UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI
w Olsztynie
Wydział Rolnictwa i Kształtowania Środowiska

---

mgr inż. Andrzej Żołnowski

ODDZIAŁYWANIE NAWOŻENIA NA ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW W ZIEMNIAKU PODCZAS WEGETACJI I PRZECHOWYWANIA*

Praca doktorska wykonana
w Katedrze Chemii Środowiska
pod kierunkiem
prof. dr hab. Zdzisława Ciećko

Olsztyn, 2000

---

* – praca dofinansowana przez KBN, wykonana w ramach projektu badawczego Nr 5 P06B 098 08

SPIS TREŚCI

Str.

1. WSTĘP I CEL PRACY 3
2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA 4
   2.1. Charakterystyka glikoalkaloidów ziemniaka 4
   2.2. Oddziaływanie glikoalkaloidów na organizmy żywe 5
   2.3. Glikoalkaloidy jako składnik mechanizmu odpornościowego ziemniaka 7
   2.4. Czynniki wpływające na zawartość glikoalkaloidów w ziemniaku 9
      2.4.1. Faza rozwojowa roślin 9
      2.4.2. Odmiana ziemniaka 10
      2.4.3. Nawożenie 12
      2.4.4. Nasłonecznienie, temperatura i opady w czasie wegetacji 14
      2.4.5. Warunki podczas przechowywania bulw 15
   2.5. Możliwości obniżania zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka 16
WARUNKI I METODYKA BADAŃ 18
   2.1. Charakterystyka badanej odmiany 18
   2.2. Metodyka doświadczeń polowych 19
   2.3. Warunki glebowe i klimatyczne 20
   2.4. Dane agrotechniczne i przebieg wegetacji 23
   2.5. Metodyka analiz laboratoryjno – chemicznych 26
   2.6. Metodyka obliczeń statystycznych 29
4. OMÓWIENIE WYNIKÓW 30
   4.1. Zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka 30
      4.1.1. Oddziaływanie nawożenia NPK przy doglebowym i dolistnym stosowaniu azotu 32
      4.1.2. Oddziaływanie doglebowego i dolistnego nawożenia magnezem .. 34
      4.1.3. Oddziaływanie nawożenia potasem 37
      4.1.4. Kształtowanie się zawartości glikoalkaloidów w liściach ziemniaka w podsumowaniu trzech doświadczeń 39

4.2. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka 40
4.2.1. Oddziaływanie nawożenia NPK przy doglebowym i dolistnym stosowaniu azotu 42
4.2.2. Oddziaływanie doglebowego i dolistnego nawożenia magnezem . 44
4.2.3. Oddziaływanie nawożenia potasem 49
4.2.4. Kształtowanie się zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w czasie wegetacji w podsumowaniu trzech doświadczeń 51
4.3. Zmiany zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas przechowywania 52
4.4. Analiza zawartości glikoalkaloidów w porównaniu do plonu bulw i zawartości wybranych składników 59
5. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA WYNIKÓW 64
6. WNIOSKI 75
7. LITERATURA 77
ZAŁĄCZNIKI 87

1. WSTĘP I CEL PRACY

W ziemniaku uprawnym (*Solanum tuberosum* L.) występuje sześć glikozydów alkaloidowych: α-, β- i γ-solanina oraz α-, β- i γ-czakonina. Wśród nich największą ilość – około 95 % zajmują α-solanina i α-czakonina. Ogólnie związki te określane są skrótem TGA (z ang. total glycoalkaloids) lub też po prostu nazywane są solaniną. Szczególnie duże ilości solaniny występują w organach, gdzie zachodzi intensywna przemiana materii tj. w liściach, kiełkach oraz w miejscach, gdzie nastąpiło uszkodzenie tkanki. Działanie glikoalkaloidów zawartych w ziemniaku nie jest do tej pory dostatecznie poznane. Od dawna znane są właściwości toksyczne tych związków potwierdzone badaniami laboratoryjnymi na zwierzętach. Według niektórych autorów glikoalkaloidy zawarte w ziemniaku mają wpływ na zdrowotność roślin, zwiększając ich odporność na choroby bakteryjne i grzybowe oraz niektóre szkodniki. Działanie to nie jest jednak wyraźnie potwierdzone.

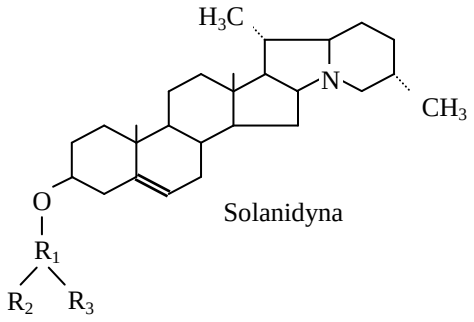
Prace wielu badaczy wskazują, że zawartość solaniny jest zmienna i zależy od szeregu czynników, takich jak: genotyp danej odmiany, warunki wzrostu i rozwoju w danym roku uprawy, nasilenie występowania chorób i szkodników uszkadzających bulwy i liście ziemniaków, wielkość dawek i rodzaje stosowanych nawozów. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach wyższa od 20 mg% eliminuje ich przydatność konsumpcyjną i paszową. W bulwach przechowywanych ilość indukowanej solaniny zależy również od odmiany, temperatury i wilgotności w jakiej są one składowane. Ponadto zawartość glikoalkaloidów w bulwach przechowywanych jest zależna od czasokresu składowania oraz od stopnia ich uszkodzenia.

Celem niniejszej pracy było określenie oddziaływania nawożenia NPK, Mg i K na kształtowanie się zawartości glikoalkaloidów w liściach i bulwach ziemniaka podczas wegetacji, jak też w bulwach podczas ich przechowywania. W badaniach uwzględniono odmianę Mila, należącą do grupy odmian jadalnych średnio wczesnych.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

2.1. Charakterystyka glikoalkaloidów ziemniaka

Glikoalkaloidy są swoistymi substancjami występującymi w rodzinie roślin psiankowatych. Wielu badaczy uważa, że wchodzą one w skład mechanizmu odpornościowego ziemniaka (Fewell i Roddick 1997, Jonasson i Olsson 1994, Mazurczyk i Kuźniewicz 1987). Związki te zbudowane są z aglikonu – solanidyny $C_{27}H_{43}ON$ i części cukrowej powiązanej glikozydowo z aglikonem (rys. 1). W zależności od składu części cukrowej wyróżnić można solaninę i czakoninę. Solanina zawiera trójcukier zbudowany z galaktozy, glukozy i ramnozy. Trójcukier czakoniny składa się z glukozy i dwóch cząsteczek ramnozy (Birecki 1967, Maga 1980, Stankler i wsp. 1994, Yencho i wsp. 1998).



Solanidyna

	R_1	R_2	R_3
Solanidyna	H	-	-
α-solanina	D-Galaktoza	D-Glukoza	L-Ramnoza
α-czakonina	D-Glukoza	L-Ramnoza	L-Ramnoza

Rys. 1 Struktura glikoalkaloidów solaniny i czakoniny występujących w ziemniaku wg. Yencho i wsp (1998)

Stosunek α-solaniny do α-czakoniny występujących w bulwach ziemniaka w zdecydowanej przewadze wynosi około 1:1,5. Pozostałe β- i γ-solanina oraz β- i γ-czakonina są prawdopodobnie związkami pośrednimi, tworzącymi się w procesie syntezy bądź rozpadu glikoalkaloidów głównych, gdyż można je otrzymać przez częściową hydrolizę lub rozkład enzymatyczny substancji macierzystej.

W literaturze za maksymalną dopuszczalną zawartość uważa się 20 mg glikoalkaloidów (α-solanina + α-czakonina) w 100 g świeżej masy bulw (Sinden 1987, Ponnampalam i Mondy 1983). W Polsce wszystkie aktualnie zarejestrowane odmiany ziemniaka charakteryzują się zawartością poniżej 20 mg% TGA. Kryteria obowiązujące w kraju podczas przyjmowania odmian do rejestru to zawartość TGA poniżej 8 mg%, docelowo poziom ten ma wynosić 6 mg% (Kamasa i Borys 1991, Styszko 1999). Nationale Institute of Agriculture Botany (NIAB) w Cambridge zalecił hodowcom ziemniaka wprowadzenie odmian o zawartości glikoalkaloidów nie przekraczającej 6 mg% świeżej masy (cyt. za Panovska i wsp. 1994).

