	Magnez (Mg)	Siarka (S)	Żelazo (Fe)
Pszenica ozima (ziarno)	18,6	3,8	4,0	0,4	1,3	1,5	51
Pszenica jara (ziarno)	21,2	4,4	3,6	1,3	1,7	-	100
Pszenżyto ozime (ziarno)	18,4	3,4	5,1	0,7	1,2	-	58
Rzepak ozimy (nasiona)	37,0	6,0	7,5	3,9	2,2	13,0	115
Ziemniak (bulwa)	13,8	2,4	23,2	0,8	1,3	1,9	118

3.2.1. Zawartość azotu

Zawartości azotu w roślinach testowych w poszczególnych wariantach nawozowych przedstawia tabela 18.

Najwięcej azotu zawierały nasiona rzepaku (średnio $28,3 \text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), a następnie ziarno pszenicy (średnio $16,1 \text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) i pszenżyta (średnio $16,0 \text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Najmniej azotu zawierały bulwy ziemniaka (średnio $13,3 \text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) (tabela 18).

Dokarmianie dolistne wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) zwiększyło zawartość azotu w roślinach testowych w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Różnice te były nieistotne. W nasionach rzepaku i ziarnie zbóż pod wpływem dokarmiania dolistnego roztworem wodnym 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) o II stężeniu uzyskano nieco więcej azotu aniżeli pod wpływem stężenia I. Różnica nie była istotna.

Roztwór wodny mocznika stosowany dolistnie na tle standardowego nawożenia mineralnego spowodował zwiększenie zawartości azotu w roślinach testowych. Były to różnice nieistotne. Dolistne dokarmianie roślin testowych wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika wpłynęło na zwiększenie zawartości

azotu w roślinach testowych w porównaniu z wariantem, w którym stosowano standardowe nawożenie mineralne i roztwór wodny mocznika. Uzyskane rezultaty nie były istotne.

Rośliny testowe dokarmiane dolistnie wodnym roztworem zawierającym II stężenie $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i mocznik zawierały najwięcej azotu w porównaniu z pozostałymi wariantami nawozowymi. Zawartość azotu w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i pszenżyta była istotnie większa, w porównaniu z wariantem, w którym zastosowano wodny roztwór mocznika i standardowe nawożenie mineralne.

Różnice w działaniu I i II stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z dodatkiem mocznika na zawartość azotu w roślinach testowych nie były istotne.

Tabela 18. Zawartość azotu w $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	12,8	15,5	27,3	15,4
2*	13,1	15,9	28,2	15,8
3*	13,1	16,1	28,6	15,9
4*	13,1	15,9	28,0	16,0
5*	13,6	16,6	28,8	16,2
6*	14,2	16,8	29,1	16,6
Średnia	13,3	16,1	28,3	16,0
NIR _{0,05}	0,852	0,815	1,363	0,591

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.2. Zawartość fosforu

Zawartości fosforu w roślinach testowych w poszczególnych wariantach nawozowych przedstawia tabela 19.

Najwięcej fosforu zawierały nasiona rzepaku (średnio $7,98 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), a najmniej bulwy ziemniaków (średnio $3,75 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). Średnia zawartość fosforu w ziarnie pszenicy wyniosła $4,05 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a pszenżyta $4,13 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tabela 19).

Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) niezależnie od stężenia, bez i z udziałem mocznika nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości fosforu w roślinach testowych. Dokarmianie dolistne roślin testowych wodnym roztworem mocznika na tle wariantu ze standardowym nawożeniem

mineralnym również nie miało istotnego wpływu na zawartość fosforu w roślinach testowych.

Tabela 19. Zawartość fosforu $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	3,75	4,04	8,18	4,05
2*	3,73	4,00	7,91	4,12
3*	3,79	4,06	7,94	4,20
4*	3,74	4,02	7,92	4,10
5*	3,77	4,08	7,97	4,16
6*	3,81	4,12	7,96	4,18
Średnia	3,76	4,05	7,98	4,13
NIR _{0,05}	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.3. Zawartość potasu

Zawartości potasu w roślinach testowych w poszczególnych wariantach nawozowych przedstawia tabela 20.

Najwięcej potasu zawierały bulwy ziemniaka (średnio $19,3 \text{ g K}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), a najmniej ziarno pszenicy (średnio $4,72 \text{ g K}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) i pszenżyta (średnio $4,46 \text{ g K}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Średnia zawartość potasu w nasionach rzepaku wyniosła $6,03 \text{ g K}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tabela 20).

Dolistne dokarmianie roślin testowych wodnym roztworem $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ niezależnie od stężeń oraz bez lub z dodatkiem mocznika nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości potasu w bulwach ziemniaka, ziarnie zbóż i nasionach rzepaku. Zastosowanie wodnego roztworu mocznika na tle wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym również nie miało istotnego wpływu na zawartość potasu w roślinach testowych.

Tabela 20. Zawartość potasu w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	19,1	4,57	5,98	4,40
2*	19,2	4,75	6,00	4,42
3*	19,4	4,77	6,02	4,65
4*	19,2	4,59	6,03	4,41
5*	19,5	4,78	6,08	4,44
6*	19,4	4,82	6,06	4,46
Średnia	19,3	4,72	6,03	4,46
NIR _{0,05}	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.4. Zawartość wapnia

W tabeli 21 przedstawiono zawartości wapnia w roślinach testowych uzyskane pod wpływem różnych wariantów nawozowych.

Najwięcej wapnia zawierały nasiona rzepaku (średnio $1,73 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Ziarno pszenżyta zawierało średnio $0,57 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a pszenicy $0,25 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. W bulwach ziemniaka średnio było $0,42 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tabela 21).

Dolistne dokarmianie wodnym roztworem $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ niezależnie od stężenia oraz bez i z dodatkiem mocznika nie miało istotnego wpływu na zawartość wapnia w bulwach ziemniaka, nasionach rzepaku i ziarnie pszenżyta. Różnice w działaniu I i II stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na zawartość wapnia w ziarnie pszenicy na tle wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym nie były istotne.

Wodny roztwór mocznika stosowany dolistnie nie miał istotnego wpływu na zwiększenie zawartości wapnia w ziarnie pszenicy w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Dolistne dokarmianie pszenicy II stężeniem wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z mocznikiem spowodowało istotne zwiększenie zawartości wapnia w ziarnie pszenicy w porównaniu z wariantem, w którym zastosowano standardowe nawożenie mineralne. Różnice w działaniu pomiędzy I i II stężeniem wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z mocznikiem na zawartość wapnia w ziarnie pszenicy nie były istotne (tabela 21).

Tabela 21. Zawartość wapnia w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	0,42	0,24	1,65	0,54
2*	0,42	0,25	1,72	0,56
3*	0,41	0,25	1,69	0,58
4*	0,41	0,25	1,66	0,56
5*	0,42	0,26	1,82	0,58
6*	0,43	0,27	1,83	0,60
Średnia	0,42	0,25	1,73	0,57
NIR _{0,05}	n.i.	0,023	n.i.	n.i.

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.5. Zawartość magnezu

Zawartości magnezu w roślinach testowych w poszczególnych wariantach nawozowych przedstawia tabela 22.

Najwięcej magnezu zawierały nasiona rzepaku (średnio $2,34 \text{ g Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Średnia zawartość magnezu w pozostałych roślinach testowych kształtowała się na następujących poziomach: ziarno pszenżyta $1,46 \text{ g Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., ziarno pszenicy i bulwy ziemniaka $1,22 \text{ g Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tabela 22).

Dolistne dokarmianie wodnymi roztworami 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) niezależnie od stężenia oraz bez i z udziałem mocznika nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości magnezu w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i nasionach rzepaku. Dokarmianie dolistne wodnym roztworem mocznika na tle wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym nie wpłynęło istotnie na zawartość magnezu w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i nasionach rzepaku.

Dolistne dokarmianie wodnym roztworem zawierającym II stężenie $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z mocznikiem wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości magnezu w ziarnie pszenżyta w stosunku do wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Działanie dolistnego dokarmiania roślin 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) stosowanego bez i z dodatkiem mocznika w pozostałych wariantach nawozowych nie miało istotnego wpływu na zawartość magnezu w ziarnie pszenżyta (tabela 22).

Tabela 22. Zawartość magnezu w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	1,19	1,14	2,30	1,43
2*	1,23	1,25	2,34	1,45
3*	1,19	1,25	2,35	1,46
4*	1,20	1,21	2,33	1,42
5*	1,23	1,25	2,38	1,48
6*	1,24	1,26	2,36	1,49
Średnia	1,22	1,22	2,34	1,46
NIR _{0,05}	n.i.	n.i.	n.i.	0,051

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.6. Zawartość siarki

Zawartości siarki w roślinach testowych w poszczególnych wariantach nawozowych przedstawia tabela 23.

Najwięcej siarki zawierały nasiona rzepaku (średnio $6,59 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), a następnie ziarno zbóż (średnio pszenica $2,13 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i pszenżyto $1,90 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Najmniej siarki zawierały bulwy ziemniaka (średnio $1,71 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) (tabela 23).

Wodny roztwór I stężenia $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nie miał istotnego wpływu na zwiększenie zawartości siarki w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i nasionach rzepaku, w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Zawartość siarki w ziarnie pszenżyta pod wpływem dokarmiania dolistnego roztworem wodnym I stężenia 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) uległa istotnemu się zwiększeniu. Stężenie II wodnego roztworu $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ spowodowało istotne zwiększenie zawartości siarki we wszystkich roślinach testowych, w porównaniu ze standardowym wariantem nawożenia mineralnego. Różnice w działaniu I i II stężenia roztworów wodnych $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na zawartość siarki w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i nasionach rzepaku nie były istotne. Istotnie więcej siarki zawierało ziarno pszenżyta po dokarmianiu II stężeniem wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II).

Dolistne dokarmianie roślin testowych roztworem wodnym mocznika nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości siarki, w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Stężenie I wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z mocznikiem istotnie zwiększyło zawartość siarki w ziarnie zbóż. Nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości tego pierwiastka w bulwach ziemniaka i nasionach rzepaku, w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym i dolistnym dokarmianiem wodnym roztworem mocznika. Stężenie II wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z mocznikiem istotnie zwiększyło zawartość siarki w bulwach ziemniaka oraz ziarnie zbóż. Nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości tego pierwiastka w nasionach rzepaku, w porównaniu ze standardowym nawożeniem mineralnym i dolistnym dokarmianiem wodnym roztworem mocznika.

Różnice w działaniu I i II stężenia wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika na zawartość siarki w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i nasionach rzepaku nie były istotne. Istotnie więcej siarki zawierało ziarno pszenżyta po dolistnym dokarmianiu wodnym roztworem II stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i mocznika (tabela 23).

Tabela 23. Zawartość siarki w $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	1,52	1,83	5,28	1,62
2*	1,74	2,07	6,66	1,84
3*	1,77	2,27	7,12	2,08
4*	1,57	1,92	6,31	1,66
5*	1,72	2,24	6,96	1,97
6*	1,92	2,43	7,22	2,24
Średnia	1,71	2,13	6,59	1,90
NIR _{0,05}	0,222	0,274	1,574	0,157

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.7. Zawartość żelaza

Zawartości żelaza w roślinach testowych w poszczególnych wariantach nawozowych przedstawia tabela 24.

Najwięcej żelaza zawierały bulwy ziemniaka (średnio $169,6 \text{ mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), a następnie nasiona rzepaku (średnio $126,4 \text{ mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). Ziarno zbóż średnio zawierało odpowiednio: pszenica $70,1 \text{ mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. i pszenżyto $71,3 \text{ mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tabela 24).

Dokarmianie dolistne wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ o stężeniu I i II istotnie wpłynęło na zwiększenie zawartości żelaza w ziarnie zbóż i nasionach rzepaku w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Roztwór wodny I stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ istotnie zwiększył zawartość żelaza w bulwach ziemniaka w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Stężenie II wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nie miało istotnego wpływu na zwiększenie zawartości żelaza w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i pszenżyta, w porównaniu ze stężeniem I. Pod wpływem II stężenia wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) istotnie zwiększyła się zawartość żelaza w nasionach rzepaku.

Dolistne dokarmianie roztworem wodnym mocznika na tle standardowego nawożenia mineralnego nie miało istotnego wpływu na kształtowanie zawartości żelaza w roślinach testowych, w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Dolistne dokarmianie I stężeniem wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z dodatkiem mocznika istotnie wpłynęło na zwiększenie zawartości żelaza w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenżyta i nasionach rzepaku w porównaniu z wariantem, w którym stosowano tylko wodny roztwór mocznika. Nie miało istotnego wpływu na zwiększenie zawartości żelaza w ziarnie pszenicy. Drugi poziom stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i mocznika nie miał istotnego wpływu na zwiększenie zawartości żelaza w bulwach ziemniaka i ziarnie zbóż w porównaniu ze stężeniem I. Jedynie pod wpływem II stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i mocznika istotnie zwiększyła się zawartość żelaza w nasionach rzepaku (tabela 24).

Tabela 24. Zawartość żelaza w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w roślinach testowych. Średnie za czteroletni okres badań (2004-2007)

Warianty nawozowe	Rośliny			
	Ziemniak	Pszenica	Rzepak	Pszenżyto
1*	117	53,2	109	55,8
2*	180	70,2	125	71,0
3*	177	80,5	135	79,0
4*	122	55,0	111	58,0
5*	190	76,8	133	80,0
6*	230	85,0	143	84,2
Średnia	169	70,1	126	71,3
NIR _{0,05}	60,53	16,94	9,42	13,65

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.8. Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka

Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka uzyskaną w latach 2004-2007 przedstawiono w tabeli 25.

Najwięcej skrobi zawierały bulwy ziemniaka w 2004r. (średnio 14,6%). W pozostałych latach prowadzenia doświadczenia średnia zawartość skrobi w bulwach ziemniaka wahała się w granicach od 10,6% (2006r.) do 11,8% (2005r.). Osiągnięcie większych zawartości skrobi w pierwszym roku badań, w stosunku do pozostałych lat, jest wynikiem wystąpienia bardziej korzystnych warunków atmosferycznych w okresie największego zapotrzebowania ziemniaka na wodę i składniki pokarmowe. W roku 2004 suma miesięcznych opadów atmosferycznych w czerwcu i lipcu wyniosła odpowiednio 61,0 i 69,8 mm i była porównywalna ze średnią za wielolecie. Pozostałe lata wykazywały w okresie wiosenno – letnim nadmiary lub też niedobory opadów atmosferycznych. Było to przyczyną uzyskania niższej zawartości skrobi w roślinie.