2.2. Oddziaływanie glikoalkaloidów na organizmy żywe

Glikoalkaloidy ziemniaka zaliczane są do fitotoksyn, a ich nadmierna koncentracja w roślinie jest szkodliwa dla ludzi i zwierząt. Ich oddziaływanie jest uzależnione od gatunku zwierzęcia oraz od sposobu podania glikoalkaloidów (Pejcev i wsp 1967). Podczas badań prowadzonych na białych myszach zastosowana wraz z pokarmem dawka 200 mg TGA/kg masy ciała nie wykazała żadnych ujemnych efektów. Ilością toksyczną było dopiero 400 mg/kg m.c., natomiast dla królików dawką toksyczną było już 20 mg/kg m.c. Sposób wprowadzenia glikoalkaloidów do ustroju zwierzęcia również różnicował ich toksyczne oddziaływanie. Dawką śmiertelną LD_{50} dla białych myszy podczas iniekcji dootrzewnowej było 50 mg/1kg m.c., w przypadku królików śmierć następowała po podaniu w ten sam sposób glikoalkaloidów w ilości 10 mg/kg m.c. (Nishie 1977, Pejcev i wsp 1967).

W doświadczeniach na zwierzętach ekstrakt glikoalkaloidowy powodował zmiany ciśnienia tętniczego, oddechu, nasilenie perystaltyki jelit, skurcze naczyń krwionośnych i mięśni gładkich otrzewnej (Pejcev i wsp. 1967)

Omówione powyżej oddziaływanie dotyczy jednak glikoalkaloidów dostarczanych zwierzętom w sposób sztuczny. W badaniach używano paszy wzbogacanej w glikoalkaloidy oraz stosowano bezpośrednie iniekcje ekstraktem glikoalkaloidów. W badaniach prowadzonych przez Phillips i wsp. (1996) karmienie szczurów, myszy i chomików częściami zielonymi ziemniaka w najwyższej możliwej dawce (bez wzbogacania w glikoalkaloidy) nie powodowało ujemnych efektów. Autorzy w doświadczeniu użyli odmiany ziemniaków zawierające zarówno wysokie jak i niskie ilości TGA, lecz efekt ich oddziaływania na zwierzęta laboratoryjne był minimalny. Z powyższego wynika, że glikoalkaloidy zawarte w pożywieniu w naturalnych ilościach znacznie słabiej oddziałują na organizmy niż wprowadzane do ustroju w inny sposób.

W literaturze opisano przypadki zatruć, a także śmierci ludzi na skutek spożycia ziemniaków o zwiększonej zawartości tych substancji (McMillan i Thompson 1979, Morris i Lee 1984). Symptomami zatrucia są: podrażnienie gardła i błon śluzowych, bóle brzucha, nudności i wymioty, krwawa biegunka oraz zapalenie nerwów. Przy większym spożyciu tych związków następują zakłócenia w oddychaniu i w pracy serca (Ulman 1979).

Wykryte toksyczne oddziaływanie glikoalkaloidów na organizmy zwierzęce stało się przyczynkiem do badań prowadzonych przez Renwicka (1972). Autor wysunął wówczas dosyć śmiałą hipotezę, że pewne substancje występujące w ziemniaku powodują u człowieka zniekształcenia szkieletowo-czaszkowe (ASB), tzn. wrodzony brak mózgu – anencephaly i rozszczep kręgosłupa – spina bifida. Autor porównywał dane epidemiologiczne zebrane ze szpitali szeregu krajów Ameryki, Azji, Afryki i Europy z wielkością spożycia ziemniaka w tych państwach. Badając tak obszerny materiał doszedł do wniosku, że teratogen powodujący tę chorobę występuje w ziemniakach szczególnie późną zimą, w bulwach uszkodzonych i porażonych chorobami. Wzmożona zachorowalność na ASB występuje w rejonach, gdzie wzrosło spożycie ziemniaka.

Wyniki badań uzyskane przez Renwicka (1972) spowodowały wzrost zainteresowania tym problemem. Wielu naukowców badało wpływ solaniny na rozwój potomstwa zwierząt. Poswillo i wsp. (1972, 1973) oraz Keeler i wsp. (1975) nie stwierdzili wad rozwojowych u potomstwa szczurów, myszy, chomików i królików, natomiast teratogenne własności karmy ziemniaczanej wykazano u małp.

Przytoczone wyżej wyniki badań wyraźnie przekonują o toksycznym i teratogennym działaniu glikoalkaloidów na organizmy żywe, przy czym wykazano różne ich działanie na poszczególne gatunki zwierząt. Toksyczność była bardzo wyraźnie widoczna w badaniach, gdzie stosowano bezpośrednią iniekcję do krwiobiegu. Mniejszą toksyczność glikoalkaloidów wykazano przy podawaniu ich w pokarmie, mimo iż zawierały ekwiwalent toksyny równy bądź wyższy niż przyjmowany przez zwierzęta w formie iniekcji. Być może wiąże się to z częściową neutralizacją toksycznych właściwości glikoalkaloidów w układzie pokarmowym np. na drodze enzymatycznego rozkładu, a także z nie całkowitym wchłanianiem poprzez układ trawienny.

2.3. Glikoalkaloidy jako składniki mechanizmu odpornościowego ziemniaka

Zawarte w ziemniaku glikoalkaloidy według niektórych autorów silnie ograniczają rozwój grzybów patogenicznych takich jak: *Ascobolus crenulatus, Alternaria brasicola, Phoma medicaginis* i *Rhizoctonia solani* na roślinach ziemniaka. Obie formy glikoalkaloidów (α-solanina i α-czakonina) znacznie ograniczają rozwój grzybów, przy czym czakonina wykazuje większą aktywność niż solanina (Fewell i Roddick 1997). Stwierdzono również synergiczne działanie obu składników. W badaniach prowadzonych przez Roddick i wsp. (1988) efektywność zastosowanej mieszaniny solaniny z czakoniną, wychodziła poza zasięg działania solaniny lub czakoniny stosowanych oddzielnie o około 10 – 20 %.

Mazurczyk i Kuźniewicz (1987) w badaniach z ziemniakami, które inokulowano grzybami z rodzaju *Fusarium* gatunkami *F. solani, F. coeruleum, F. avenaceum* stwierdzili wzrost zawartości solaniny w czasie rozwijania się infekcji, co może świadczyć o reakcji obronnej bulw ziemniaka. Autorzy stwierdzili również, że bulwy zawierające trzykrotnie wyższe zawartości glikoalkaloidów charakteryzowały się dwukrotnie niższym porażeniem przez suchą zgniliznę, co za tym idzie podwyższona zawartość glikoalkaloidów w bulwach zwiększała ich odporność na infekcję *Fusarium*.

Zawartość solaniny w bulwach jest również kluczowym czynnikiem regulującym odporność ziemniaka na uszkodzenia powodowane przez szkodniki (larwy owadów). W badaniach Jonasson i Olsson (1994) odmiany o wysokiej odporności na uszkodzenia powodowane przez szkodniki charakteryzowały się około 5 razy wyższą zawartością glikoalkaloidów niż bulwy odmian o niskiej odporności. W każdej z badanych odmian określono koncentrację α-solaniny, α-czakoniny i sumy glikoalkaloidów w poszczególnych strefach bulw tj. w skórce (1-3 mm), w strefie wiązek przewodzących (4-5 mm) i w strefie miąższu (6-20 mm). W wymienionych strefach odmiany odporne zawierały odpowiednio: 172, 8 i 11 mg% TGA natomiast odmiany o niskiej odporności: 23, 3 oraz 0 mg% TGA. Najchętniej wyżeranymi obszarami przez larwy owadów okazały się części wewnętrzne bulw, które zawierały najmniej glikoalkaloidów i jednocześnie większe ilości cukrów. Według Wünsch i Munzert (1994) okolice oczek zawierają 164 mg% w suchej masie, obierzyny – 101 mg%, część naczyniowo-sitowa 8 mg%, natomiast rdzeń bulwy zawiera tylko ślady TGA – 0,164 mg% w suchej masie.

Zróżnicowaną zawartość glikoalkaloidów w ziemniaku stwierdził również Gabriel (1974). Według autora ilość TGA w bulwach (w mg% suchej masy) układała się następująco: zewnętrzna warstwa skórki 106 – 270, cała łupina 6 – 12, cała bulwa 20 – 48, poza tym kiełki świetlne zawierały 563 – 4250 mg%, kiełki etiolowane 1160 – 4370 mg%, liście 510 – 520 mg%, kwiaty 1550 – 3540 mg% i owoce około 320 mg%.

Podczas badań prowadzonych przez Hlywka i wsp. (1994) stwierdzono, że w bulwach uszkodzonych przez szkodniki następuje indukcja syntezy solaniny. Większą ilość glikoalkaloidów zawierały bulwy z roślin uszkodzonych przez stonkę ziemniaczaną niż z roślin nie uszkodzonych. Wyniki te jasno określiły, że w plonie nie chronionym przed szkodnikami może dochodzić do widocznego podnoszenia zawartości naturalnych toksyn – TGA, przez co może obniżać się przydatność użytkowa wyprodukowanych bulw ziemniaka.

Prace hodowlane prowadzone pod kątem obniżenia poziomu glikoalkaloidów w nowych odmianach ziemniaków mogą stwarzać problemy natury odpornościowej. Nowe odmiany stają się bardziej podatne na choroby i szkodniki, co za tym idzie trzeba zwiększać ilości pestycydów w walce z agrofagami. Według Wojdyły (1997) stosowanie niektórych preparatów do chemicznej ochrony ziemniaków może podwyższać ilość glikoalkaloidów w bulwach. Istnieje także ryzyko pozostawania środków chemicznych w bulwach, co może stwarzać kolejny problem w produkcji „zdrowej" żywności.

2.4. Czynniki wpływające na zawartość glikoalkaloidów w ziemniaku

2.4.1. Faza rozwojowa roślin

Zmiany zachodzące w częściach nadziemnych i bulwach w czasie wegetacji zostały szeroko przedstawione przez Kolbe i Stephan-Beckman (1997a, 1997b). Autorzy korzystając z własnych badań oraz szerokiej literatury określili dzienne zmiany w zawartości świeżej i suchej masy bulw i części nadziemnych oraz zmiany w zawartości składników organicznych i nieorganicznych, wśród których znalazła się również solanina. Zmiany te przedstawiono dla poszczególnych faz fenologicznych ziemniaka. Analizy liści ziemniaka w czasie 120 dni wegetacji wykazały, że największą zawartością TGA charakteryzowały się liście najmłodsze. Zawartość

glikoalkaloidów w łodygach na początku wegetacji była stosunkowo niska – 26 mg% suchej masy, następnie wzrosła i pomiędzy 60 – 90 dniem wynosiła około 45 mg%. W czasie zbioru poziom solaniny powrócił do wartości około 25 mg% w suchej masie. Autorzy oznaczyli również łączną zawartość glikoalkaloidów w mg na roślinę, co może obrazować dynamikę ich nagromadzania. Rośliny badano co 15 dni przez okres czterech miesięcy. Zawartość TGA wahała się od 13 do 179 mg/roślinę. Odnotowano, że pomiędzy 60 i 75 dniem rośliny stopniowo zaczęły „tracić" glikoalkaloidy. Wielkość tego spadku pomiędzy 60 i 75 dniem wynosiła 1,54; 75 i 90 dniem 2,19; 90 i 105 dniem 1,91 oraz pomiędzy 105 i 120 dniem 1,27 mg/roślinę/dzień. Obliczono także zawartość TGA w bulwach spod jednej rośliny oraz wielkość ubytku solaniny w trakcie wegetacji. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach na początku wegetacji (bulwy bardzo młode) wynosiła około 45 mg% w suchej masie i również regularnie spadała osiągając 120 dnia zawartość około 25 mg% w suchej masie. Autorzy stwierdzili, że zawartość solaniny relatywnie wysoka w bulwach młodych ulegała „rozcieńczeniu" w trakcie wzrostu bulw, co dało widoczny spadek jej zawartości na skutek nagromadzania suchej masy pod koniec wegetacji.

2.4.2. Odmiana ziemniaka

Wielu autorów uważa, że czynnikiem od którego w pierwszym rzędzie zależy wielkość akumulacji glikoalkaloidów przez ziemniak jest genotyp uprawianej odmiany. Z takim poglądem można się spotkać między innymi w pracach Griffiths i wsp. (1994), Cieślik (1997), Kaaber (1992).

Uprawiane odmiany ziemniaka mogą niekiedy różnić się bardzo istotnie zawartością glikoalkaloidów, która jest w dużym stopniu modyfikowana warunkami pogodowymi panującymi w roku uprawy (Frydecka-Mazurczyk i Zgórska 1996).

Mazurczyk (1988) w badaniach z 36 odmianami ziemniaka stwierdził bardzo szerokie zróżnicowanie koncentracji TGA w bulwach. Odnotowane zawartości wynosiły od 2,2 mg% u odmiany Elipsa do 15,0 mg% w bulwach odmiany Ronda. Na ogół niższe stężenie TGA występowało w odmianach jadalnych w porównaniu ze skrobiowymi.

Podobnie o wysokiej zmienności odmian co do kumulacji TGA w bulwach ziemniaków donoszą Świniarski i Jacniacka (1979). W badaniach autorów zawartość glikoalkaloidów w bulwach wahała się od 2,7 mg% u odmiany Pola do 22,0 mg% u odmiany Prosna.

Według Sinden (1987) bardzo ważnym jest określenie „predyspozycji" ziemniaka do nagromadzania wysokich ilości glikoalkaloidów. Dotyczy to szczególnie odmian uzyskiwanych przez krzyżowanie, mające na celu podniesienie lub wsparcie mechanizmów odpornościowych, z roślinami zawierającymi z natury wysokie ilości glikoalkaloidów np. *Solanum chaconense* L.

Wysoką zmienność zawartości glikoalkaloidów pomiędzy odmianami stwierdził również Kaaber (1992). Wykazane różnice były także uzależnione od roku badań. W roku 1989 rozpiętość w zawartościach była większa (9,6 – 45,9 mg%) niż w roku 1990 (9,6 – 18,1 mg%).

Niekiedy w bulwach ziemniaka stwierdza się trudne do wyjaśnienia duże wahania w nagromadzaniu glikoalkaloidów. W 1986 roku w Szwecji nieoczekiwanie wykryto toksyczny poziom zawartości glikoalkaloidów α-solaniny i α-czakoniny w uprawianej odmianie ziemniaka Magnum Bonum. Na podstawie 300 wykonanych analiz Hellenäs i wsp. (1995b) ustalili, że bulwy ziemniaka tej odmiany zawierały od 6,1 do 66,5 mg% TGA. Spośród zbadanych prób 66% przewyższało normę 20 mg%, a 8 % zawierało ponad 40 mg%. Ten nieoczekiwany wzrost poziomu TGA przypisywano znacznemu ochłodzeniu i deszczom panującym pod koniec wegetacji w 1986 roku. Prowadzone równolegle badania ścisłe obaliły tę tezę. Pozostałe szwedzkie odmiany uprawiane w tym samym czasie nie wykazały tak nieoczekiwanego wzrostu poziomu TGA.

2.4.3. Nawożenie

Czynnikiem modyfikującym ilość glikoalkaloidów w ziemniaku jest nawożenie a składnikiem, który w zasadniczy sposób wpływa na wielkość syntezy solaniny jest azot. W badaniach wielu autorów Mondy i Munschi (1990), Rogozińska (1995), Wojdyła (1997) stwierdzono regularny wzrost zawartości TGA na skutek stosowania wzrastających dawek azotu

Wpływ azotu na syntezę glikoalkaloidów potwierdzili w swych badaniach również Mazur i wsp. (1986) oraz Mazur i Wojtas (1992). Składnik ten powodował podwyższenie zawartości solaniny oraz spadek koncentracji witaminy C w bulwach.