Średnia zawartość skrobi w poszczególnych wariantach nawozowych wahała się w granicach od 12,0 do 12,3%. Analiza statystyczna wykazała, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z dodatkiem mocznika nie miało istotnego wpływu na kształtowanie średniej zawartości skrobi w bulwach ziemniaka (tabela 25).

TABELA 25. Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka uzyskana w latach 2004-2007. Dane w %

Warianty nawozowe	Lata badań				
	2004	2005	2006	2007	Średnia
1*	15,0	11,4	10,7	11,2	12,1
2*	14,5	11,4	10,8	11,3	12,0
3*	14,8	12,1	10,4	11,5	12,2
4*	14,5	11,6	10,4	11,5	12,0
5*	14,5	11,8	10,5	11,5	12,1
6*	14,6	12,1	10,8	11,6	12,3
Średnia	14,6	11,8	10,6	11,4	12,1
NIR _{0,05}	0,551	0,490	n.i.	n.i.	n.i.

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.2.9. Plon skrobi

Wielkości plonów skrobi zebranych z bulwami ziemniaka przedstawiono w tabeli 26. Największy średni plon skrobi zebrany z bulwami ziemniaka uzyskano w 2004r. ($4,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), a najmniejszy w 2006r. ($1,88 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). W latach 2005 i 2007 średni plon skrobi wyniósł odpowiednio $3,82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $3,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tabela 26).

Zróznicowanie plonów bulw ziemniaka oraz niewielkie różnice w zawartości skrobi wskazują, że jej plon w większym stopniu był uzależniony od wielkości zebranych bulw.

Dokarmianie dolistne wodnym roztworem $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ o stężeniu I i II nie miało istotnego wpływu na zwiększenie plonów skrobi zebranych z bulwami w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Stosowanie dolistnego dokarmiania wodnym roztworem mocznika nie miało istotnego wpływu na zwiększenie plonu skrobi w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Dolistne dokarmianie ziemniaków wodnym roztworem $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ o stężeniu I i II z dodatkiem mocznika wpłynęło istotnie na zwiększenie średnich plonów skrobi, w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Nie miało istotnego wpływu w porównaniu z wariantem, w którym stosowano standardowe nawożenie mineralne i roztwór wodny mocznika.

Różnice w działaniu pomiędzy I a II stężeniem roztworów wodnych $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z dodatkiem mocznika na plony skrobi zebranej z bulwami ziemniaka nie były istotne (tabela 26).

TABELA 26. Plon skrobi zebrany z bulwami ziemniaka w latach 2004-2007.

Dane w $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$

Warianty nawozowe	Lata badań				
	2004	2005	2006	2007	Średnia
1*	4,10	3,40	1,69	2,92	3,03
2*	4,67	3,52	2,03	3,27	3,37
3*	4,32	4,08	1,91	3,60	3,48
4*	4,71	3,71	1,77	3,27	3,36
5*	5,31	3,97	1,92	3,50	3,68
6*	5,47	4,26	1,98	3,64	3,84
Średnia	4,87	3,82	1,88	3,36	3,46
NIR _{0,05}	1,410	0,454	0,205	0,459	0,558

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.3. Stosunki jonowe pierwiastków

Przy określaniu cech jakościowych roślin bardzo ważnym czynnikiem, obok zawartości w nich składników pokarmowych i związków chemicznych, jest stosunek jonowy pierwiastków. Prawidłowe stosunki jonowe pierwiastków gwarantują optymalny przebieg procesów biochemicznych zachodzących w roślinach oraz decydują o jakości zbieranych plonów (Krzywy i in. 2003).

3.3.1. Stosunek jonowy N: S

Z badań Czuby i Mazura (1988) oraz Metsona (1984) wynika, że optymalny stosunek N: S w roślinach przeznaczonych na cele paszowe i żywieniowe powinien się wahać w granicach 15 – 16: 1. Rozszerzenie stosunku jonowego N: S w roślinach powyżej 33: 1 nie pokrywa zapotrzebowania organizmów zwierzęcych i człowieka na siarkę. Zbyt wąski stosunek N: S poniżej 15: 1 jest niekorzystny dla roślin ponieważ nie mogą one w pełni wykorzystać uwalnianego przez mikroorganizmy glebowe azotu (Zawadzki 2006).

W roślinach krzyżowych, a zwłaszcza w nasionach rzepaku przeznaczonych do produkcji olejów stosunek jonowy N: S powinien wahać się w granicach 8 – 9: 1.

Uwzględniając warianty nawozowe zaobserwowano, że w bulwach ziemniaka oraz ziarnie pszenicy i pszenżyta wartość średnia stosunku jonowego N: S uzyskana pod wpływem standardowego nawożenia mineralnego była rozszerzona powyżej wartości optymalnej podanej przez Metsona (1984) oraz Czuby i Mazura (1988).

Dolistne dokarmianie roślin wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na tle wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym spowodowało zawężenie stosunku N: S w kierunku optymalnym. Wzrost stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w wodnym roztworze powodował dalsze zawężenie stosunku N: S do wartości optymalnej, tylko w przypadku ziemniaka i pszenicy.

Dokarmianie dolistne bulw ziemniaka, ziarna pszenicy i pszenżyta wodnym roztworem mocznika spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku N: S w kierunku wartości optymalnej w porównaniu ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Wodny roztwór 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z mocznikiem powodował w roślinach zawężenie stosunku N: S w kierunku optymalnym. Zastosowanie drugiego

stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ spowodowało dalsze zawężenie tego stosunku w kierunku optymalnym. Wartość optymalną stosunku jonowego N: S uzyskano tylko w przypadku ziarna pszenicy przy stosowaniu drugiego stężenia roztworu wodnego $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Średni stosunek jonowy N: S w nasionach rzepaku uzyskany pod wpływem różnych wariantów nawozowych wahał się w granicach od 9,7 do 10,9. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez udziału i z udziałem mocznika wpłynęło na zawężenie stosunku N: S w nasionach rzepaku w kierunku wartości optymalnej.

Tabela 27. Stosunek jonowy N:S w bulwach ziemniaka, nasionach rzepaku oraz ziarnie pszenicy i pszenżyta w latach 2004-2007

Roślina	Lata badań	Warianty nawozowe						Średnia
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	
ziemniak (bulwy)	2004	20,4	15,6	13,6	18,0	18,5	16,8	17,2
	2005	21,6	19,2	17,6	21,6	20,2	17,6	19,6
	2006	18,0	17,5	15,5	17,3	17,4	17,0	17,1
	2007	18,2	16,6	15,8	17,0	15,9	15,8	16,6
Średnia		19,5	17,2	15,6	18,5	18,0	16,8	17,6
pszenica (ziarno)	2004	20,7	17,5	16,2	19,4	17,4	15,6	17,8
	2005	20,2	19,0	18,1	21,2	17,0	16,0	18,6
	2006	16,3	15,6	14,5	15,8	15,1	14,8	15,4
	2007	19,6	17,9	15,8	18,9	18,6	16,2	17,8
Średnia		19,2	17,5	16,1	18,8	17,0	15,6	17,4
rzepak (nasiona)	2004	12,9	10,6	9,2	11,4	10,3	9,7	10,7
	2005	8,27	8,07	7,82	8,61	7,83	7,74	8,0
	2006	13,2	13,3	13,1	13,1	13,0	13,0	13,1
	2007	9,10	8,84	8,71	9,27	8,91	8,63	8,9
Średnia		10,9	10,2	9,70	10,6	10,0	9,80	10,2
pszenżyto (ziarno)	2004	23,0	19,2	16,2	22,3	20,	16,5	19,5
	2005	23,9	21,9	20,4	25,0	20,9	19,8	22,0
	2006	21,6	19,5	15,3	20,9	17,9	15,1	18,4
	2007	20,5	17,8	16,9	20,2	17,2	16,5	18,2
Średnia		22,2	19,6	17,2	22,1	19,0	17,0	19,5

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.3.2. Stosunek jonowy K: Ca

Optymalny stosunek jonowy K: Ca w roślinach powinien wynosić 2: 1 (Panak i Wojnowska 1982). Według Łabudy i in. (1992) optymalny stosunek jonowy tych pierwiastków w zbożach powinien być zbliżony do 4.

Omawiając warianty nawozowe stwierdzono, że w bulwach ziemniaka średni stosunek jonowy K: Ca wahał się w granicach od 24,5 do 26,0, a w ziarnie pszenicy

wartość średnia stosunku jonowego K: Ca wahała się między 10,0 a 10,6. Otrzymane wartości były znacznie większe od tych, które podają Panak i Wojnowska (1982) oraz Łabuda i in. (1992).

Uzyskane wyniki wskazują, że pod wpływem wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika nastąpiło rozszerzenie wartości stosunku jonowego K: Ca w bulwach ziemniaka powyżej wartości optymalnej. W ziarnie pszenicy średnie wartości stosunku jonowego K: Ca uległy nieznacznemu zawężeniu w kierunku wartości optymalnej tylko pod wpływem wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z dodatkiem mocznika.

W ziarnie pszenżyta wartość średnia stosunku jonowego K: Ca uzyskana pod wpływem standardowego nawożenia mineralnego była rozszerzona powyżej wartości optymalnej podanej przez Łabudę i in. (1992).

Dolistne dokarmianie pszenżyta wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na tle wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku K: Ca w kierunku optymalnym, ale tylko pod wpływem I stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Średnia wartość stosunku jonowego obu pierwiastków nie uległa zmianie po zastosowaniu II stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w stosunku do wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Dokarmianie dolistne pszenżyta wodnym roztworem mocznika spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku K: Ca w kierunku wartości optymalnej.

Wodny roztwór 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z mocznikiem powodował w ziarnie pszenżyta zawężenie stosunku jonowego K: Ca w kierunku optymalnym. Zastosowanie drugiego stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ spowodowało dalsze zawężenie tego stosunku.

Wartości stosunku jonowego K: Ca w ziarnie pszenżyta ulegały zawężeniu w kierunku optymalnym, jednak w żadnym z zastosowanych wariantów nawozowych nie uzyskano wartości optymalnej. Średnie wartości oscylowały w granicach od 4,2 do 4,6.

Średni stosunek jonowy K: Ca w nasionach rzepaku wahał się w granicach od 2,2 do 2,4. W oparciu o przedstawione dane, można stwierdzić, że zastosowany 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika nie miał wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: Ca w nasionach rzepaku.

Tabela 28. Stosunek jonowy K: Ca w bulwach ziemniaka, nasionach rzepaku oraz ziarnie pszenicy i pszenżyta w latach 2004-2007

Roślina	Lata badań	Warianty nawozowe						Średnia
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	
ziemniak (bulwy)	2004	17,4	16,2	16,2	16,5	16,2	15,3	16,2
	2005	32,5	31,6	31,4	31,0	31,7	30,9	31,5
	2006	25,1	26,6	32,8	32,8	30,9	30,9	29,8
	2007	23,1	23,9	23,4	22,6	21,9	22,1	22,8
Średnia		24,5	24,6	26,0	25,7	25,2	24,8	25,1
pszenica (ziarno)	2004	6,7	6,4	6,5	6,4	6,4	6,4	6,5
	2005	13,7	14,9	15,4	14,5	15,0	15,1	14,8
	2006	10,3	9,3	8,3	8,5	7,9	7,2	8,6
	2007	11,6	11,7	12,1	11,6	11,1	11,3	11,6
Średnia		10,6	10,6	10,6	10,2	10,1	10,0	10,4
rzepak (nasiona)	2004	1,1	1,0	1,0	1,1	0,9	0,9	1,0
	2005	2,5	2,5	2,3	2,4	2,3	2,3	2,4
	2006	3,3	3,4	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4
	2007	2,3	2,4	2,4	2,4	2,2	2,3	2,4
Średnia		2,3	2,3	2,3	2,4	2,3	2,2	2,3
pszenżyto (ziarno)	2004	3,9	3,6	3,7	3,8	3,6	3,6	3,7
	2005	4,0	3,9	3,6	4,0	3,9	3,6	3,8
	2006	7,1	6,4	7,5	6,7	6,5	6,5	6,8
	2007	3,4	3,5	3,7	3,3	3,3	3,2	3,4
Średnia		4,6	4,4	4,6	4,4	4,3	4,2	4,4

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.3.3. Stosunek jonowy K: Mg

Według Czuby i Mazura (1988), a także Metsona (1984) optymalny stosunek jonowy K: Mg w roślinach przeznaczonych na paszę powinien wynosić 6: 1. Taki stosunek jonowy wskazuje na możliwość pozyskania paszy o wysokich walorach jakościowych. Łabuda i in. (1992) są zdania, że optymalny stosunek tych pierwiastków w zbożach powinien być zbliżony do 4.

Analizując warianty nawozowe można stwierdzić, że w ziarnie zbóż i nasionach rzepaku nie uzyskano wartości optymalnej stosunku jonowego K: Mg.

W bulwach ziemniaka wartość średnia stosunku jonowego K: Ca uzyskana pod wpływem standardowego nawożenia mineralnego mieściła się w średniej granicy wartości optymalnej.

Dolistne dokarmianie testowej rośliny wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na tle wariantu ze standardowym nawożeniem mineralnym spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku K: Ca, ale tylko pod wpływem I stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Średnia wartość stosunku jonowego obu pierwiastków nie uległa zmianie

po zastosowaniu II stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym.

Dokarmianie dolistne ziemniaka wodnym roztworem mocznika spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku jonowego K: Mg w porównaniu z wariantem, w którym zastosowano standardowe nawożenie mineralne.

Dokarmianie ziemniaków wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z mocznikiem spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku K: Mg w bulwach.

Średni stosunek jonowy K: Mg w ziarnie pszenicy i pszenżyta, a także w nasionach rzepaku uzyskany pod wpływem różnych wariantów nawozowych wahał się w granicach od 0,8 do 1,2. Można stwierdzić, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika nie miało wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: Mg w tych roślinach.

Tabela 29. Stosunek jonowy K: Mg w bulwach ziemniaka, nasionach rzepaku oraz ziarnie pszenicy i pszenżyta w latach 2004-2007

Roślina	Lata badań	Warianty nawozowe						Średnia
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	
ziemniak (bulwy)	2004	4,5	4,3	4,5	4,6	4,7	4,6	4,5
	2005	6,0	6,0	6,2	5,9	6,0	6,0	6,0
	2006	5,1	4,8	5,1	5,1	4,6	4,6	4,9
	2007	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,2
Średnia		5,0	4,8	5,0	4,9	4,8	4,8	4,9
pszenica (ziarno)	2004	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	2005	1,6	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7	1,6
	2006	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7
	2007	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Średnia		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
rzepak (nasiona)	2004	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	2005	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1
	2006	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	2007	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5
Średnia		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
pszenżyto (ziarno)	2004	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	2005	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5
	2006	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
	2007	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7
Średnia		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

3.3.4. Stosunek jonowy K: (Ca+Mg)

Czuba i Mazur (1988), a także Falkowski i in. (1990) są zdania, że stosunek jonowy K: (Ca+ Mg) powinien być zbliżony do 1,62. Doniesienia piśmiennictwa wskazują, że stosunek jonowy K: (Ca+ Mg) w roślinach paszowych nie może być szerszy niż 2,2, ze względu na możliwość (zwłaszcza po przekroczeniu wartości 2,5) wystąpienia zachorowań u przeżuwaczy na tężyczkę pastwiskową (Jensen 1982, Grunesa i in. 1970). Ogólnie przyjmuje się, że stosunek K: (Ca+ Mg) w dobrej paszy powinien wahać się w granicach 1,6 – 2,2: 1.

Analizując warianty nawozowe stwierdzono, że w bulwach ziemniaka średni stosunek jonowy K: (Ca+ Mg) wahał się w granicach od 4,0 do 4,2. Otrzymane wartości były szersze od tych, które przedstawiają wymienieni autorzy. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez udziału i z udziałem mocznika nie miało wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: (Ca+ Mg) w bulwach ziemniaka.

Tabela 30. Stosunek jonowy K: (Ca+Mg) w bulwach ziemniaka, nasionach rzepaku oraz ziarnie pszenicy i pszenżyta w latach 2004-2007

Roślina	Lata badań	Warianty nawozowe						Średnia
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	
ziemniak (bulwy)	2004	3,6	3,4	3,5	3,6	3,6	3,5	3,5
	2005	5,1	5,0	5,2	5,0	5,1	5,0	5,1
	2006	4,2	4,0	4,4	4,4	4,0	4,0	4,2
	2007	3,5	3,5	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5
Średnia		4,1	4,0	4,2	4,1	4,0	4,0	4,1
pszenica (ziarno)	2004	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2
	2005	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5
	2006	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6
	2007	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Średnia		1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
rzepak (nasiona)	2004	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	2005	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8
	2006	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	2007	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Średnia		0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
pszenżyto (ziarno)	2004	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2005	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	2006	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6
	2007	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6
Średnia		0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Średni stosunek jonowy K: (Ca+ Mg) w ziarnie pszenicy i pszenżyta uzyskany pod wpływem różnych wariantów nawozowych wahał się w granicach 0,7 – 1,1: 1, a w nasionach rzepaku 0,5 – 0,6: 1. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika zbóż i rzepaku nie miało wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: (Ca+ Mg).

3.3.5. Stosunek jonowy Ca: P

Wapń i fosfor są najlepiej wykorzystywane przez organizmy zwierzęce, jeżeli ich wzajemne proporcje jonowe wynoszą 2: 1 (Czuba i Mazur 1988). Zdaniem Underwooda (1971) stosunek jonowy Ca: P może wahać się od 1: 1 do 7: 1, nie wywołując zaburzeń zdrowia zwierząt, pod warunkiem odpowiednio wysokiej zawartości obydwu składników w paszy.

Tabela 31. Stosunek jonowy Ca: P w bulwach ziemniaka, nasionach rzepaku oraz ziarnie pszenicy i pszenżyta w latach 2004-2007

Roślina	Lata badań	Warianty nawozowe						Średnia
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	
ziemniak (bulwy)	2004	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	2005	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	2006	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	2007	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Średnia		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
pszenica (ziarno)	2004	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	2005	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2006	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2007	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Średnia		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
rzepak (nasiona)	2004	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8
	2005	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	2006	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2007	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Średnia		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
pszenżyto (ziarno)	2004	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2005	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2006	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2007	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Średnia		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

*Objaśnienia liczb charakteryzujących warianty nawozowe podano pod tabelą 12

Wartość stosunku jonowego Ca: P w badanych roślinach niezależnie od formy nawożenia była wyraźnie zawężona. Średnie wartości stosunku Ca: P w bulwach ziemniaka i ziarnie pszenżyta wyniosły 0,2, a w ziarnie pszenicy 0,1. Najszerszy stosunek Ca: P uzyskano w nasionach rzepaku, który wyniósł 0,4. Dolistne dokarmianie 7 hydratami siarczanu (VI) żelaza (II) niezależnie od stężenia oraz bez i z dodatkiem mocznika nie miało wpływu na kształtowanie stosunku jonowego Ca: P w badanych roślinach.

4. Dyskusja

Dzisiaj nikogo już nie trzeba przekonywać o potrzebie stosowania nawozów. Prawidłowe nawożenie prowadzi do poprawy właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleb, co w rezultacie przekłada się na utrzymanie lub też zwiększenie w nich zawartości składników pokarmowych potrzebnych roślinom. Zdaniem Sady (2000) nawożenie jest integralną częścią agrotechniki, decydującej w największym stopniu o plonowaniu roślin. Tezę tę rozbudowuje Grześkowiak (2003), wskazując, że wysokie i jakościowo dobre plony są skutkiem dostarczenia roślinom składników pokarmowych w odpowiednich ilościach, terminach i we właściwej formie, a także poprawy żyzności gleby. Autor dodaje, że prawidłowe i optymalne nawożenie nie powoduje ujemnych skutków dla środowiska naturalnego.

Realizując zasady zrównoważonego rozwoju roślin Sztuder (2007) przypomina o zwiększeniu efektywności wykorzystywania składników nawozowych. Czuba (1998 i 2000), Górecki (2002) oraz Kamiński i Roszkowski (2001) szacują, że efektywność nawożenia może wzrosnąć o około 30%. Wiąże się to z optymalnym składem chemicznym nawozu, terminem i formą stosowania.

Wyraźne zmniejszenie ilości stosowanych nawozów naturalnych, w wyniku ograniczenia pogłowia zwierząt w gospodarstwach rolnych, a także nawozów mineralnych, z racji wysokich cen, prowadzi do zmniejszenia dopływu do gleb substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin. Przejawia się to niewystarczającym pobieraniem przez rośliny składników pokarmowych z gleb (Krzywy 2007a). Skutecznym zabiegiem może okazać się w tym przypadku system dolistnego dokarmiania roślin składnikami pokarmowymi.

Niezwykle trudna sytuacja, w jakiej znalazło się polskie rolnictwo zmusza właścicieli gospodarstw rolnych do wnikliwego ustalania priorytetów w zakresie zakupu i stosowania nawozów. Wiadomo jest, że wieloletnie przyzwyczajenia rolników preferują system nawożenia doglebowego, który nie zawsze gwarantuje uzyskanie ekonomicznie opłacalnych plonów o dobrej jakości.

Kolejnym problemem, bardzo istotnym z punktu widzenia przyrodniczo – ekologicznego są odpady, powstające w procesach technologicznych w przemyśle. Narastająca w środowisku masa odpadów składowana legalnie i nielegalnie lub też niewłaściwie stanowi ważny problem dla ochrony środowiska, nie tylko w Polsce, ale

także we wszystkich krajach świata (Wołoszyk i in. 2001). Problem racjonalnej gospodarki odpadami jest niezmiernie istotny, gdyż w ciągu ostatnich lat sukcesywnie zwiększa się ich ilość. Dążąc do zmniejszenia ilości odpadów podejmuje się wiele działań zmierzających do ich zagospodarowania. Wymogi Unii Europejskiej są jednoznaczne: wytworzone odpady mogą być utylizowane bądź przetwarzane i wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki bez ujemnego oddziaływania na środowisko. Takie postępowanie w wielu wypadkach może prowadzić do pozyskania cennych surowców bądź produktów nawozowych (Krzywy i Głowacka 1998a).

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty oczywistym wydaje się fakt podjęcia różnych działań zmierzających do zagospodarowania odpadów, a między innymi wykorzystanie ich do celów nawozowych. Działania te mają na celu pozyskanie nowych, tanich i bezpiecznych dla środowiska źródeł substancji organicznej oraz składników pokarmowych dla roślin. Odpady przeznaczone do celów nawozowych nie mogą szkodzić środowisku pod względem fizycznym, chemicznym i biologicznym (Dz.U. 08. Nr 119, poz. 765, Dz. U. 02. Nr 134, poz. 1140).

Spośród czterech głównych czynników (gleba, klimat, agrotechnika i postęp nauk biologicznych) mających wpływ na wielkość produkcji roślinnej najbardziej zmienne w czasie i przestrzeni są warunki meteorologiczne (Koźmiński i Michalska 2008). Zdaniem autorów udział warunków pogodowych w zmienności plonów waha się w Polsce od 40% do 60%, w zależności od kompleksu glebowego i poziomu agrotechniki.

Uzyskane rezultaty badań wskazują, że wielkość plonów roślin testowych w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia w dużym stopniu uzależniona była od wysokości temperatur i sum opadów. W roku 2004 panowały najbardziej optymalne warunki atmosferyczne dla wzrostu i rozwoju roślin i w tym roku uzyskano największe plony. Natomiast w roku 2006 rozkład opadów atmosferycznych i temperatur był najmniej korzystny dla wzrostu i rozwoju roślin. W tym też roku uzyskano najmniejsze plony bulw ziemniaka oraz ziarna zbóż.

Dokarmianie dolistne roztworem wodnym 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) zwiększyło plony wszystkich roślin w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Uzyskane zwwyżki plonów roślin testowych w większości wariantów doświadczenia zostały udokumentowane statystycznie. Zwiększenie plonów roślin testowych spowodowane było dodatkową dawką siarki i żelaza wniesionych z $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w formie dolistnego dokarmiania, a także niską zawartością siarki

w glebie. Wysoką efektywność nawożenia siarką jako wynik niedoboru tego składnika w glebach, stwierdziło wielu badaczy (Kaczor i Kozłowska 2000 za Bloem 1998, Krzywy 2005, Morris 1988). Pozytywny efekt działania siarki na plonowanie roślin krzyżowych wykazali Budzyński i Ojczyk (1995), Hocking i in. (1995), Krause i Bowszys (2000). Według Szulca i in. (2000) siarka pozytywnie oddziałuje na zwiększenie plonu nasion rzepaku jarego. Uzyskane wyniki potwierdzają wnioski wysunięte z doświadczeń przeprowadzonych przez Boratyńskiego i in. (1981), Bujnicką (2005), Czubę i in. (1986), Grześkowiaka (2003) oraz Krzywego i in. (2005a). Dodatkowo rezultaty te znajdują potwierdzenie w badaniach E. Krzywego i J. Krzywy (2004), J. Krzywy (2001), Pasikowskiego (2000) i Wołoszyka i in. (2000), którzy stwierdzili pozytywne oddziaływanie 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) stosowanego dogłębowo na zwiększenie plonów roślin uprawnych.

Analizując wielość plonów bulw ziemniaka, ziarna pszenicy i pszenżyta, a także nasion rzepaku, można stwierdzić, że w wyniku zastosowania dokarmiania dolistnego wodnym roztworem mocznika zwiększyły się plony roślin testowych w porównaniu ze standardowym nawożeniem mineralnym. Średnie różnice nie zawsze były istotne. Przyrost plonów roślin pod wpływem wodnego roztworu mocznika świadczy o wysokiej efektywności azotu stosowanego w formie dolistnej. Takie same wnioski dotyczące wzrostu plonu bulw ziemniaka pod wpływem stosowania dolistnego roztworu wodnego mocznika uzyskali Grześkiewicz i Trawczyński (1998a). Efekt plonotwórczy mocznika wynika z jego dobrego uwodnienia w roztworze, co zwiększa przepuszczalność kutikuli, a to z kolei przyczynia się do zwiększenia pobrania składników pokarmowych. Rezultaty te znajdują potwierdzenie w badaniach nad dolistnym dokarmianiem roślin mocznikiem prezentowanych przez Annę i in. (2003) i Sztuder (2007).

Wprowadzenie do wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) mocznika wpłynęło na zwiększenie plonów roślin testowych w porównaniu z wariantem, w którym stosowano tylko wodny roztwór mocznika. Uzyskane zwwyżki plonów roślin testowych za wyjątkiem ziemniaka były istotne. Zjawisko to wiąże się z lepszą przepuszczalnością kutikuli (działanie mocznika) w połączeniu z dodatkowym ładunkiem siarki i żelaza (działanie $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Wyniki badań pokrywają się z obserwacją E. Krzywego i J. Krzywy (2004). Autorzy stwierdzili, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ zwiększyło plony bulw ziemniaka, ziarna pszenicy i nasion rzepaku, a dodatek mocznika do tego roztworu

spowodował dalsze zwiększenie plonów wszystkich roślin. Potwierdzeniem tych wniosków były kolejne badania Krzywego i in. (2005a).

Trzeba zaznaczyć jednak, że we wszystkich obiektach z drugim stężeniem wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z udziałem mocznika uzyskano większe plony w porównaniu z poziomem pierwszym. Uzyskane różnice nie zawsze były istotne. Krzywy i in. (2005a) udowodnili, że efekt dolistnego dokarmiania 7 hydratami siarczanu (VI) żelaza (II) uzależniony od jego koncentracji w roztworze wodnym. Wyniki ich badań wskazują na wzrost plonów bulw ziemniaka, ziarna pszenicy ozimej i nasion rzepaku ozimego przy stężeniach wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w granicach od 5% do 7,5%.

Wydajność produkcji roślinnej, wyrażona w jednostkach zbożowych jest ważnym kryterium oceny poziomu rozwoju rolnictwa i miarą poziomu kultury rolnej (Krasowicz 2002). Przeprowadzone badania dają możliwość porównania wielkości plonów roślin wyrażonych w jednostkach zbożowych. Uzyskano istotnie większe plony bulw ziemniaka w porównaniu z plonami pozostałych roślin. Istotnie największy plon uzyskano w przypadku plonów bulw ziemniaka (70,56 j. zb.), natomiast plon rzepaku charakteryzował się najmniejszą wartością (46,23 j. zb.). Uzyskany plon nasion rzepaku nie był istotnie mniejszy w porównaniu z plonami ziarna pszenicy (47,6 j. zb.). Istotnie wzrosły plony roślin testowych po zastosowaniu wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w porównaniu ze standardowym nawożeniem mineralnym. W dostępnej literaturze brak jest danych dotyczących wpływu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na wielkości plonów roślin wyrażonych w jednostkach zbożowych. Brak jest zatem poziomu odniesienia.