W doświadczeniu prowadzonym przez Love i wsp. (1994) odmiany ziemniaka: Gemchip, Norchip i Russet Burbank na zwiększone nawożenie azotem również reagowały wzrostem zawartości TGA. Średnia ilość TGA dla tych odmian wzrosła z 3,7 mg% na obiekcie nie nawożonym azotem do 4,6 mg% na obiekcie, gdzie zastosowano maksymalną dawkę – 336 kg N/ha. Podobne wyniki uzyskali też Mondy i wsp. (1988) stosując w doświadczeniu z odmianą Katahdin wzrastające dawki azotu w zakresie od 0 do 246 kg N/ha. Bulwy zebrane z poletek nawożonych azotem charakteryzowały się zwiększoną zawartością glikoalkaloidów, większą skłonnością do ciemnienia miąższu oraz zwiększoną zawartością fenoli i azotanów.

Ilość glikoalkaloidów zawartych w ziemniaku według Cieślik (1995) jest istotnie skorelowana z zawartością azotu ogółem, azotu amidowego oraz aminokwasów – kwasu asparaginowego i glutaminowego.

Nowacki i wsp. (1975) wielkość nagromadzania glikoalkaloidów łączą pośrednio z nawożeniem azotowym, twierdząc, że glikoalkaloidy ziemniaka są produktem ubocznym (odpadowym) powstającym podczas przemian metabolicznych związków azotowych w roślinach ziemniaka.

Magnez jest składnikiem nawozowym, który podobnie jak azot może powodować wzrost zawartości solaniny w ziemniaku (Evans i Mondy, 1984).

W badaniach prowadzonych przez Mondy i Ponnampalam (1985) zastosowany magnez spowodował istotny wzrost zawartości TGA w bulwach ziemniaka. Autorzy zaznaczyli jednak, że po 5-ciu miesiącach przechowywania bulw różnice pomiędzy obiektami nawożonymi magnezem i nie nawożonymi tym składnikiem obniżyły się do poziomu nie istotnego.

Odmienne zdanie na temat oddziaływania magnezu na zawartość solaniny w bulwach przedstawia Rogozińska (1991). W badaniach autorki zastosowanie magnezu łączyło się ze spadkiem ilości solaniny w bulwach ziemniaka.

Rozpatrując wpływ nawożenia na zawartość glikoalkaloidów w ziemniaku należy zaznaczyć, że w stosunku do azotu i magnezu inaczej oddziałuje potas. Według Mazurczyka (1986) potas powoduje obniżenie zawartości solaniny. Za podstawę rozważań autor przyjął doświadczenie z pięcioma odmianami ziemniaka, w którym stosował potas w dawkach 100 i 240 kg/ha. Wysoka dawka tego składnika zmniejszyła poziom glikoalkaloidów w bulwach zebranych po zakończeniu wegetacji. Autor powyższe działanie tłumaczy tym, iż potas wpływa na obniżenie zawartości cukrów redukujących, których obecność jest konieczna w przekształcaniu solanidyny w solaninę i czakoninę. Redukcję poziomu glikoalkaloidów pod wpływem wzrastających dawek potasu wykazali również Ahmed i Müller (1979).

Czynnikiem wpływającym na ilość glikoalkaloidów gromadzonych przez bulwy ziemniaka może być rodzaj stosowanych nawozów. W Szwecji autorzy Hellenäs i Branzell (1995) podjęli próbę określenia wpływu nawozów organicznych i mineralnych na poziom TGA. Wykazali, że ziemniaki rosnące na nawozach organicznych gromadziły niższe ilości α-solaniny i α-czakoniny niż nawożone mineralnie. W badaniach Zhang i wsp. (1997) nawożenie organiczne w ilości 22 t/ha kompostu i 45 t/ha obornika nie wpłynęło istotnie na zmiany zawartości TGA w bulwach.

2.4.4. Nasłonecznienie, temperatura i opady w czasie wegetacji

Czynnikami decydującymi o zawartości glikoalkaloidów w bulwach są światło, temperatura oraz ilość opadów w czasie trwania wegetacji (Dale i wsp. 1993). Chungcharoen i wsp. (1987) stwierdzili, że ilość solaniny indukowanej przez bulwy ziemniaka rośnie wraz z intensywnością oświetlenia i długością fotoperiodu. W badaniach autorów niższą zawartość TGA wykryto w bulwach ziemniaków rosnących w temperaturze 16 °C niż w 12 °C.

Bulwy zazielenione, czyli te, które wystają nad powierzchnię gleby z reguły zawierają wyższe ilości TGA niż bulwy nie narażone na bezpośrednie działanie promieni słonecznych. Badania oddziaływania światła dziennego na gromadzenie glikoalkaloidów przez bulwy przeprowadzili Percival i wsp. (1996). Do doświadczenia użyto trzy odmiany ziemniaka o różnej barwie skórki: Pentland Hawk o barwie białej, Kerrs Pink – różowej i Desiree – czerwonej. W miarę upływu czasu następował wzrost zawartości TGA w bulwach wszystkich odmian. Po zakończeniu doświadczenia odmiany istotnie różniły się zawartością solaniny oraz przekroczyły dopuszczalny poziom 20 mg% TGA. Przekroczenie to w przypadku odmian Desiree i Kerrs Pink nastąpiło już po ośmiu dniach, natomiast u odmiany Pentland Hawk po trzynastu dniach. Oddziaływanie światła słonecznego na ilość indukowanej solaniny potwierdza też w swoich badaniach Keukens (1995) twierdząc, że ekspozycja świetlna bulw przez 6 godzin spowodowała w nich istotny wzrost poziomu solaniny. Pozostawienie bulw na polu przez trzy dni przyczyniło się do około 10-ciokrotnego wzrostu ilości TGA w porównaniu do zawartości, jaką zawierały tuż po zbiorze.

Warunki atmosferyczne panujące w czasie wegetacji w bardzo wyraźny sposób rzutują na zawartość solaniny w bulwach ziemniaka. W badaniach Mazurczyka (1988) zawartość glikoalkaloidów w roku 1983 wynosiła 11,7 mg%, podczas gdy w latach 1984 i 1985 odpowiednio 4,0 i 4,4 mg%. Rok 1983 charakteryzował się około 2 razy niższymi opadami, 3 razy większą ilością dni słonecznych oraz średnią dobową temperaturą wyższą o 2 °C

w porównaniu do dwóch kolejnych lat doświadczenia. Z kolei Hellenäs i wsp. (1995b) oraz Sinden i Webb (1974) wykazali większą akumulację w latach mokrych i chłodnych.

2.4.5. Warunki podczas przechowywania bulw

W przechowywanych bulwach może dochodzić do znacznego wzrostu zawartości glikoalkaloidów (Frydecka-Mazurczyk i Zgórska 1993). Wielkość tego wzrostu jest uzależniona od stopnia dojrzałości składowanych bulw. W bulwach niedojrzałych ilość solaniny może wzrastać podczas przechowywania nawet dwukrotnie. Jeżeli bulwy są dojrzałe a warunki przechowywania optymalne tzn. wysoka wilgotność powietrza i odpowiednio niska temperatura, w przechowywanych bulwach może dochodzić do obniżania zawartości solaniny. Zhang i wsp. (1997) badając zawartość solaniny w bulwach ziemniaków odmian Atlantic i Superior w trakcie zbioru oraz po 4 i 5 miesiącach przechowywania w temperaturze 10°C stwierdzili, że przechowywanie działało wyraźnie negatywnie na zawartość witaminy C, natomiast nie stwierdzono istotnych zmian w zawartości glikoalkaloidów. Wzrostu zawartości solaniny nie stwierdzono również podczas 6-ciomiesięcznego okresu przechowywania w badaniach Wünsch i Munzert (1994). Pomimo istotnych różnic odmianowych, poziom TGA w bulwach wszystkich badanych odmian ziemniaków w ciągu przechowywania mieścił się w bezpiecznym zakresie 0 – 20 mg% TGA.

Ilość solaniny w bulwach przechowywanych zależy również od sposobu zbioru, sortowania oraz transportu ziemniaków. Czynności te wpływają na uszkodzenia pouderzeniowe bulw ziemniaków. W ziemniakach uszkodzonych podczas transportu i konfekcjonowania również obserwuje się wzrost zawartości solaniny. Mondy i wsp. (1987) stwierdzili, że bulwy uszkodzone, po przechowywaniu zarówno w niskiej jak i wysokiej

temperaturze, zawierały wyższe ilości glikoalkaloidów i fenoli oraz mniej witaminy C niż bulwy zdrowe przechowywane w tych samych warunkach.