W pracy Zimnego i in. (2005) wykazano, że produktywność płodozmianu: burak cukrowy – pszenica jara – jęczmień ozimy, wyrażona w jednostkach zbożowych, zależała tylko od poziomu nawożenia azotowego. Przeprowadzone badania nie wykazały istotnego wpływu roztworu wodnego mocznika na plony roślin wyrażone w jednostkach zbożowych. W literaturze spotyka się badania, których wyniki wskazują na wzrost plonu roślin w jednostkach zbożowych po zastosowaniu w zmianowaniu dawki obornika (Cwojdzinski i Nowak 2002), a także słomy i nawozów zielonych (Adamiak i Stępień 2005).

Wiele badań wskazuje, że nawożenie nie tylko wpływa na wzrost plonów roślin, ale także na poprawę ich cech jakościowych. Czuba i Mazur (1988) jako miarę efektywności nawożenia określają zarówno przyrost plonu roślin, jak i ich jakość.

W celu uzyskania plonów o dobrej jakości należy stosować nawozy w odpowiednich dawkach, formach i fazach rozwojowych roślin. Ich optymalny poziom decyduje o dobrym odżywianiu roślin, stabilnym i ekonomicznie uzasadnionym plonie o dobrej jakości (Gondek i Filipek – Mazur 2006). Rośliny najczęściej potrzebują azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarki oraz niektórych mikroskładników. Pierwiastki te należą do niezbędnych w żywieniu roślin, a tym samym i zwierząt, spełniając w ich organizmach różne funkcje w procesach przemian biochemicznych i biologicznych.

Czuba i Mazur (1988) choć są zdania, że nawożenie należy do czynników najsilniej oddziałujących na jakość plonów, to jednak podkreślają, że nie jest to czynnik wyłączny. Obok nawożenia w dużej mierze na jakość plonów mają wpływ genetyczne właściwości i wiek roślin, zasobność gleb w składniki pokarmowe, warunki wodne i przedplon.

Jakość plonu roślin z kolei wpływa na wartość pokarmową produktów zwierzęcych (Gondek i Filipek-Mazur 2006). Niedobór pierwiastków w konsekwencji prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu całego organizmu (Jędrzejczak i in. 1999).

Zawartość azotu w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i pszenżyta oraz nasionach rzepaku mieściła się w granicach średnich podanych przez Gorłacha i Mazura (2002), Mercika i in. (2002) oraz Panaka (1995). Zawartość azotu w poszczególnych roślinach była zróżnicowana. Zastosowanie wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do dokarmiania dolistnego bez i z dodatkiem mocznika wpłynęło na wzrost zawartości azotu w testowych roślinach. Średnie różnice pomiędzy wariantami nawozowymi z reguły były nieistotne. Z badań Krzywego i in. (1997, 2005b) wynika, że po dogłębowym zastosowaniu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w roślinach testowych zwiększyła się zawartość azotu. Zjawisko to związane jest prawdopodobnie z działaniem siarki, a także azotu. Pierwiastki te biorą udział w organizmie roślinnym w wielu tych samych procesach biochemicznych. Niedobór siarki w roślinach wpływa istotnie na ograniczenie syntezy białka oraz niektórych aminokwasów (treonina, metionina, cystyna, fenyloalanina, lizyna i tryptofan) (Koter 1987). Dlatego rośliny pobierając siarkę jednocześnie pobierały większe ilości azotu. Działanie siarki, skutkujące wzrostem azotu, mogło być również spowodowane niską jej zawartością w glebie w momencie zakładania doświadczenia. Podobne prawidłowości uzyskali również Krzywy i Głowacka (1998a,b). Autorzy wskazali na wzrost zawartości azotu w mieszance rekultywacyjnej traw i liściach rzodkiewki pod wpływem dogłębowego

stosowania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Wołoszyk i in. (2000) również zaobserwowali niewielki wzrost azotu w mieszance traw po doglebowym zastosowaniu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Azot jest pierwiastkiem najsilniej wpływającym na wielkość plonu u roślin. Jego niedobór w glebie, zdaniem Gorlacha i Mazura (2002) ogranicza plonowanie roślin. Z drugiej strony nadmiar tego pierwiastka w roślinie powoduje obniżenie jakości uzyskiwanych plonów. Nadmiar azotu w dużej mierze wywołany jest zbyt obfitym nawożeniem azotowym (Mercik i in. 2002), co ma szczególne znaczenie w uprawie warzyw (Orłowski i Kołota 1999, Sady 2000).

Zawartość fosforu w roślinach testowych nie przekroczyła norm podanych w literaturze (Gorlach i Mazur 2002, Mercik i in. 2002 oraz Panak 1995). Organizm roślinny powinien być zaopatrzony w optymalne ilości fosforu już w pierwszych tygodniach wzrostu i rozwoju. Krzywy (2007b) uważa, że dokarmianie roślin fosforem w późniejszym czasie przynosi niewielkie efekty. Uzyskane rezultaty wskazują, że dokarmianie dolistne wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika, jak również wzrastające stężenia nie miały większego wpływu na kształtowanie zawartości fosforu w badanych roślinach w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym. Wyniki te znajdują potwierdzenie w badaniach Krzywego i in. (1997, 2005b). Mercik i in. (2002) są zdania, że fosfor stosowany doglebowo wykazuje działanie plonotwórcze poprzez lepszy rozwój systemu korzeniowego, przyspiesza dojrzewanie roślin oraz zwiększa ich odporności na niekorzystne warunki (np. suszę, mróz). Gorlach i Mazur (2002), a także Sady (2000) określają jony fosforanowe jako silnie związane w związki trudno rozpuszczalne o małej przyswajalności dla roślin.

Zawartość potasu w testowych roślinach nie przekroczyła wartości podawanych w literaturze (Boratyński i in. 1988, Gorlach i Mazur 2002, Mercik i in. 2002 oraz Panak 1995). Zaopatrzenie roślin na potas jest stosunkowo duże, zważywszy na fakt, iż pierwiastek ten nie spełnia roli budulcowej i nie wchodzi w skład związków organicznych (Gorlach i Mazur 2002). Zdaniem Krzywego i in. (1997) intensywne nawożenie potasowe może stać się przyczyną zbyt dużego pobierania tego pierwiastka przez rośliny. Według wielu autorów dolistne dokarmianie roślin potasem nie ma praktycznego uzasadnienia (Gorlach i Mazur 2002, Krzywy 2007b, Mercik i in. 2002). Roztwór wodny 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II), użyty do dolistnego dokarmiania roślin, bez i z dodatkiem mocznika nie miał większego wpływu na zawartość potasu w roślinach. Jednocześnie należy zaznaczyć, że panujący pogląd dotyczący

ograniczonego pobierania przez rośliny fosforu i potasu na skutek zwiększonej zawartości żelaza w glebie nie znalazł potwierdzenia w przeprowadzonym doświadczeniu. Związek ten nie wpłynął hamująco na pobranie potasu i fosforu przez rośliny testowe. Podobnego zdania są Krzywy i in. (1998a,b i 2005b).

Bulwy ziemniaka, ziarno pszenicy i pszenżyta, a także nasiona rzepaku charakteryzowały się nieco niższymi wartościami wapnia aniżeli te, które przedstawiono w literaturze (Boratyński i in. 1988, Gorlach i Mazur 2002, Mercik i in. 2002 oraz Panak 1995). Roztwór wodny 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika nie miał wpływu na kształtowanie zawartości wapnia w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenżyta i nasionach rzepaku. Krzywy i in. (2005b) uzyskali ten sam efekt w przypadku bulw ziemniaka, ziarna pszenicy ozimej i jęczmienia jarego, a także nasion rzepaku ozimego. Wyniki badań wskazują, że dolistne dokarmianie II stężeniem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z udziałem mocznika istotnie wpłynęło na wzrost zawartości wapnia w ziarnie pszenicy. Tej tezy nie potwierdzają jednak wyniki doświadczeń przeprowadzonych przez wielu badaczy. Panuje bowiem pogląd, że rośliny pobierają wapń w postaci Ca^{2+} wyłącznie za pomocą korzeni z roztworu glebowego i bezpośrednio z kompleksu sorpcyjnego (Gorlach i Mazur 2002, Krzywy 2007b).

Zawartość magnezu w analizowanych roślinach, według Gorlacha i Mazura (2002) powinna wynosić od $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $3,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Większą granicę podają Mercik i in. (2002), według których zawartość magnezu w roślinach może kształtować się między $0,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, a $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy. Uzyskane wyniki badań mieszczą się w tych granicach. Ilość magnezu w roślinach uzależniona jest od gatunku i wieku rośliny, odczynu gleby, ilości przyswajalnego magnezu, potasu, wapnia i jonów amonowych w glebie (Grzywnowicz 1994, Nowak i Wołoszyk 1994). Na ogół rośliny nie pobierają nadmiernych ilości magnezu, przekraczających ich wymagania pokarmowe. Według Gorlacha i Mazura (2002) duże stężenie jonów Mg^{2+} w glebie może działać szkodliwie na rośliny poprzez naruszenie równowagi stosunku Ca: Mg. Zastosowane dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika nie miało wpływu na koncentrację tego pierwiastka w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i nasionach rzepaku. Wnioski te potwierdzają badania Krzywego i in. (2005b). Zawartość magnezu w roślinach nie uległa zmianom, także w badaniach Boligłowy (1994), która zastosowała wodny roztwór mocznika bez i z udziałem nawozu wieloskładnikowego Agrosol-K w doświadczeniu z ziemniakami.

Rezultaty badań wskazują, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z udziałem mocznika roślin istotnie wpływa tylko na wzrost zawartości magnezu w ziarnie pszenżyta.

Siarka pobierana jest głównie przez korzenie roślin w formie jonu SO_4^{2-} . Pierwiastek ten może być również absorbowany przez liście (Gorlach i Mazur 2002, Krzywy 2007b). Autorzy zwracają uwagę na fakt zaspokojenia zapotrzebowania roślin na siarkę w 90% w formie ditlenku siarki, w warunkach niedoboru siarki siarczanowej w glebie. Wskazuje to na możliwość pobrania stosunkowo dużych ilości tego pierwiastka przez liście. Nadmierne stężenia ditlenku siarki w powietrzu jest dla wielu gatunków roślin szkodliwe, gdyż wywołuje uszkodzenie aparatu fotosyntetycznego liści (Piskornik 1994). Zawartości siarki w testowych roślinach mieszczą się w granicach podanych w literaturze (Boratyński i in. 1988, Gorlach i Mazur 2002, Motowicka – Terelak i Terelak 2000 oraz Panak 1995). Dolistne dokarmianie roztworem wodnym 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika wpłynęło na zwiększenie zawartości siarki w testowych roślinach. Różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami nawozowymi nie zawsze były istotne. Zaobserwowano nieznaczne zwiększenie zawartości siarki pod wpływem wzrastających stężeń wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Wyniki te są zgodne z danymi Krzywego i in. (1997), którzy stwierdzili, że pod wpływem doglebowego stosowania $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nastąpiło zwiększenie zawartości siarki w koniczynie czerwonej. Do roślin, u których niedobór siarki obserwuje się najszybciej zaliczyć można motylkowate i krzyżowe. Wynika to z ich dużego zapotrzebowania na ten składnik pokarmowy. Konsekwencją niedoboru siarki w roślinach jest ograniczenie syntezy białka oraz glukozyolanów i alliin. Na liściach w warunkach ograniczonego pobierania siarki przez roślinę można zauważyć chlorozę i ich deformację do kształtu łyżeczek. Następuje odbarwienie kwiatów, zmniejszenie ilości łuszczyń i nasion łuszczyń rzepaku. Rośliny wolniej rozwijają się oraz przyjmują charakterystyczny wysmukły wygląd (Boreczek 2001, Kozłowska - Strawska i Kaczor 2003, Kulczycki i Karoń 2003). Nadmiar natomiast SO_4^{2-} jest rzadko obserwowany. Zwykle rośliny są dość odporne na duże stężenia tego pierwiastka w glebie, w nielicznych przypadkach może dojść uszkodzenie aparatu fotosyntetycznego liści (Piskornik 1994).

Zawartości żelaza w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i pszenżyta, a także w nasionach rzepaku w pełni odzwierciedlają wartości podane przez Gorlacha i Mazura (2002). Żelazo, podobnie jak siarka, może być pobierane przez liście. Dowodem tego

jest wzrost zawartości żelaza w testowych roślinach pod wpływem dolistnego dokarmiania wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) stosowanego bez i z udziałem mocznika. Średnie różnice pomiędzy wariantami nawozowymi doświadczenia nie zawsze były istotne. Większe zawartości tego pierwiastka uzyskano pod wpływem II stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Podobne rezultaty osiągnęli Krzywy i in. (1997). Stosowanie doglebowe 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (I) bardzo wyraźnie podniosło zawartość tego pierwiastka w koniczynie czerwonej. Dodatkowo autorzy zaobserwowali, że wzrost zawartości żelaza w roślinach uzależniony był od wielkości dawki $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Według Lityńskiego i Jurkowskiej (1982) zawartość żelaza w roślinie zależy od ilości jego form przyswajalnych w glebie, gatunku i części rośliny. Najzasobniejsze w żelazo, zdaniem Gorlacha i Mazura (2002) są zielone części roślin. Znacznie mniejsze ilości tego pierwiastka zawarte są w korzeniach, bulwach i nasionach.

Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka, jego plon i struktura zależą od wielu czynników agrotechnicznych i glebowych oraz odmian i ich wzajemnego współdziałania (Jabłoński 2006b). Dolistne dokarmianie roślin wodnym roztworem mocznika, a także 7 hydratem siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika na tle standardowego nawożenia mineralnego w większości wariantów nie wpłynęło na istotne zmiany zawartości skrobi w bulwach ziemniaka. Brak istotnego wpływu na zawartość skrobi pod wpływem dokarmiania dolistnego roślin stwierdzili także Grześkiewicz i Trawczyński (1998a). W literaturze spotyka się opinie, że w miarę wzrostu poziomu dawek nawożenia azotowego wzrasta, do pewnego poziomu, zawartość skrobi w bulwach ziemniaka, po czym maleje (Ciećko 1986, Jabłoński 1998a). Badania Jabłońskiego (2006b) udowodniły, że wielkość dawki azotu nie miała wpływu na zawartość skrobi w badanych odmianach ziemniaka.

Jabłoński (2003b) jest zdania, że w kształtowaniu plonów ziemniaka i plonów skrobi podstawowe znaczenie odgrywa nawożenie azotowe. Autor zaznacza przy tym, że reakcja odmian ziemniaka na nawożenie azotowe jest dość zróżnicowana. W badaniach wykazano, że zastosowany wodny roztwór mocznika, a także 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika zwiększył plony skrobi w porównaniu z wariantami, w których stosowano standardowe nawożenie mineralne bez i z dolistnym dokarmianiem wodnym roztworem mocznika. Największą efektywność nawożenia w plonie skrobi uzyskano po zastosowaniu II poziomu

dokarmiania dolistnego wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) wraz z mocznikiem.

Składniki pobrane przez roślinę wykorzystywane są do syntezy licznych związków organicznych lub też pełnią określoną rolę w roślinie, nie wchodząc w związki trwałe. W największych ilościach w roślinach występują węglowodany, białka, tłuszcze, które silnie oddziałują na jakość plonu, w dalszej kolejności Czuba i Mazur (1988) wymieniają barwniki roślinne, witaminy, substancje aromatyczne, alkaloidy, olejki eteryczne.

Odpowiedni przebieg procesów biochemicznych w organizmach roślinnych zapewnia nie tylko optymalna koncentracja poszczególnych pierwiastków w roślinach. Według Majcherczaka i in. (2006), o jakości plonu roślin decydują także wzajemne proporcje składników pokarmowych. Wyszowski i Ciećko (2002) dodają, że niewłaściwe relacje między makroskładnikami mogą prowadzić do zaburzeń zdrowotnych u ludzi lub zwierząt spożywających taką żywność lub paszę. Z badań Falkowskiego i in. (1990), Łabudy i in. (1992), Narendry i in. (1992) oraz Wyszowskiego (2001) wynika, że na kształtowanie stosunków jonowych pierwiastków w roślinach mają wpływ nawozy.

W badaniach określono stosunek N: S, który według Czuby i Mazura (1988) oraz Metsona (1984), powinien kształtować się w granicach 15-16: 1. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika wpłynęło na zawężenie stosunku N: S w nasionach rzepaku poniżej wartości optymalnej. Wielu autorów jest zdania, że niewłaściwy stosunek jonowy N: S obniża jakość plonów roślin (Kaczor i Kozłowska 2000, Motowicka - Terelak i Terelak 1998, Schnug 1991). Poprzez zastosowanie dolistnego dokarmiania $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ zaobserwowano zawężenie stosunku N: S w bulwach ziemniaka i ziarnach zbóż w kierunku wartości optymalnej. Wartość optymalną stosunku N: S uzyskano tylko w przypadku ziarna pszenicy przy drugim stężeniu roztworu wodnego $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez dodatku mocznika. Wyniki badań Krzywego i Krzywy (2001) nad wpływem dogłębowego stosowania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) wskazały, iż proporcje zawartości azotu do siarki w plonach mieszkanki traw i korzeni rzodkiewki nie uległy rozszerzeniu ponad górną dopuszczalną granicę. Stosowany 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) na tle nawozów wieloskładnikowych nieznacznie zawężył w plonach badanych roślin stosunek N: S. Według autorów było to wynikiem zwiększonego pobrania siarki przez testowane rośliny z $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Wartości stosunku jonowego K: Ca w bulwach ziemniaka uległy rozszerzeniu powyżej wartości optymalnej (2: 1) podawanej przez Panaka i Wojnowską (1982) pod wpływem dolistnego dokarmiania wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika. Badania te są zgodne z rezultatami osiągniętymi przez Krzywy i in. (2003), którzy wskazali, że $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ stosowany na tle mineralnych nawozów wieloskładnikowych powodował w korzeniach rzodkiewki rozszerzenie stosunku jonowego K: Ca ponad wartość optymalną. Suchorska – Orłowska i in. (2004) wykazały rozszerzenie stosunku K: Ca w liściach i łodygach szpinaku po zastosowaniu zróżnicowanych dawek saletry amonowej. Rezultaty te można porównać z uzyskanymi wynikami, dotyczącymi ziarna zbóż. W przypadku pszenicy średnie wartości stosunku jonowego K: Ca uległy nieznacznemu zawężeniu w kierunku wartości optymalnej, lecz tylko w wariacie z dolistnym dokarmianiem wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika. W przypadku pszenżyta, korzystniejszy stosunek jonowy K: Ca (na skutek jego zawężenia) uzyskano pod wpływem wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z udziałem mocznika. W tym przypadku nie uzyskano optymalnego stosunku K: Ca, który według Łabudy i in. (1982), w przypadku roślin zbożowych, powinien być zbliżony do 4. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nie miało wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: Ca w nasionach rzepaku.

Biorąc pod uwagę stosunek jonowy K: Mg w badanych roślinach, można stwierdzić, że nie uzyskano optymalnej jego wartości. Stosunek jonowy K: Mg w badanych roślinach był zawężony w stosunku do wartości, które podają Czuba i Mazur (1988) oraz Łabuda i in. (1992). Dolistne dokarmianie bulw ziemniaka wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) spowodowało nieznaczne zawężenie stosunku K: Mg poniżej wartości optymalnej. Odmienne wyniki uzyskali Krzywy i in. (2003), wykazując nieznaczne rozszerzenie optymalnego stosunku jonowego K: Mg w korzeniach rzodkiewki po zastosowaniu wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na tle mineralnych nawozów wieloskładnikowych. Krzywy i in. (2002) stosując mineralne nawozy wieloskładnikowe osiągnęli nieznaczne zawężenie proporcji między potasem i magnezem w nasionach łubinu żółtego. Żadne z wcześniejszych badań nie potwierdza braku wpływu dolistnego dokarmiania wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z udziałem mocznika na kształtowanie stosunku jonowego K: Mg w ziarnie pszenicy i pszenżyta, a także w nasionach rzepaku.

Kolejnym miarodajnym czynnikiem wskazującym na cechy jakościowe plonów jest stosunek K: (Ca+Mg), który według Czuby i Mazura (1988), a także Falkowskiego

i in. (1990) powinien być zbliżony do 1,62. Wyniki badań dowiodły brak wpływu wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na kształtowanie stosunku jonowego K: (Ca+Mg). Analizując warianty nawozowe stwierdzono, że w bulwach ziemniaka wartości stosunku jonowego tych pierwiastków były szersze, a w ziarnie zbóż i nasionach rzepaku były zawężone w stosunku do wartości, które przedstawiają autorzy. Wnioski te potwierdziły badania Krzywy i in. (2002), którzy wykazali, że wieloskładnikowe nawozy mineralne nie miały wpływu na kształtowanie stosunku K: (Ca+Mg) w roślinach. Z dalszych badań Krzywy i in. (2003) wynika, że wprowadzony do gleby na tle nawozów wieloskładnikowych 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) spowodował rozszerzenie ponad wartość optymalną stosunku jonowego K: (Ca+Mg) w korzeniach rzodkiewki.

Optymalne proporcje jonowe między wapniem a fosforem powinny, zdaniem Czuby i Mazura (1988) mieścić się w granicach 2: 1. Osiągnięte rezultaty badań dotyczące oddziaływania wodnego roztworu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II), wskazują na niewielkie zmiany wartości stosunku Ca: P w bulwach ziemniaka, ziarnie pszenicy i pszenżyta oraz nasionach rzepaku. Brak zmian wartości stosunku jonowego Ca: P w roślinach udowodnili również Krzywy i in. (2002) po zastosowaniu wieloskładnikowych nawozów mineralnych oraz $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Podsumowując można powiedzieć, że szereg przeprowadzonych badań oraz dotychczasowa praktyka rolnicza potwierdziły koncepcję, że efektywnym sposobem uzupełniania roślinom składników pokarmowych jest ich dolistne dokarmianie w okresie wegetacji.

Mimo, iż dotychczas, ani w kraju, ani na terenie pozostałych państw unii europejskiej nie prowadzono kompleksowych badań nad możliwością wykorzystania 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do dolistnego dokarmiania roślin oraz jego wpływu na otaczające środowisko, wyniki rozprawy wskazują na możliwość wykorzystania wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ do dolistnego dokarmiania roślin.

Przeprowadzone badania dowodzą, że 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) jest związkiem nadającym się do użycia, jako czynnik nawozowy, w dolistnym dokarmianiu roślin. Modyfikuje on zdolność plonotwórczą roślin, zawartość azotu, siarki i żelaza, a także w niektórych przypadkach równowagę jonową roślin. Racjonalne stosowanie $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ może pozytywnie oddziaływać na wszystkie wymienione elementy.

Wykorzystanie wyników badań w praktyce rolniczej przyczyni się do obniżenia kosztów nawożenia roślin oraz da wymierne efekty w plonach roślin i ich jakości.

Jednocześnie 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) nie będzie składowany na hałdach. Wpłynie to na zmniejszenie zagrożenia skażenia środowiska $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nagromadzonym w dużych ilościach na niewielkiej powierzchni.

5. Wnioski

1. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) zwiększyło plony bulw ziemniaka, ziarna zbóż oraz nasion rzepaku. Wraz ze wzrostem stężenia $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ osiągnięto większe plony roślin.
2. Zastosowanie wodnego roztworu mocznika zwiększyło plony roślin, w stosunku do standardowego nawożenia mineralnego.
3. Dokarmianie dolistne roślin testowych wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) i mocznika zwiększyło plony w porównaniu z wariantem ze standardowym nawożeniem mineralnym i dolistnym dokarmianiem roztworem wodnym mocznika.
4. Drugi poziom stężenia wodnego roztworu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ zastosowanego bez lub z udziałem mocznika spowodował zwiększenie plonów roślin testowych w porównaniu z poziomem pierwszym. Różnice te jednak nie zawsze były istotne.
5. Średnie plony badanych roślin wyrażone w jednostkach zbożowych wskazują, że dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika daje wyższe efekty aniżeli standardowe nawożenie mineralne.
6. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z reguły powodowało zwiększenie zawartości azotu, siarki i żelaza w badanych roślinach.
7. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) w większości wariantów nie miało wpływu na zawartość fosforu, potasu, wapnia i magnezu w badanych roślinach. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bez i z udziałem mocznika zwiększył zawartość wapnia w ziarnie pszenicy i magnezu w ziarnie pszenżyta.
8. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nie miało wpływu na kształtowanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka. Wielkość plonów skrobi w znacznie większym stopniu była uzależniona od plonów bulw ziemniaka, aniżeli od jej zawartości w bulwach. Dokarmianie dolistne roztworem wodnym 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) bez i z dodatkiem mocznika na tle standardowego nawożenia mineralnego zwiększyło plony skrobi.

9. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) powodowało zawężenie stosunku N: S w bulwach ziemniaka i ziarnie zbóż w kierunku wartości optymalnej, a w nasionach rzepaku poniżej wartości optymalnej.
10. Wodny roztwór $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ spowodował rozszerzenie stosunku jonowego K: Ca w bulwach ziemniaka powyżej wartości optymalnej, w ziarnach zbóż wpłynął na zawężenie proporcji jonowych obu pierwiastków w kierunku optymalnym, ale tylko z udziałem mocznika. 7 hydrat siarczanu (VI) żelaza (II) nie miał wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: Ca w nasionach rzepaku.
11. Dolistne dokarmianie wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) wpłynęło na nieznaczne zawężenie stosunku jonowego K: Mg w bulwach ziemniaka poniżej wartości optymalnej i nie miało wpływu na kształtowanie stosunku jonowego obu pierwiastków w ziarnie zbóż i nasionach rzepaku.
12. Wodny roztwór $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nie miał wpływu na kształtowanie stosunku jonowego K: (Ca+Mg) i Ca: P w bulwach ziemniaka, ziarnie zbóż, a także w nasionach rzepaku.

6. Spis literatury

1. Adamiak J., Stępień A. 2005. Wpływ różnych sposobów nawożenia na produktywność płodozmianu. *Frag. Agronom.* 2: 206-213
2. Alway F. J. 1940. A Nutrient Element Slighted in Agricultural Research. *J. Am Soc. Agronom.* 23: 913-921
3. Anna G., Jankowski K., Jodelka J. 2003. Wpływ zróżnicowanych form nawożenia azotem na plonowanie życicy trwałej (*Lolium perenne* L.) oraz zawartość w niej węglowodanów i niektórych form azotu. *Acta Scient. Pol. Agric.* 2 (2): 131-139
4. Artyszak A. 2007. Dokarmianie dolistne. *Farmer* 9: 16-18
5. Badora A., Filipek T. 1994. Reakcja zbóż na silne zakwaszenie gleb. *Rocz. Glebozn.* XLV, 1/2, 77-90
6. Bansal R.L., Nayyar V.K., Takkar P.N. 1994. Tolerance of wheat (*Triticum aestivum*) and triticale (x *Triticosecale*) to manganese deficiency. *Indian J. Agr. Sci.* 64 (6): 382-386
7. Baran S., Flis-Bujak M., Turski R., Żukowska G. 1996a. Zmiany właściwości fizykochemicznych gleb użyźnionej osadem ściekowym. *Rocz. Glebozn.* 47 (3/4): 123-130
8. Baran S., Turski R. 1995. Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. Wyd. AR Lublin, ss. 176
9. Barłóg P., Grzebisz W. 1994. Wpływ dolistnego dokarmiania rzepaku ozimego magnezem na plon i jakość nasion. *Biul. Magnezol.* 4: 9-11
10. Behnke M., Kaczyński L., Lewandowska B., Zych J. 1992. Zboża jare (pszenica, jęczmień, owies, pszenżyto). *Syntezy Wyników Doświadczeń Odmianowych. Słupia Wielka*, z. 966, ss. 58
11. Benedycka Z., Krause A. 1995. Zastosowanie fosforu z mikroelementami (Zn, Mo, B) w dolistnym dokarmianiu bobiku. *Acta Acad. Agric. Tech. Olst.* 61: 31-37
12. Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L. 2003. *Biochemia*. PWN. Warszawa, ss. 974

13. Bernat E., Jabłoński K. 2001. Wpływ dolistnego nawożenia Mikrosolem Zn na kształtowanie się plonów ziemniaka i jego jakość. *Progress in Plant Protection/ Postępy w Ochronie Roślin*. Vol. 41: 299-305
14. Białobok S. 1986. Zjawisko kwaśnych deszczów. *Kosmos* 1 (190): 43-63
15. Bieńkowski P., Fischer Z., Goździewicz J. 1986. Reaction of soil system to „acid rain” under conditions of a laboratory experiment. *Ecol. Pol.* 24 (1): 75-86
16. Biesiada A., Kołota E., 1998, Zastosowanie nawozów wieloskładnikowych do nawożenia dolistnego selera korzeniowego. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* 190 (72): 29-33
17. Bieszczad S., Piotrowski M. 1992. Plonowanie pszenżyta jarego w warunkach deszczowania i zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz. Rol.* 32: 15-20
18. Biskupski A., Malinowski P., Borowik M. 2004. Odpadowe sole magnezu jako składniki nawozów zawieszinowych. VI Konf. "Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie". Międzyzdroje, 11–14 maja 2004, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s.92 (streszcz.)
19. Blake-Kalff M.M.A., Harrison K.R., Hawkesford M.J., Zhao F.J., Mc Grath S.P. 1998. Distribution of sulphur within oilseed rape leaves in response to sulphur deficiency during vegetable growth. *Plant Physiol.* 118: 1337-1344
20. Boligłowa E. 1994. Wpływ dolistnego nawożenia na zawartość makroelementów w bulwach ziemniaka. *Biul. Magnezol.* 4: 25-27
21. Boratyński K., Czuba R., Goralski J. 1981. *Chemia rolnicza*. PWRiL. Warszawa, ss. 406
22. Boratyński K., Czuba R., Goralski J. 1988. *Chemia rolnicza*. PWRiL. Warszawa, ss. 398
23. Boreczek B. 2001. Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. *Frag. Agronom.* 4: 118-146
24. Borowik M., Biskupski A., Malinowski P. 2004. Możliwości odzysku jonów amonowych i fosforanowych ze ścieków i roztworów odpadowych w postaci fosforanu magnezowo-amonowego (struwitu) VI Konf. "Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie". Międzyzdroje, 11-14 maja 2004, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s.52 (streszcz.)