2.5. Możliwości obniżania zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka

Wielu badaczy próbowało określić, w jaki sposób można obniżać ilość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka. W praktyce istnieje pogląd, że część solaniny z bulw można usunąć poprzez ich gotowanie. Pogląd ten jest sprzeczny z wynikami badań prowadzonych przez Takagi i wsp. (1990). Autorzy wykazali, że po gotowaniu w wodzie w bulwach pozostawało >94 % α-czakoniny i 96 % α-solaniny. W czasie gotowania bulw w kuchence mikrofalowej nastąpiła redukcja obu form glikoalkaloidów o około 15 %. W procesie smażenia bulw w temperaturze 157 °C zawartość glikoalkaloidów była nie zmieniona, a w 170 °C ich ilość wykazywała dużą zmienność. Dopiero w temperaturze 210 °C alkaloidy ulegały częściowemu rozpadowi. Po 10 minutach zawartość α-czakoniny spadła do 64,9 %, a α-solaniny do 59,7 % w porównaniu do kontroli. Wyniki Takagi i wsp. (1990) świadczą o relatywnie wysokiej stabilności α-czakoniny i α-solaniny w warunkach, w jakich odbywa się tradycyjne domowe gotowanie ziemniaków. Autorzy sugerują, że temperaturą graniczną w jakiej może zaczynać się dekompozycja glikoalkaloidów jest temperatura 170 °C. Wysoką stabilność solaniny w czasie gotowania potwierdzają też wyniki badań, które przeprowadzili Ponnampalam i Mondy (1983), a także Chungharoen (1989).

Mondy i Gosselin (1988) określili wpływ obierania bulw na ilość glikoalkaloidów i innych składników pozostających w bulwach po ugotowaniu. Stwierdzono, że w bulwach nie obranych następowało migrowanie fenoli do tkanek wewnętrznych, zwiększało się ciemnienie oraz gorzknienie miąższu. Glikoalkaloidy były składnikiem stosunkowo mało labilnym i ich migracja ograniczyła się tylko do tkanki podskórnej. Sugeruje to, że grubość obierania ma istotny wpływ na ilość solaniny pozostającej

w bulwach przeznaczonych do konsumpcji. Teorię tą potwierdzają Mazurczyk (1989) oraz Frydecka-Mazurczyk i Zgórska (1997) podając, że obieranie ziemniaków powoduje zawsze kilkukrotne zmniejszenie w nich zawartości glikoalkaloidów.

Przytoczone wyniki badań wskazują, że zawartość glikoalkaloidów w roślinie ziemniaka jest uwarunkowana wieloma, zarówno wewnętrznymi jak i zewnętrznymi czynnikami. W tej materii zasadniczym wydaje się czynnik genetyczny, gdyż od niego zależy to, czy dana odmiana będzie miała większe, czy też mniejsze tendencje do nagromadzania glikoalkaloidów. Zdania badaczy, co do celowości obniżania ilości glikoalkaloidów na poziomie genotypu, są wyraźnie podzielone. Za obniżaniem poziomu TGA przemawiać może ich toksyczność w stosunku do konsumentów – ludzi i zwierząt. Z kolei za podwyższaniem tego poziomu, choćby przez celowe krzyżowanie z roślinami zawierającymi wysokie ilości glikoalkaloidów np. z *Solanum chaconense* L., może przemawiać szansa uzyskania odmian o podwyższonej odporności na choroby i szkodniki. Niestety ilość solaniny może być w nich wysoka. Niska zawartość solaniny spowodować może nasilanie występowania chorób i szkodników i jednocześnie zmusi rolników do używania pestycydów. Używanie środków chemicznych wiąże się z kolei z niebezpieczeństwem pozostawania ich w roślinach, co również może stanowić problem nie mniejszy niż solanina. Z przytoczonej literatury wynika, że w produkcji ziemniaka zawsze należy liczyć się z wysoką zmiennością odmian co do ilości występujących w nich glikoalkaloidów, a także z wysoką zmiennością ich poziomu w latach uprawy. W rezultacie mamy do czynienia z efektem sumarycznym postępu hodowlanego, klimatu, agrotechniki i przechowywania bulw.

3. WARUNKI I METODYKA BADAŃ

3.1. Charakterystyka badanej odmiany

Materiał badawczy wykorzystany w pracy stanowiła średnio wczesna jadalna odmiana ziemniaka – Mila. Została ona wpisana do rejestru odmian roślin uprawnych w 1980 roku, a wyhodowano ją w ZDZ Bonin. Ziemniaki tej odmiany szczególnie zalecane są do uprawy w województwach północnych i zachodnich. Odmiana Mila według doświadczeń COBORU charakteryzuje się średnim poziomem plonów i średnią zawartością skrobi. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach tej odmiany wynosi średnio 2,4 mg%, a witaminy C 21,3 mg%. Odmiana ta wykazuje dużą przydatność do przetwórstwa spożywczego: na czipsy, frytki, produkty suszone i mrożone. Bulwy odmiany Mila są średniej wielkości, okrągło owalne o płytkich oczkach, żółtej skórce i żółtej barwie miąższu. Smak bulw określono jako dobry, a odmianę zakwalifikowano do typu kulinarnego BC (lekko mączysty). Odmiana Mila wymaga gleb żyznych, a jej wymagania wodne określono na średnie do dużych. Optymalna zalecana dawka azotu podczas uprawy to około 120 kg N/ha. Poza tymi cechami odmiana Mila charakteryzuje się stosunkowo wysoką trwałością przechowalniczą. W 9-cio stopniowej skali (gdzie 1º to ocena najgorsza) uzyskała ocenę 7. Temperatura zalecana do przechowywania bulw tej odmiany wynosi 4ºC (Głuska i Zgórska 1998).

3.2. Metodyka doświadczeń polowych

Badania oparto na trzech doświadczeniach polowych, założonych metodą losowanych bloków w czterech powtórzeniach. Eksperyment prowadzono w latach 1995 – 97 w Stacji Doświadczalnej w Tomaszkowie należącej do AR-T w Olsztynie. W doświadczeniach stosowano stałe nawożenie obornikiem w ilości 25 t/ha.

W doświadczeniu pierwszym, dwuczynnikowym porównywano dwie technologie nawożenia pogłównego azotem przy wzrastającym nawożeniu NPK. Czynnik I rzędu obejmował dwie serie nawożenia pogłównego azotem – doglebowo (tradycyjnie) i dolistnie (w formie oprysku). Nawożenie pogłówne dotyczyło 50% dawki stosowanego azotu. Jako czynnik II rzędu przyjęto wzrastające nawożenie mineralne w zakresie dawek 140; 280; 420 i 560 kg NPK/ha przy stosunku N:P:K - 1:1:1,5.

Celem doświadczenia drugiego było określenie oddziaływania magnezu stosowanego na tle wzrastającego nawożenia NPK. W obrębie czynnika I rzędu porównywano działanie nawożenia NPK z magnezem, który stosowano doglebowo bądź dolistnie. Dawka magnezu przy nawożeniu doglebowym wynosiła 40 kg MgO/ha, a przy stosowaniu dolistnym 20 kg MgO/ha. Jako czynnik II rzędu przyjęto wzrastające nawożenie NPK, w tych samych dawkach jak w doświadczeniu pierwszym.

W doświadczeniu trzecim rozpatrywano jeden czynnik, którym było nawożenie potasem. Dawki potasu wynosiły 0; 80; 160; 240 i 320 kg K_2O/ha. Nawożenie azotem i fosforem było stałe, wynosiło 80 kg N i 80 kg P_2O_5/ha.

W prowadzonych doświadczeniach azot stosowano w postaci mocznika 46% N, fosfor w formie superfosfatu granulowanego potrójnego 46% P_2O_5, potas w postaci soli potasowej 57% K_2O, a magnez w formie siarczanu magnezu 16% MgO.

Celem uproszczenia stosowane w doświadczeniu nawożenie fosforowe, potasowe i magnezowe, w dalszej części pracy skrótowo określano symbolami P, K i Mg.