25. Brown L., Scholefield D., Jewkes E. C., Preedy N. 1997. Incipient S deficiency in the grassland soils of south – west England. Fertilization for sustainable plant production of CIEC. Gent. Proc. Vol.1: 61-66
26. Buckman H. C., Brady N.C. 1971. Gleba i jej właściwości. PWN. Warszawa, ss. 529
27. Budzyński W., Ojczyk T. 1995. Influence of sulphur fertilization on seed yield and seed quality of double low oilseed rape. 9 th International Rapeseed Congress. Cambridge. UK, 4-7 July 1995: 284-286
28. Bujnicka M. 2005. Wpływ dolistnego dokarmiania wodnym roztworem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na wielkość i niektóre cechy jakościowe roślin. Praca magisterska wykonana w Katedrze Chemii Środowiska Akademii Rolniczej w Szczecinie. ss. 74
29. Bulewicz E., Kandefer S. 1984. SO₂ w atmosferze – skąd, dlaczego i co dalej? Aura 6: 12-13
30. Butnerowicz A., Molski B. 1974. Wpływ atmosferycznego dwutlenku siarki na roślinność. Wiad. Bot. 18 (3): 169-182
31. Buyer J. S., Sikora L. J. 1990. Rhizosphere interactions and siderophores. Plant and Soil 129: 101-107
32. Cakmak I., Ekiz H., Yilmaz A., Torun B., Köleli N., Gültekin I., Alkan A., Eker S. 1997. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soil. Plant Soil 188: 1-10
33. Ceccotti S.P. 1996. Plant nutrient sulphur – a review of nutrient balance, environmental impact and fertilizers. Fertilizer Research 43: 117-125
34. Ciećko Z. 1986. Wpływ nawożenia azotem na plon i cechy jakościowe ziemniaka, Zesz. Nauk. ART. w Olsztynie 1: 212-222
35. Cwojdzński W., Nowak K. 2002. Plon i skład chemiczny roślin w 7 rotacji statycznego doświadczenia nawozowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 484: 95-100
36. Czekala J. 2004. Wpływ wybranych czynników w wieloletniej uprawie roślin na zawartość rozpuszczalnych form manganu i żelaza w poziomie próchnicznym gleby płowej. Roczn. PZH, 55: 143-148
37. Czuba R., red. 1986. Nawożenie. Wyd. drugie zmienione. Warszawa, ss. 563
38. Czuba R. 1988. Efekty produkcyjne dolistnego dokarmiania roztworem mocznika i mikroelementami zbóż, rzepaku, buraka cukrowego. Dolistne

- dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej. Materiały Sem. Nauk. IUNG. Puławy: 24-33
39. Czuba R. 1993a. Efekty dolistnego dokarmiania roślin uprawnych. Cz. I. Reakcja roślin na dolistne stosowanie azotu. Roczn. Glebozn., 44 (3/4): 69-78
 40. Czuba R. 1993b. Efekty dolistnego dokarmiania roślin uprawnych. Cz. II. Reakcja roślin na dolistne stosowanie mikroelementów i azotu łącznie z mikroelementami. Roczn. Glebozn., 44 (3/4): 79-87
 41. Czuba R. 1996a. Celowość i możliwość uzupełnienia niedoborów mikroskładników u roślin, Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 55-64
 42. Czuba R., red. 1996b. Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Zakłady Chemiczne „Police” S.A., ss. 413
 43. Czuba R. 1996c. Technika nawożenia mineralnego a zawartość azotanów w roślinach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 440: 65-73
 44. Czuba R. 1998. Współczesne technologie nawożenia mineralnego. Wieś Jutra. Warszawa 12: 15-16
 45. Czuba R. 2000. Nawozy zawieszinowe – nowoczesna generacja nawozów płynnych. Wieś Jutra 11: 11-14
 46. Czuba R., Mazur T. 1988. Wpływ nawożenia na jakość plonów. PWN. Warszawa, ss. 360
 47. Czyż H. 1993. Reakcja odmian grochu na dolistne dokarmianie borem, manganem i molibdenem. Frag. Agronom. X 1 (37): 14-21
 48. Czyż H., Kitzak T. 2004. Przydatność produktu uzyskanego z radiacyjnego oczyszczania spali z SO₂ i NO_x jako alternatywnego źródła azotu do nawożenia użytków zielonych. VI Konf. "Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie". Międzyzdroje, 11–14 maja 2004, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s.93 (streszcz.)
 49. Dechnik I., Gliński J., Kaczor A., Kern H. 1990. Rozpoznanie wpływu kwaśnych deszczy na glebę i roślinę. Problemy Agrofizyki 60: 1-66
 50. Dobrzański B., Haman J. 1976. Dolistne dokarmianie roślin. Cz. II. PWN. Warszawa. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 184: 199
 51. Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K., Procyk Z. 1997. Wpływ technologii nawożenia mikroelementami na plonowanie pszenżyta jarego i zawartość azotu w ziarnie. Zesz. Nauk. Rol. AR Szczecin 175 (65): 85-90

52. Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K., Procyk Z., Sokołowski Z. 1998. Plonowanie pszenżyta i wartość odżywcza ziarna w warunkach dolistnego dokarmiania nawozami wieloskładnikowymi. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (190) 72: 55-61
53. Dworakowska T., Iwacewicz A. 2001. Planowanie nowych odmian owsa i pszenżyta jarego. *Wiad. Rol. WPODR Szczepietowo* 3: 14-15
54. Eriksen J. 1997. Animal manure as S fertilizer. *Sulphur in Agriculture* 20: 27-30
55. Faber A., Kęsik K., Winiarski A. 1988. Ocena skuteczności krajowych wieloskładnikowych nawozów dolistnych w doświadczeniach wazonowych i polowych. Dolistne dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej. *Materiały Sem. Nauk. IUNG. Puławy*: 170-179
56. Falkowski M., Kukułka J., Kozłowski S. 1990. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. *Wyd. AR Poznań* s. 132
57. Filipek T. 1999. Podstawy i skutki chemizacji agrosystemów. *Wyd. AR Lublin*, ss. 241
58. Filipek T. 1987. Wysycenie kompleksu sorpcyjnego gleby kationami oraz równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem. *Rozpr. Nauk. AR Lublin* 104: 3-60
59. Fotyma M., Mercik S. 1995. *Chemia rolna*. PWN. Warszawa, ss. 355
60. Gaj R. 2006. Niedobory siarki trzeba uzupełniać. *Nowoczesna uprawa* 1: 19-21
61. Garścia E. 1983. SO₂ największe zagrożenie lasów. *Aura* 3: 20-23
62. Garścia E., Gorlach E. 1985. Zagrożenie gleb przez emitowane do atmosfery związki siarki. *Mat. Konf. „Krajowe surowce wapniowe i wapniowo – magnezowe i ich wykorzystanie w rolnictwie”*. CZWMB „Pólcement”. SITPMB. IUNG. Kraków: 48-61
63. Gembarzewski H., Obojski J., Strączyński S. 1996. Stan zaopatrzenia w mikroelementy pszenżyta na polach wysokoprodukcyjnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434: 347-352
64. Gębski M., Mercik S. 1997. Akumulacja Zn, Cd, Pb w roślinach w zależności od zastosowania wapna pokutniczego, gipsu, węgla kamiennego oraz formy nawozu potasowego. *Obieg pierwiastków w przyrodzie*. IOŚ: 235-242

65. Gębski M., Sommer K. 1997. Wpływ form nawozów potasowych i magnezowych na mobilność metali ciężkich w glebie lekkiej. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 439: 133-140
66. Głuska A.. 2003. Precyzyjne nawożenie i nawadnianie plantacji ziemniaków- światowe osiągnięcia do zastosowania w kraju. Ziemniaki-nowe wyzwania. IHAR. Oddział Jadwisin, s. 53-56
67. Gondek K., Filipek-Mazur B. 2006. Ocena efektywności nawożenia kompostami z odpadów zielonych na podstawie plonowania, składu chemicznego i wykorzystania składników pokarmowych przez owies. Cz. II. Zawartość i pobieranie Ca, Mg i Na, Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 512: 129-137
68. Gorham E. 1958. The influence and importance of daily weather conditions in the supply of chloride, sulphate and ions to freshwaters from atmospheric precipitation. Philosophical Transactions of the Royal Society. London 214 B, 147 – 178
69. Gorlach E. 1996. Rola mikroelementów w redukcji azotanów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 440: 109-120
70. Gorlach E., Mazur T. 2002. Chemia rolna. PWN. Warszawa, ss. 346
71. Gosek S., Kopiński J. 2001. Regionalne zróżnicowanie bilansu zawartości przyswajalnego potasu i magnezu w glebach Polski. Zesz. Prob. Nauk Rol. 480: 395-402
72. Gouling K.W.T., Blake L. 1998. Land use, liming and the mobilization of potentially toxic metals. Agriculture. Ecosystems and Environment 67 (2/3): 135-144
73. Górecki H. 2002. Wpływ nawozów i nawożenia na środowisko. Przemysł Chemiczny 81 (10): 635-643
74. Grunes D.L., Stout P.R., Brownell L.R. 1970. Grass tetany of ruminants. Adv. Agron., 22: 331-365
75. Grzebisz W. 2008. Nawożenie roślin uprawnych. PWRiL, ss. 428
76. Grzesiuk W. 1977. Badania nad zawartością siarki w glebach i roślinach województwa olsztyńskiego. Zesz. Nauk. ART Olsztyn. Rol. 171 (20): 89-137
77. Grześkiewicz H., Trawczyński C. 1998a. Dolistne stosowanie nawozów wieloskładnikowych w uprawie ziemniaka. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae (190) 72: 75-80

78. Grzeškiewicz H., Trawczyński C. 1998b. Wpływ nawozów wieloskładnikowych typu Polifoski na plonowanie i jakość ziemniaka. *Folia Univ. Agric. Stetin.*, Ser. Agriculturae (190) 72: 81-85
79. Grzeškowiak A. 2001. Nawożenie rzepaku. *Top Agrar Pol.* 7-8: 14-15
80. Grzeškowiak A. 2003. System nawożenia POLICE. Wyd. VII. Police, ss. 68
81. Grzeškowiak A., Jakubowski W. 2004. System nawożenia POLICE. Wyd. VII. Police, ss. 80
82. Grzywnowicz J. 1994. Wpływ nawożenia magnezem na zmianę składu chemicznego roślin przeznaczonych na paszę. *Biul. Magnezol.* 4: 66-69
83. Haneklaus S., Schnug E. 1993. Genetic variability pattern of mineral nutrients in varieties of *Triticum* and *Brassica napus*. *Aspect of Applied Biology* 36: 211-218
84. Hocking P. J., Pinkerton A., Good A. J. 1995. Recovery of field grown canola from sulphur deficiency. 9 th International Rapeseed Congress. Cambridge. UK. 4-7 July 1995, 299-301
85. Jabłoński K. 1997. Przydatność nowych nawozów wieloskładnikowych pod ziemniaki. *Por. Gosp.* 4: 15-16
86. Jabłoński K. 1998a. Nawożenie ziemniaków. Fundacja „Rozwój SGGW”. Warszawa, ss. 98
87. Jabłoński K. 1998b. Wpływ nawożenia Polifoską 6, Polifoską 12 i Polifagiem 305 na plonowanie i jakość bulw ziemniaka. *Folia Univ. Agric. Stet.*, Ser. Agriculturae (190) 72: 109-114
88. Jabłoński K. 2003a. Efektywność dolistnego i doglebowego nawożenia ziemniaka roztworem saletrzano – mocznikowym RSM 32. *Acta Agrophys.* 85: 125-135
89. Jabłoński K. 2003b. Wpływ nawożenia azotowego na plon ziemniaków nowych odmian skrobiowych uprawianych na oborniku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 494: 133-140
90. Jabłoński K. 2006a. Efekty produkcyjne i jakościowe dolistnego dokarmiania ziemniaka nawozem wieloskładnikowym Sonatą Z. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 512: 183-191
91. Jabłoński K. 2006b. Wpływ poziomego nawożenia azotem na plon i zawartość skrobi oraz na jakość nowych odmian ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 512: 193-200

92. Jabłoński K., Dryjańska M. 1998. Wpływ dolistnego dokarmiania ziemniaków preparatami typu Wuxal na plon i jego strukturę oraz skład chemiczny bulw. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (190) 72: 115-121
93. Jahiruddin M., Hoque M. S. Haque A. K. M. M., Roy P., K. 1992. Influence of boron, cooper and molybdenum on grain formation in wheat. *Crop Research (Hisar)* 5 (1): 35-42
94. Jankowski K., Nowak M. 1999. Wady i zalety dolistnego dokarmiania. *Nowoczesne Rolnictwo* 6: 11
95. Jarociński B. 2007. Rola i funkcje żelaza w roślinie. *Raport Rolny* 12 (77): 23
96. Jarociński B. 2008. Wymagania roślin uprawnych względem siarki. *Raport Rolny* 5/6 (82/83): 47-49
97. Jasińska Z., Kotecki A. 1999a. Szczegółowa uprawa roślin. Tom 1. Wrocław, ss. 490
98. Jasińska Z., Kotecki A. 1999b. Szczegółowa uprawa roślin. Tom 2. Wrocław, ss. 679
99. Jaśkiewicz B. 2006. Agrotechnika pszenżyta ozimego. *Wiadomości Rolnicze* 9: 10
100. Jaśkiewicz B., Cyfert R. 2005. Charakterystyka i technologia uprawy odmian pszenżyta ozimego. Puławy – Radzików – Słupia Wielka, ss.31
101. Jensen P. 1982. Effect of interrupted K^+ supply on growth and uptake of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ in spring wheat. *Physiol. Plant.* 56 (3): 259-265
102. Jędrzejczak R., Ręczajska W., Szteke B. 1999. Magnez i inne makroelementy w roślinnych surowcach jadalnych. *Biul. Magnezol.* 4 (1): 72-76.
103. Jędrzejczak R., Ręczajska W., Szteke B. 1999. Magnez i inne makroelementy w roślinnych surowcach jadalnych. *Biul. Magnezol.* 4 (1): 72-76.
104. Jodełka J. 2008 Dokarmianie dolistne traw. *Farmer* 9: 12-14
105. Kabata – Pendias A. i Pendias H., 1993, Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa, ss. 385
106. Kabata – Pendias A. i Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN. Warszawa, ss. 398
107. Kacalski L., Wrześniewski W., Wawrzyniak B. 1998. Składowanie siedmiowodnego siarczanu żelazawego. Rozwiązanie problemu w ZCh „Police” S.A. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie

- odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska. Prace 547: 29-30
108. Kaczor K. 1994. Możliwości wykorzystania niektórych właściwości gleby w ocenie stopnia zanieczyszczenia środowiska kwaśnymi opadami. *Rocz. Glebozn. XLV*, 3/4: 43-58
 109. Kaczor A., Kozłowska J. 1996. Działanie następcze stymulowanego kwaśnego deszczu na zmiany w zawartości manganu i żelaza w glebie i w kupkowie popolitej. *Zesz. Prob. Post. Nauk. Roln.* 434: 219-223
 110. Kaczor A., Kozłowska J. 2000. Wpływ kwaśnych opadów na agrosystemy. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (204) 81: 55-67
 111. Kalembasa S., Symanowicz B. 1998. Wpływ nawozów jednoskładnikowych i Polifoski 8 na skład chemiczny bulw ziemniaków. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (190) 72: 131-137
 112. Kaleńczuk R.J. 1998. Odpadowy siarczan żelazawy w produkcji bieli tytanowej źródłem żelaza w mieszankach paszowych. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska. Prace 547: 133-136
 113. Kamiński E., Roszkowski A. 2001. Technika Rolnicza XXI wieku. Część VI. Nawożenie mineralne. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*. Warszawa 10: 2-5 i 9
 114. Kapła J. 1986. Kryteria oceny jakości powietrza jako podstawa działań w zakresie jego ochrony. *Ochrona powietrza* 3 (113): 57-63
 115. Kączkowski J. 2005. Podstawy biochemii. Wyd. Nauk.-Tech. Warszawa, ss. 46
 116. Kocoń A., Skiba T., Sykut M., Próchniak A. 1999. Wykorzystanie azotu stosowanego dolistnie lub doglebowo w plonie pszenicy jarej i ozimej. *Frag. Agronom.* 16 (4): 90-99
 117. Kołota E., Adamczewska-Sowińska K. 1996. The effects of planting density and nitrogen nutrition in early production of Leeks. *Acta Hort.* 371: 399-40
 118. Komosa A. 1990. Wpływ niektórych właściwości chemicznych roztworów oraz stanu odżywiania roślin na skuteczność nawożenia dolistnego pomidora szklarniowego. *Rocz. AR Poznań. Rozpr.* 210

119. Kostecka J. 2003. Wartość nawozowa wermikompostów wyprodukowanych z odpadów biurowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 493: 801-807
120. Kotecki A. 1990. Wpływ dolistnego nawożenia manganem na plonowanie odmian bobiku. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Ser. Rol. 52 (199): 109-120
121. Koter M. 1987. Chemia rolna. PWN. Warszawa, ss. 592
122. Kotowska J., Wybieralski J. 1999. Kształtowanie się stosunków ilościowych między K, Ca i Mg w glebie oraz w roślinach. Biul. Magnezol. 4 (1): 104-110
123. Kozak M.. 1999. Znaczenie uprawy rzepaku jarego w Polsce. Por. Gosp. 12: 9
124. Kozera W., Nowak K., Majcherczak E., Barczak B. 2006. Oddziaływanie dolistnego nawożenia mikroelementami na zawartość makroelementów w bulwach ziemniaka. J. Elemetol. 11(1): 29-34
125. Kozłowska-Strawska J., Kaczor A. 2003. Zawartość siarki całkowitej i siarczanowej w roślinach nawożonych różnymi formami azotu i potasu. Nawozy i Nawożenie. 4: 213-219
126. Koźmiński C., Michalska B. 2008. Agrometeorologia i klimatologia. Wyd. Nauk. AR. Szczecin, ss. 234
127. Koźmiński C., Michalska B., Czarnecka M. 2007. Klimat województwa zachodniopomorskiego, ss. 147
128. Krasowicz S. 2002. Produkcja roślinna na ziemiach polskich w XIX i XX w. Pam. Puł. 130 (I): 11-13
129. Krauze A., Bowszys T. 2000. Wpływ stosowania różnych technologii nawozów siarkowych na plonowanie i jakość rzepaku ozimego i jarego. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae (204) 81: 133-142
130. Kropisz A. 1983. Uprawa i nawożenie gleby. Wyd. 4 popr. Warszawa, ss. 237
131. Krupa F., Skrzypek J., Sosnowski J. 1998. Zagospodarowanie odpadowego siarczanu żelazawego w budownictwie. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 43-49
132. Krupski A. 1997. PLONISY–najnowszej generacji koncentraty nawozowe do dolistnego dokarmiania roślin. Aktual. Roln. 2: 11-12
133. Krzywy E. 2000. Nawożenie gleb i roślin. Szczecin, ss. 177
134. Krzywy E. 2003. Wykorzystanie 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do dokarmiania dolistnego roślin. Sprawozdanie z badań wykonanych na zlecenie Zakładów Chemicznych „Police” S.A. s. 40

135. Krzywy E. 2005. Problemy nawożenia gleb i roślin siarką. Zachodniopom. Mag. Rol. Wyd. ZODR w Barzkowicach 6: 16-17
136. Krzywy E. 2007a. Cena nawozów a żyzność gleby. Wiadomości rolnicze 12: 8
137. Krzywy E. 2007b. Żywnienie roślin. Szczecin, ss. 178
138. Krzywy E., Głowacka A. 1998a. Studia nad działaniem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na tle nawozów wieloskładnikowych na wysokość i niektóre cechy jakościowe plonów roślin. Cz. I. Mieszanka rekultywacyjna traw. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae (190) 72: 159-162
139. Krzywy E., Głowacka A. 1998b. Studia nad działaniem 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) na tle nawozów wieloskładnikowych na wysokość i niektóre cechy jakościowe plonów roślin. Cz. II. Rzodkiewka odmiany Sopol Lodu. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser Agriculturae (190) 72: 163-166
140. Krzywy E., Grześkowiak A., Głowacka A., Krzywy J. 1997. Wpływ odpadu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) z Zakładów Chemicznych „Police” S.A. na wysokość i niektóre cechy jakościowe koniczyny czerwonej. V Ogólnopolskie Sympozjum Naukowo-Techniczne „Biotechnologia Środowiska”. Politechnika Śląska w Gliwicach. Ustroń-Jaszowiec 10-12 grudnia 1997, cz. I. 153-160
141. Krzywy E., Jakubowski W. 2000. Wpływ odpadów $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i fosfogipsu na zawartość w glebie siarki, żelaza, kadmu i niklu. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 472: 443-448
142. Krzywy E., Krzywy J. 2001. Stosunki jonowe N: S oraz Fe: Mn jako czynniki wskazujące na jakość plonów roślin uzyskanych pod wpływem odpadu 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II). Folia Univ. Agric. Stetin., Ser Agriculturae (221) 88: 133-140
143. Krzywy E., Krzywy J. 2004. Wykorzystanie odpadowego 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do dolistnego dokarmiania roślin. VI Konf. „Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie”. Międzyzdroje, 11.05.–14.05.2004. Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s. 100 (streszcz.)
144. Krzywy E., Krzywy J., Krzywy-Gawrońska E. 2005a. The influence of foliar fertilization by water solution of 7 hydrate sulphate (VI) iron (II) on yielding and chemical composition of crops. I. The influence of foliar fertilization with

- water solution of 7 hydrate sulphate (VI) iron (II) on crops yield quantity. Pol. J. Chem. Technol. Vol. 7: 16-18
145. Krzywy E., Krzywy J., Krzywy-Gawrońska E. 2005b. The influence of foliar fertilization by water solution of 7 hydrate sulphate (VI) iron (II) on yielding and chemical composition of crops. II. The influence of foliar fertilization with water solution of 7 hydrate sulphate (VI) iron (II) on content of macroelements and iron in plants. Pol. J. Chem. Technol. Vol. 7: 19-21
 146. Krzywy E., Wołoszyk Cz., Głowacka A., Krzywy J. 1998. Studia nad nawozowym wykorzystaniem niektórych odpadów przemysłowych i komunalnych. Część I. Badania nad możliwością rolniczego wykorzystania odpadów wytworzonych w Zakładach Chemicznych „Police” S. A. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 33-38
 147. Krzywy J. 2001. Działanie odpadowego siarczanu (VI) żelaza (II) na planowanie mieszanki traw i efektywność enzymatyczną gleby. Praca doktorska wykonana w Katedrze Chemii Rolnej Środowiska Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w Olsztynie, s. 92
 148. Krzywy J., Baran S., Krzywy E. 2002. Wpływ nawozów jednoskładnikowych i wieloskładnikowych na kształtowanie stosunków jonowych K: Mg, K: (Mg + Ca), Ca: P oraz N: S w roślinach uprawnych. Zeszyty Prob. Post. Nauk Rol. 484: 317-323
 149. Krzywy J., Krzywy E. 2002. Wpływ nawozów wieloskładnikowych oraz odpadu przemysłowego zawierającego siarkę i żelazo na niektóre cechy żyzności gleb. III Ogólnopolskie Sympozjum Naukowo-Techniczne „Bioremediacja gruntów”, Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Katedra Biotechnologii Środowiskowej oraz Komitet Biotechnologii przy Prezydium PAN, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Wisła-Jarzębata, 10-13 grudnia 2002, s. 225-230
 150. Krzywy J., Pasikowski K., Krzywy E. 2003. Wpływ mineralnych nawozów wieloskładnikowych i $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na kształtowanie stosunków jonowych w korzeniach rzodkiewki. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 494: 241-246
 151. Krzywy-Gawrońska E. 2007 Analiza chemiczna gleb, nawozów i roślin. Wyd. AR Szczecin, ss.199

152. Kucharzewski A., Nowak L. 2004. Żelazo i mangan w glebach ornym Dolnego Śląska. *Rocz. PZH*. 55: 105-111
153. Kulczycki G., Karoń B. 2003. Wpływ wybranych zakładów przemysłowych na zawartość siarki w glebach i roślinach. *Zesz. Probl. Nauk Post. Rol. Cz. II*. 434: 777-786
154. Kulig B., Ziółek W. 1996. Produktywność bobiku w warunkach nawożenia wieloskładnikowymi nawozami mikroelementowymi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434: 173-177
155. Kurek E., Jaroszuk J. 1993. Żelazo w glebie jako czynnik biokontrolujący rozwój patogenów korzeniowych. *Post. Nauk Rol.* 40 (4): 69-80
156. Lewandowska B. 1993. Chlebowe odmiany pszenicy. *Agrochemia* 3: 3-4
157. Lewicki M., Kałucki K. 1998. Odpadowy $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ jako katalizator w procesie utleniania SO_2 w roztworze. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. *Politechnika Szczecińska* 547: 142-146
158. Lista odmian roślin rolniczych. 1997. Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, pod. red. Gacka E. Słupia Wielka, 91-92
159. Lityński T., Jurkowska H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN. Warszawa. ss. 642
160. Łabuda S. 1994. Skład pierwiastkowy nawozów w Polsce. *Annales UMCS. Sectio E*. 49: 133-147
161. Łabuda S. 1998. Składniki nawozowe w dolistnych nawozach Insol w porównaniu ze składem pierwiastkowym roślin uprawnych. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (190) 72: 191-197
162. Łabuda S., Filipek T., Dechnik I. 1992. Reakcja owsa na zróżnicowane formy wapnia i magnezu w doświadczeniu modelowym. *Rocz. Gleb.* 43: 29-35
163. Majcherczak E., Kozera W., Nowak K., Barczak B. 2006. Zawartość makroelementów oraz stosunki jonowe w ziarnie jęczmienia jarego w warunkach dolistnego nawożenia mikroelementami. *J. Elementom.* 11(1): 43-48
164. Marska E., Nowak W. 2001. Jak rozpoznać objawy niedoboru pierwiastków mineralnych niezbędnych dla roślin. *Poradnik praktyczny*. Szczecin, ss. 61
165. Marska E., Wróbel J. 2000. Znaczenie siarki dla roślin uprawnych. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (204) 81: 69-76

166. Masztalerz O. 1996. Nawozy wieloskładnikowe. Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Red. Czuba R. Z. Ch. "Police": 78-84
167. Mc Grath S.P., Zhao F.J. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Scien. Cambridge* 126: 53-62
168. Mengel K., Kirkby E. A. 1983. Podstawy żywienia roślin. PWRiL. Warszawa, ss. 526
169. Mercik S., red. 2002. Chemia rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne. Wyd. SGGW. Warszawa, ss. 287
170. Messick D.L., Fan M. X. 1999. PNS gains global momentum. *Sulphur* No 260
171. Metson J.A., 1984. Sulphur in forage drops, The Sulphur Institute, Washington, Techn. Bull. No 20
172. Morris R. J., 1988, Sulphur – the fourth major plant nutrient, *Proc. of Intern. Symp., on "Sulphur for Korean agriculture"*. Seoul, Korea, 9-16
173. Motowicka – Terelak T. 1989. Badania modelowe nad mechanizmem i skutkami degradacji gleb zanieczyszczonych związkami siarki. Cz. I. Zmiany właściwości chemicznych gleby gliniastej w warunkach systematycznego zasilania. *Pamięt. Puł.* 94: 11-27
174. Motowicka – Terelak T., Terelak H. 1994. Residual effect of acid rain on the soil. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 413: 235-240
175. Motowicka – Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. *PIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Warszawa, ss. 95
176. Motowicka – Terelak T., Terelak H. 2000. Siarka w glebach i roślinach Polski. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae* (204) 81: 7 – 16
177. Narendra S., Metha S.C., Marendra S., Mittal S.B., Singh N., Singh M. 1992. Effect of potassium and magnesium application on quality and grain yield of wheat. *Journal Potassium Res.* 8 (3): 231-238
178. Narkiewicz-Jodko J. 1986. Wstępne badania nad stosowaniem insektycydów w nawożeniu dolistnym w warzywnictwie. *Materiały XXVI Sesji IOR*: 299-310
179. Narkiewicz-Jodko J. 1989. Nowości w ochronie warzyw przed szkodnikami i chorobami. *Materiały Ogólnopolskiej Konf. „Nowości w produkcji warzyw gruntowych”*. Poznań: 65-67