3.3. Warunki glebowe i klimatyczne

W latach 1995 i 1996 roku ziemniaki uprawiano na glebie rdzawej wytworzonej z piasku słabo gliniastego, klasy V zaliczonej do kompleksu żytniego słabego. W 1997 roku ziemniaki posadzono na glebie płowej wytworzonej z pyłu piaszczystego, klasy IV b. Gleba ta należała do kompleksu żytniego dobrego. Bliższą charakterystykę tych gleb przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Właściwości gleb, na których prowadzono doświadczenia

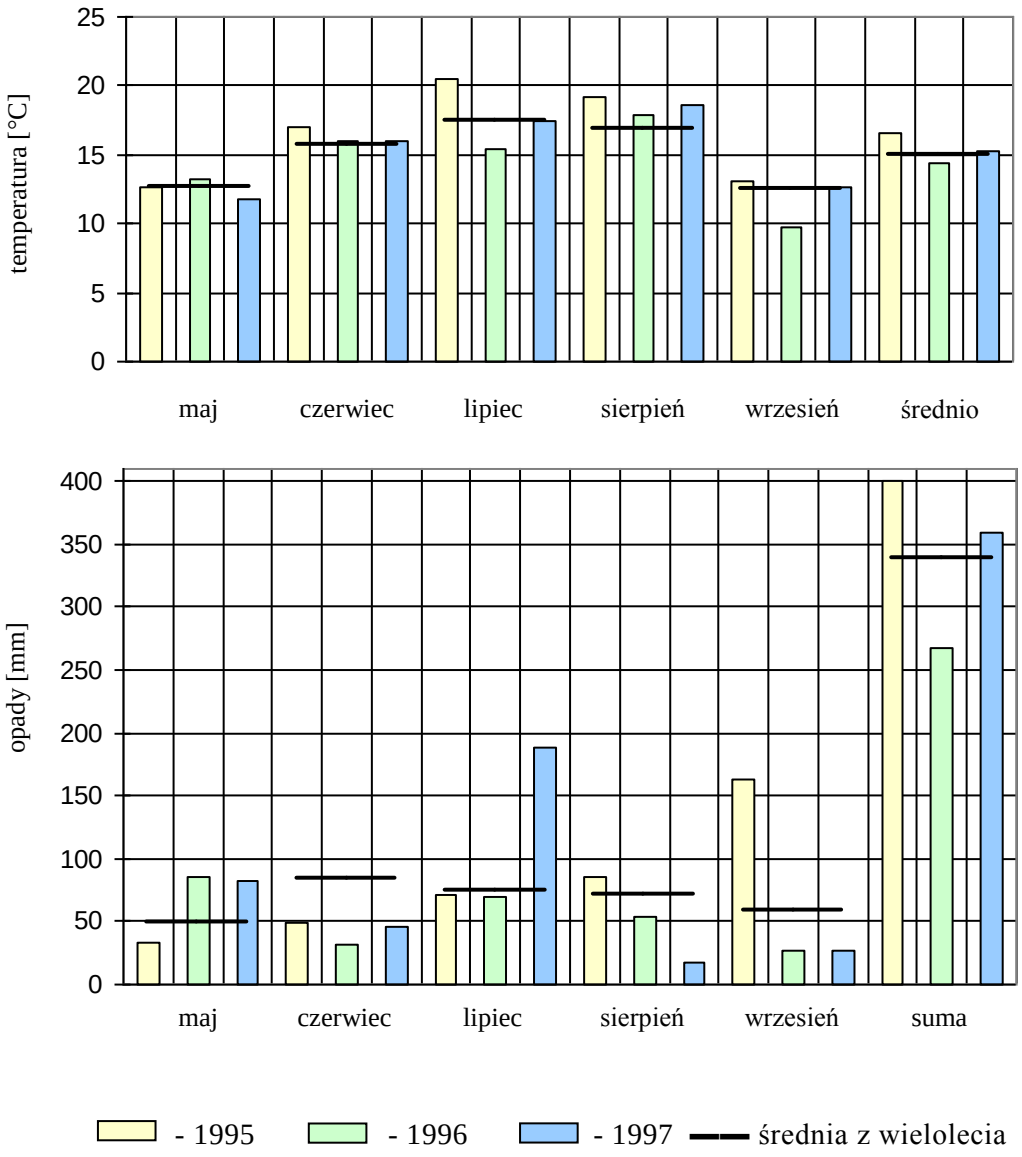
Właściwości gleb	Lata badań		
	1995	1996	1997
Typ	gleba rdzawa	gleba rdzawa	płowa
Gatunek	piasek słabo gliniasty	piasek słabo gliniasty	pył piaszczysty
klasa bonitacyjna	V	V	IV b
kompleks glebowo rolniczy	żytni słaby	żytni słaby	żytni dobry
pH w 1M KCl	4,4	5,1	5,7
pH w H_2O	5,5	6,5	6,8
Hh (mmol H^+/100g gleby)	4,2	3,6	2,4
P_2O_5 (mg/100g g gleby)	11,5	7,7	6,7
K_2O (mg/100 g gleby)	9,7	9,1	7,1
MgO (mg/100 g gleby)	5,6	6,1	6,0

Odczyn gleb (pH) mierzony w 1M KCl i w H_2O w poszczególnych latach wynosił kolejno: w 1995 r. – 4,4 i 5,5; w 1996 r. – 5,1 i 6,5 oraz w 1997 r. – 5,7 i 6,8. Kwasowość hydrolityczna (Hh) tych gleb w kolejnych latach uprawy wynosiła: 4,2; 3,6 oraz 2,4 mmol H^+/100g gleby.

Analizowane gleby charakteryzowały się niską zawartością przyswajalnego fosforu, która w latach 1996-97 wynosiła odpowiednio 7,7 i 6,7 mg P_2O_5. Jedynie w roku 1995 zasobność ta była średnia i wynosiła 11,5 mg P_2O_5/100g gleby. Zawartość przyswajalnego potasu była niska i kształtowała się w kolejnych latach doświadczenia odpowiednio – 9,7; 9,1 oraz 7,1 mg K_2O/100g gleby. Zawartość przyswajalnego magnezu w glebach spod omawianych doświadczeń kształtowała się w granicach

średnich zasobności i wynosiła odpowiednio 5,6; 6,1 i 6,0 mg MgO/100g gleby. Generalnie można stwierdzić, że gleby wykorzystane w doświadczeniu charakteryzowały się niską zasobnością w przyswajalne formy fosforu i potasu oraz średnią zawartością przyswajalnego magnezu.

Warunki klimatyczne panujące w latach 1995-97 obrazuje rysunek 2. Z danych meteorologicznych wynika, iż w latach badań nie zarysowały się duże różnice jeśli chodzi o przebieg temperatur w stosunku do ich wartości średniej z wielolecia. Za okres maj – wrzesień w wieloleciu średnia temperatura wynosiła +15°C. Podczas prowadzonych badań wyższą o 1,5 ˚C temperaturę powietrza stwierdzono w roku 1995 i o 0,3 ˚C w 1997. W roku 1996 temperatura była niższa i wynosiła 14,4°C. W miesiącach letnich tj. czerwiec, lipiec i sierpień najwyższe temperatury odnotowano w roku 1995, a najniższe w 1996. Rozpatrując ilość opadów w latach badań należy stwierdzić, że rok 1995 charakteryzował się największą sumą opadów (400,9 mm) przekraczającą o 62,5 mm średnią z wielolecia (338,4 mm). Najbardziej zbliżonym do średniej sumy opadów z wielolecia był rok 1997 – 359,9 mm. Najmniejsze opady odnotowano w roku 1996, kiedy ich suma za okres maj – wrzesień była mniejsza od średniej z wielolecia o 70,2 mm. W roku tym, jedynie w maju odnotowano większe opady w stosunku do średniej z wielolecia. Rozkład opadów w latach 1995 i 1997 odbiegał od średniej z wielolecia. W roku 1995 w miesiącu lipcu spadło ponad 2,5 razy więcej deszczu niż w analogicznych miesiącach wielolecia. Z kolei w roku 1997 podobna sytuacja wystąpiła we wrześniu, kiedy to było 2,7 razy więcej opadów. Być może taki rozkład opadów spowodował, że w roku 1996 mimo najniższej temperatury i najmniejszych opadów, ziemniaki plonowały najkorzystniej (zał. 8-10).