180. Narkiewicz-Jodko J., Tomczak J., Nowosielski O. 1988. Skuteczność Florogamy O w zwalczaniu szkodników roślin warzywnych. Materiały Konf. NOT. Warszawa: 27-41
181. Narkiewicz-Jodko J., Tomczak J., Nowosielski O. 1989. Nawozy dolistno-ochronne w ochronie warzyw przed szkodnikami. Biul. Warz. Supl. A I: 75-82
182. Nita Z. 2005. Zboże wysokiej jakości. Polecamy nasze odmiany. Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Wyd. 2: 102-106
183. Nowak W., Wołoszyk Cz. 1994. Wpływ nawożenia mineralnego na zmiany odczynu i zawartości przyswajalnych form magnezu, manganu, cynku i miedzi w glebie 4: 166-168
184. Nowosielski O. 1986. Florogama Ochroniarska FGO – pierwszy nawóz dolistno ochronny. Ochrona Roślin 7: 14
185. Nowosielski O. 1989. Ekologiczny sposób nawożenia i ochrony roślin ogrodniczych. Biul. Warz. Supl. A I: 61-64
186. Nowosielski O., Dziennik W., Kotlińska T., Narkiewicz-Jodko J., Dobrzańska J. 1987. The biological basis of plant protecting foliar fertilizers efficiency and their use in vegetable production. Acta Horticulturae 222: 105-117
187. O'Neil P. 1998. Chemia środowiska. PWN. Warszawa – Wrocław, ss. 308
188. Orlik T., Wesołowska-Janczarek M., Marzec M. 2005. Porównanie wpływu dolistnego dokarmiania i nawożenia doglebowego na plonowanie zbóż w terenach erodowanych. Acta Agrophys. 5 (2): 367-375
189. Orłowski M., Kołota E. 1999. Uprawa warzyw. Szczecin, ss. 367
190. Osińska M., Kołota E. 1998. Wykorzystanie Ekolistu w nawożeniu dolistnym warzyw polowych, uprawianych przy różnych dawkach azotu. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae (190) 72: 247-252
191. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Wyd. IOŚ, ss. 333
192. Pałka M., Bobrecka-Jamro D., Jarecki W. 2003. Wpływ wieloskładnikowych nawozów dolistnych na skład chemiczny nasion oraz wydajność tłuszczu i białka rzepaku jarego. Acta Agrophys. 85: 277-287
193. Panak H. 1995. Przewodnik metodyczny do ćwiczeń z chemii rolnej. Wyd. ART. Olsztyn, ss. 255

194. Panak M., Wojnowska T. 1982. Wpływ zróżnicowanego wysycenia pojemności sorpcyjnej gleb kationami Ca, Mg, K na plonowanie i skład chemiczny kukurydzy i gorczycy białej. *Rocz. Glebozn.* 33: 37-46
195. Park H. 1988. Physiological role of sulphur in plants. International Symposium on "Sulphur for Korean agriculture". Seoul, Korea. *Proc.* 77-93
196. Pasikowski K. 1996. Nawożenie rzepaku ozimego. *Rada* 7-8: 24-25
197. Pasikowski K. 1997. Nawozy wieloskładnikowe w nawożeniu ziemniaków. *Rada* 3: 23
198. Pasikowski K. 2000. Wykorzystanie 7 hydratu siarczanu (VI) żelaza (II) do celów nawozowych. Praca doktorska wykonana w Katedrze chemii Rolnej AR w Szczecinie, s. 95
199. Paul E. A., Clark F. E. 2000. Mikrobiologia i biochemia gleb. Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, ss. 400
200. Pedersen C. A. 1992. Sulphur deficiency in oilseed rape in Denmark. *Proc. Twenty ESA Congr. Warwick*, 280 – 281
201. Piskornik Z. 1994. Fizjologia roślin. Cz. 1. Wyd. AR Krak. Skrypt AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, ss. 420
202. Podolska G. 2005. Efektywne nawożenie pszenicy ozimej. *Raport Rolny* 6 (47): 53-55
203. Pojewska A. 2004. Dożywiać ziemniaki przez liście. *Top Agrar Polska Magazyn Nowoczesnego Rolnictwa* 5: 84
204. Pollo I. 1998. Wczoraj i dziś problemu w procesach technologicznych. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 9-10
205. Polska Norma PN – ISO 10390. 1997. Jakość gleby. Oznaczanie pH. Wydaw. Polski Komitet Normalizacyjny.
206. Polska Norma PN – ISO 11261. 2002. Jakość gleby. Oznaczanie azotu ogólnego. Zmodyfikowana metoda Kjeldahla. Wydaw. Polski Komitet Normalizacyjny.
207. Polska Norma PN – R – 04022. 1996. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. Wydaw. Polski Komitet Normalizacyjny.
208. Polska Norma PN – R – 04023. 1996. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. Wydaw. Polski Komitet Normalizacyjny.

209. Pondel H, Terelak – Motowicka T., Terelak H., Wilkos S. 1979. Właściwości chemiczne gleb Polski. Pamięt. Puł. Supl. Zesz. 71: 189
210. Przepiera A. 1998. Zagospodarowanie odpadów powstałych w procesie produkcji dwutlenku tytanu metodą siarczanową. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 63-68
211. Przepiera A., Przepiera K., Straszko J. 1998. Wykorzystanie odpadowego siarczanu żelaza (II) do produkcji strączanych pigmentów żelazowych. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 137-141
212. Raport Roczny. 2008. Zakłady Chemiczne „Police” SA s. 44 (<http://www.zchpolice.com/sites/default/files/Police-RR-2008-PL.pdf>)
213. Raport Rolny. 2008. 4 (81) 04: 33-35
214. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. Nr 134, poz. 1140)
215. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008r. w sprawie wykonywania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 119, poz. 765)
216. Ruszkowska M., Wojcieszka-Wyskupajtyś U. 1996. Mikroelementy – fizjologiczne ekologiczne aspekty ich niedoborów i nadmiarów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 1-11
217. Sady W. 2000. Nawożenie warzyw polowych. Kraków, ss. 97
218. Schnug E. 1991. Sulphur nutritional status of European crops and consequences for agriculture. Sulphur in Agriculture 17: 8-12
219. Siuta J. 1991. Ekologiczne skutki uprzemysłowienia Polic. Instytut Ochrony Środowiska IOŚ. Warszawa, ss.29
220. Skinder N. 1991. Chemia a ochrona środowiska. WSiP. Warszawa, ss. 235
221. Skrzypek J. 1998. Zagospodarowanie odpadowego siarczanu żelazowego w budownictwie, IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 59-62

222. Skwierawska M., Zawadzki B., Zawartka L., Nogalska A. 2006. Wpływ różnych dawek i form siarki na zawartość i pobranie wapnia przez rośliny. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 512: 545-554
223. Solan M. 2007. Rzepak-roślina z perspektywą. Raport Rolny 12 (77): 17-19
224. Sołtysik B. 1998. Otrzymanie żółcieni żelazowej z odpadowego siarczanu żelaza (II) z wyeliminowaniem żelaza metalicznego surowca. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 169-172
225. Strzyszczyński Z., Truszkowska S. 1985. System monitoringu zanieczyszczeń gleb w Polsce: stan, potrzeby, perspektywy. Arch. Ochr. Środ. 1-2: 69-80
226. Suchorska-Orłowska J., Jadczyk D., Brzostowska-Żelechowska D. 2004. Zmiany zawartości i wzajemnych proporcji fosforu, potasu i wapnia w szpinaku nowozelandzkim, w zależności od poziomu nawożenia azotowego. Fol. Univ. Agric. Stetin. Agric 242 (98): 161-168
227. Sweeney P.M. 1995. Commercial development of sulphur fertilizers in Europe. Sulphur in Agriculture 19: 68-73
228. Szewczuk C. 2003. Wpływ stosowania wybranych nawozów dolistnych na przezimowanie i plony nasion rzepaku ozimego. Acta Agrophys. 85: 289-295
229. Szewczuk C. 2008. Dolistne dokarmianie roślin makroelementami. Nasza Rola 2: 22-25
230. Szewczuk C., Michałojć Z. 2003. Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. Acta Agrophys. 85: 19-29
231. Szewczuk C., Sugier D., Studzińska-Jaksim P. 2003. Wpływ dokarmiania dolistnego na plony i jakość szyszek chmielu, Acta Agrophys. 85: 297-304
232. Sztuder H. 2007. Produkcyjna i ekologiczna ocena różnych sposobów aplikacji nawozów w uprawie pszenicy ozimej. Inżynieria Rolnicza 3 (91): 167-172
233. Sztuder H., Świerczewska M. 1997. Agrochemiczna i ekonomiczna ocena nawozów płynnych w badaniach rolniczych. Frag. Agronom. PTNA. Rzeszów 3: 159-165
234. Sztuder H., Świerczewska M. 2002. Wpływ nawozów dolistnych na cechy jakościowe ziarna niektórych odmian pszenicy ozimej i jarej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 484: 669-674

235. Szulc P., Piotrowski R., Drozdowska L., Skinder Z. 2000. Wpływ nawożenia siarką na plon i akumulację związków siarki w nasionach rzepaku jarego odmiany Star, *Folia Univ. Agric. Stein., Ser Agriculturae* (204) 81: 133-142
236. Szymczyk R. 2001. Lista opisowa odmian. COBORU. Słupia Wielka, ss. 173
237. Szymczyk R. 2002. Lista opisowa odmian. COBORU. Słupia Wielka, ss. 230
238. Świeboda M. 1977. Zawartość dwutlenku siarki w atmosferze ziemskiej i jego wpływ na roślinność. *Wszechświat* 7-8: 193-197
239. Terelak H., Piotrowska M., Motowicka – Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K. 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 45-60
240. Thompson L. M., Troeh F. R. 1978. Gleba i jej żyzność. PWRiL. Warszawa, ss. 546
241. Trefler B. 2004. Bezodpadowa metoda utylizacji azbestu i wyrobów zawierających azbest. VI Konf. "Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie". Międzyzdroje, 11–14 maja 2004. Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s.107 (streszcz.)
242. Underwood S.J. 1971. Żywienie mineralne zwierząt. PWRiL, Warszawa
243. Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r. (DZ. U. 147. 1033)
244. Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. (DZ. U. 62. 628)
245. Uziak Z., Szymańska M. 1987. Wpływ siarki na skład chemiczny biomasy słonecznika i seradeli. *Pamięt. Puł.* 89: 131 – 141
246. Warechowska M., Domska D., Bobrzecka D. 2002. Wpływ techniki dokarmiania dolistnego na plon i jakość ziarna pszenżyta jarego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 484: 725-734
247. Warteresiewicz M. 1979. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza dwutlenkiem siarki na wybrane gatunki roślin w rejonie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *Arch. Ochr. Środ.* 1: 95-166
248. Wielebski F., Wójtowicz M. 1993. Wpływ wzrastających dawek siarki na plony nasion i zawartość glukozyolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku podwójnie ulepszanego. *PNR* 6: 63-67
249. Witek A. 1999. Dolistne dokarmianie upraw ziemniaków. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 4: 13-18

250. Witek A. 2003. Technologie dolistnego dokarmiania roślin w uprawach polowych. Rozpr. Nauk. AR Lublin, s. 265
251. Wołoszyk C., Krzywy E., Jakubowski W. 2000. Badania nad rolniczym wykorzystaniem odpadów komunalnych i przemysłowych. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae (221) 84: 527-532
252. Wołoszyk C., Krzywy E., Jakubowski W. 2001. Wpływ nawożenia kompostem i odpadami przemysłowymi na niektóre wskaźniki żyzności gleb lekkich. Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agriculturae (223) 89: 191-198
253. Wyszkowski M. 2001. Wpływ magnezu na kształtowanie plonów i wzajemnych relacji między niektórymi jonami w roślinach. Rozprawy i Monografie. Uniwersytet Warmińsko – Mazurski. Olsztyn 52. s. 92
254. Wyszkowski M., Ciećko Z. 2002. Wpływ nawożenia na relacje między jonami w roślinach, Wieś Jutra 11 (52): 7-8
255. Zawadzki S. 2006. Gleboznawstwo. PWRiL, ss.560
256. Zhao F. J., Mc Grath S. P., Salmon S. E., Shewry P. R., Quayle R., Withers P.J.A., Evans E. J., Monaghan J. 1997. Optimising sulphur inputs for breadmaking quality of wheat. Aspects of Applied Biology 50: 199-205
257. Zieliński S. 1998. Zagospodarowanie odpadów przemysłu chemicznego. Możliwości i perspektywy. IV Konf. Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle chemicznym i rolnictwie. Łukęcin, 18-21 maja 1998. Politechnika Szczecińska 547: 17-26
258. Zimny L., Mandecki R., Waclawowicz R., Śniady R. 2005. Produktowność płodozmianu: burak cukrowy-pszenica jara-jęczmień ozimy uwarunkowana zróżnicowanym nawożeniem organicznym i wzrastającymi dawkami azotu mineralnego. Annales UMCS. Sec. E. Vol. 60: 237-248
259. Zimny L., Malak D. 1997 Reakcja pszenżyta ozimego na roczny stopień skażenia gleby lekkiej i średniej. Cz. II. Skażenie siarką. Rocz. Nauk. Rol. Ser. A, 112 (3-4): 37-44
260. Ziółek E. 1984. Wpływ nawożenia mikroelementami na plon i jakość nasion bobiku. Acta Agraria et Silvestria. Ser. Agraria 23: 177-185
261. Zonn S. W. 1982. Żelazo w porzeczkach. IZD. „Nauka” Moskwa, ss. 207
262. Zych A. 2005. Metodyka integrowanej produkcji ziemniaków. Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa. Główny Inspektorat. Warszawa, ss. 86

- 263. Zych J. 1997. Nowe odmiany owsa i pszenżyta. Por. Gosp. 2: 19
- 264. <http://manta.univ.gda.pl/~jbogalec/p.html>
- 265. <http://hr-strzelce.pl/bosman.pdf>