Rys. 2. Temperatury i opady w okresie wegetacji ziemniaka w SD Tomaszkowo

3.4. Dane agrotechniczne i przebieg wegetacji

Dane dotyczące agrotechniki oraz przebiegu wegetacji w latach 1995 – 97 przedstawiono w tabeli 2. Przedplonem dla uprawianych ziemniaków w poszczególnych latach doświadczeń były zboża, po sprzęcie

Tabela 2
Terminarz podstawowych zabiegów agrotechnicznych i faz rozwojowych ziemniaka

Zabiegi uprawowe i fazy rozwojowe	Lata uprawy		
	1995	1996	1997
Nawożenie organiczne obornikiem 25t/ha	8. 05	3. 05	5. 05
Wysiew przedsiewnej dawki nawozów N, P, K i Mg wg obiektów	9. 05	6. 05	11. 05
Wysiew pogłównej dawki N	16. 06	15. 06	4. 07
I oprysk dolistny N i Mg	16. 06*	17. 06	7. 07
II oprysk dolistny N i Mg	26. 06*	24. 06	10. 07
III oprysk dolistny N i Mg	5. 07*	3. 07	14. 07
IV oprysk dolistny N	-	8. 07	17. 07
V oprysk dolistny N	-	15. 07	21. 07
VI oprysk dolistny N	-	22. 07	24. 07
Orka przedzimowa	8. 11. 1994	9. 11. 1995	6. 11. 1996
3x Kultywatorowanie + 2x bronowanie	6. 05. 1995	2. 05. 1996	4. 05. 1997
Przykrycie obornika	8. 05	4. 05	5. 04
Bronowanie z wałem strunowym	9. 05	6. 05	11. 05
I obredlanie	26. 06	28. 06	2. 07
II obredlanie	5. 07	3. 07	8. 07
Sadzenie	10. 05	7. 05	12. 05
Początek wschodów	5. 06	3. 06	6. 06
Pełnia wschodów	16. 06	10. 06	12. 06
Początek kwitnienia	3. 07	8. 07	14. 07
Koniec kwitnienia	17. 07	22. 07	25. 07
Zbiór	27-28. 09	1-2. 10	11. 09

*- dawka pogłówna azotu w 1995 roku podzielona była na trzy części. Ze względu na możliwość poparzenia roślin w latach 1996 i 1997 dawkę mocznika podzielono na sześć oprysków zmniejszając stężenie robocze roztworu (tabela 3).

których stosowano zespół uprawek pożniwnych. Jesienią na początku listopada wykonywano orkę przedzimową. Pierwszym zabiegiem uprawowym stosowanym wiosną było 3-krotne kultywatorowanie oraz 2-krotne bronowanie wykonywane w pierwszej dekadzie kwietnia. Celem tych zabiegów było oczyszczenie pola z perzu. Nawożenie organiczne obornikiem w dawce 25t/ha w kolejnych latach badań stosowano w pierwszej dekadzie maja. Po przyoraniu obornika wysiewano nawozy mineralne zawierające N, P, K i Mg, a następnie wykonywano bronowanie w połączeniu z wałem

strunowym. W tak przygotowaną glebę wysadzano sadzarką bulwy ziemniaka w rozstawie rzędów 62,5 cm, w odległościach co 40 cm w rzędzie.

Początek wschodów ziemniaków obserwowano w kolejnych latach badań 5, 3 i 16 czerwca. Podczas wegetacji wykonywano dwa zabiegi obredlania. Początek kwitnienia ziemniaków w latach 1995 – 97 nastąpił odpowiednio 3, 8 i 14 lipca, koniec zaś 17, 22 i 25 lipca. Wysiew dawki pogłównej azotu oraz nawożenie dolistne tym składnikiem przeprowadzano zgodnie z przyjętymi założeniami. W roku 1995 na obiektach nawożonych dolistnie wysokimi dawkami azotu zaważono objawy poparzenia zbyt silnym roztworem mocznika. W związku z tym, w latach 1996 – 97 dawkę pogłówną nawozów azotowych aplikowaną dolistnie, podzielono na 6 mniejszych dawek, zmniejszając w ten sposób o połowę stężenie cieczy roboczej. Stężenie roztworów mocznika ilustruje tabela 3.

Nawożenie dolistne magnezem w kolejnych latach uprawy wykonywano w połączeniu z 1, 2 i 3 zabiegiem dolistnego nawożenia azotem w ilościach i stężeniach przedstawionych w tabeli 3.

Powierzchnia jednego poletka do zbioru wynosiła: w 1995 r. – 19,5 m^2, a w latach 1996 i 1997 – 15 m^2. Zbiór bulw w kolejnych latach wykonano 27 – 28 września, 1 – 2 października oraz 11 września.

Tabela 3

Stężenia robocze roztworów mocznika i siarczanu magnezu zastosowanych w dolistnym nawożeniu

KOMBINACJE	NAWOŻENIE DOLISTNE				Ilość jednorazowo wnoszonego mocznika [kg/ha]	Stężenie robocze [%]	Ilość jednorazowo wnoszonego $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ [kg/ha]	Stężenie robocze [%]
	N		Mg					
	Dawka [kg/ha]	Ilość oprysków	Dawka [kg/ha]	Ilość oprysków				
1995								
$N_{40}P_{40}K_{60}$	20	3	-	-	14,49 (6,66 kg N)	4,83	-	-
$N_{40}P_{40}K_{60}$+Mg	20	3	20	3	-	-	41,66	14,5
$N_{80}P_{80}K_{120}$	40	3	-	-	28,98 (13,33 kg N)	9,66	-	-
$N_{80}P_{80}K_{120}$+Mg	40	3	20	3	-	-	41,66	14,5
$N_{120}P_{120}K_{180}$	60	3	-	-	43,44 (20,00 kg N)	14,49	-	-
$N_{120}P_{120}K_{180}$+Mg	60	3	20	3	-	-	41,66	14,5
$N_{160}P_{160}K_{240}$	80	3	-	-	57,96 (26,66 kg N)	19,32	-	-
$N_{160}P_{160}K_{240}$+Mg	80	3	20	3	-	-	41,66	14,5
1996 – 1997								
$N_{40}P_{40}K_{60}$	20	6	-	-	7,24 (3,33 kg N)	2,41	-	-
$N_{40}P_{40}K_{60}$+Mg	20	6	20	3	-	-	41,66	14,5
$N_{80}P_{80}K_{120}$	40	6	-	-	14,49 (6,66 kg N)	4,83	-	-
$N_{80}P_{80}K_{120}$+Mg	40	6	20	3	-	-	41,66	14,5
$N_{120}P_{120}K_{180}$	60	6	-	-	21,73 (10,00 kg N)	7,24	-	-
$N_{120}P_{120}K_{180}$+Mg	60	6	20	3	-	-	41,66	14,5
$N_{160}P_{160}K_{240}$	80	6	-	-	28,98 (13,33 kg N)	9,66	-	-
$N_{160}P_{160}K_{240}$+Mg	80	6	20	3	-	-	41,66	14,5

3.5. Metodyka analiz laboratoryjno-chemicznych

Przed wysadzeniem ziemniaków co roku z warstwy ornej gleby pobrano reprezentatywne próby w celu oznaczenia pH gleby, a także przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Odczyn gleby określono metodą potencjometryczną przy użyciu pH-metru w 1M KCl i w H_2O, przyswajalny fosfor i potas oznaczono metodą Egnera-Riehma, a magnez metodą ASA po ekstrakcji gleby 0,0125M $CaCl_2 \circ 6H_2O$.

Działanie stosowanego nawożenia na zawartość solaniny w liściach i bulwach ziemniaka podczas wegetacji badano na początku kwitnienia i po przekwitnięciu. W tych terminach pobrano próby każdorazowo z czterech krzaków na poletku. Z każdej łodygi krzaka analizowano 3 – 4 liść wierzchołkowy oraz bulwy spod całej rośliny. Tak pobrane próby łączono w kombinacje i w nich dokonano oznaczeń zawartości glikoalkaloidów.

Po zakończeniu wegetacji ziemniaków w czasie zbioru z każdego poletka pobrano 2 równoległe próby bulw spod 10 – 12 krzaków. Jedną z nich wykorzystano do analiz laboratoryjno – chemicznych, a drugą złożono w przechowalni z kontrolowaną temperaturą + 4°C i wilgotnością względną powietrza ± 95 %. W przechowywanych próbach bulw zawartość glikoalkaloidów oznaczano w odstępach miesięcznych.

W bulwach świeżych z poszczególnych poletek określono zawartość skrobi za pomocą wagi Reimanna. Następnie próby z poletek połączono w kombinacje i oznaczono w nich zawartość witaminy C w świeżej masie według Pijanowskiego.

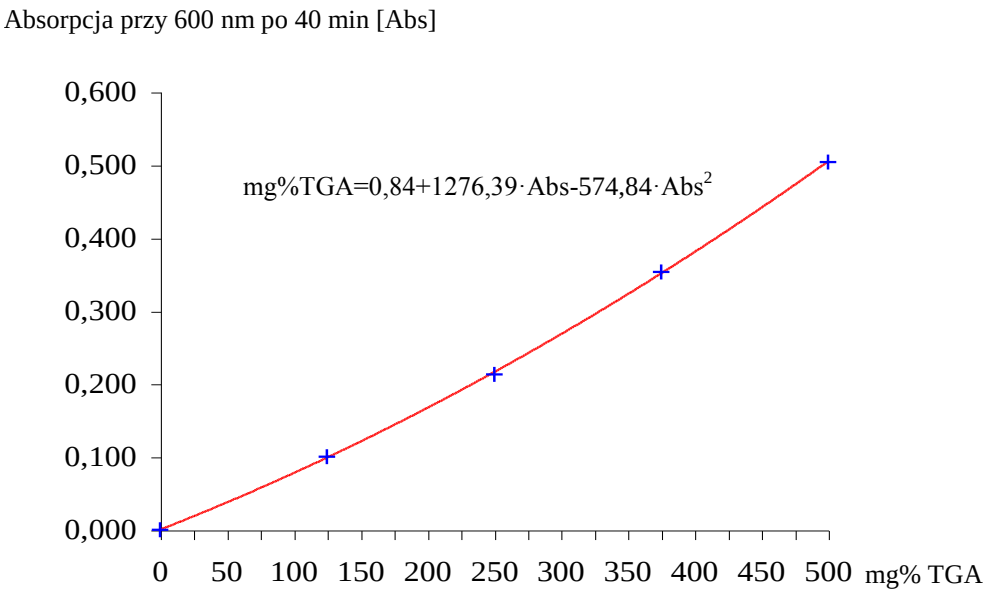
Z próby zbiorczej, na którą składały się cztery powtórzenia, pobrano 1 kg ćwiartek bulw, pocięto je na plasterki i wysuszono w temperaturze 65 °C. Po wysuszeniu próby zważono i określono w nich zawartość powietrznie suchej masy. Po zmieleniu próby przechowywano w szczelnych plastikowych pojemnikach.

W powietrznie suchym materiale oznaczono zawartość N-ogółem metodą Kjeldahla. Ponadto w przypadku plonów z 1995 roku oznaczono zawartość aminokwasów na automatycznym analizatorze firmy Beckmann.

Zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka określono metodą kolorymetryczną według Bergersa (1980). W tym celu pobrane spod krzaków bulwy połączono w kombinacje. Bezpośrednio do oznaczeń z każdej bulwy wycięto ćwiartki podzielone wzdłuż osi przyczep stolonowy – wierzchołek bulwy. Tak przygotowaną próbę bulw o wadze około 0,5 kg rozdrabniano przez 1,5 minuty w malakserze typu Predom – Zelmer. Następnie równolegle naważano 2 razy po 50 g jednolitej miazgi ziemniaczanej do zlewek o pojemności 500 cm^3. Miazgę zalewano 150 cm^3 etanolu i homogenizowano, a następnie przenoszono ilościowo do kolb Erlenmajera ze szlifem na 250 cm^3. Próby te umieszczano na 15 minut w łaźni wodnej w kontrolowanej temperaturze 90 °C. Po ostudzeniu zawartość kolb sączono przez lejek Büchnera przepłukując materiał na lejku kilkakrotnie etanolem. Przesącz uzupełniano etanolem do 200 cm^3. Z tak przygotowanego ekstraktu (50 g bulw w 200 cm^3) pobierano 100 cm^3 i zagęszczano na wyparce próżniowej w temperaturze 60 °C do około 5 cm^3. Do skoncentrowanego ekstraktu dodawano 50 cm^3 10% kwasu octowego. Następnie wirowano przez 30 minut przy 10 000 G w temperaturze 4 °C. Po wirowaniu ostrożnie zlewano supernatant znad osadu do kolbek. W celu strącenia glikoalkaloidów do oczyszczonego supernatantu dodawano 5 cm^3 25% amoniaku podwyższając pH do 10, a następnie kolbki ogrzewano na łaźni wodnej w temperaturze 70 °C przez 20 minut. Po ostudzeniu kolbki wstawiano do lodówki (4°C) na 3 godziny. Po tym czasie całość wirowano przez 30 minut (parametry wirowania, takie same jak poprzednio). Po wirowaniu delikatnie zlewano płyn, tak, aby nie utracić osadu przywierającego do dna, osuszano bibułą brzegi probówki, a osad rozpuszczano w 2,5 cm^3 7% H_3PO_4. Z uzyskanego roztworu glikoalkaloidów pobierano po 0,4 cm^3 do probówek. Następnie dodawano 4 cm^3 roztworu Clarka (85% H_3PO_4 zawierającego 0,03% formaldehydu). Próbkę delikatnie mieszano i po 40 minutach określano

absorpcję roztworu przy długości fali 600 nm przy użyciu przepływowego spektrofotometru Spekol 220 firmy Carl Zeiss Jena. Stężenie glikoalkaloidów odczytano z krzywej wzorcowej sporządzonej z α-solaniny firmy ROTH.

Ze względu na znacznie wyższe zawartości glikoalkaloidów w liściach, przedstawioną metodykę zmodyfikowano. Zmniejszeniu uległa naważka materiału do 10 g oraz ilość ekstraktu poddawanego zagęszczaniu na wyparce do 20 cm^3. Po modyfikacji metody zmieniono również sposób obliczania zawartości solaniny w liściach. Przed wykorzystaniem zmodyfikowanej metody do oznaczania solaniny w liściach przeprowadzono test jej wiarygodności. Test wykonano na próbie liści w czterech powtórzeniach, w oparciu o krzywą wzorcową sporządzoną z α-solaniny (rys. 3).



Rys. 3 Krzywa wzorcowa sporządzona dla α-solaniny firmy ROTH

Wyniki uzyskane z poszczególnych powtórzeń kształtowały się następująco: 159,31; 163,69; 154,58 i 162,12 mg% TGA. Średnia zawartość solaniny w liściach dla badanych prób wynosiła 159,92 mg%. Ze średniej zawartości obliczono, że w 100 cm^3 80% etanolowego ekstraktu z liści badanej próby znajduje się 7,996 mg solaniny. Aby przekonać się, czy zmodyfikowana metoda jest dokładna i wystarczająco czuła, do 100 cm^3 ekstraktu dodano kolejno 2, 4, 6 i 8 mg α-solaniny. Test ten wykonano w czterech powtórzeniach dla każdego stężenia glikoalkaloidów. Analizę

prowadzono identycznie, jak przy oznaczaniu zawartości TGA w liściach. Uzyskane wyniki umieszczono w poniższym zestawieniu.

α-solanina [mg w 100 ml] ekstraktu alkoholowego	α-solanina dodana do 100 ml ekstraktu [mg]	Zawartość teoretyczna [mg w 100ml]	Zawartość wykryta [mg w 100 ml]	Odzysk solaniny dodanej do ekstraktu [mg]	Odzysk [%]
7,996	2	9,996	9,658	1,662	83,1
7,996	4	11,996	11,749	3,753	93,8
7,996	6	13,996	13,794	5,798	96,6
7,996	8	15,996	15,893	7,897	98,7
7,996	10	17,996	17,673	9,677	96,7

Stosunkowo wysoka wielkość odzysku solaniny, jaką dodano do ekstraktów (83,1 – 98,7 %) sprawiła, iż metodę tę wykorzystano do ilościowego oznaczania TGA w liściach ziemniaków.

3.6. Metodyka obliczeń statystycznych

W przeprowadzonych doświadczeniach do obliczeń statystycznych wykorzystano analizę wariancji z zastosowaniem testu t-Duncana. Elementami ocenianymi były plony bulw, zawartość glikoalkaloidów w bulwach oraz zawartość innych wybranych składników. W odniesieniu do plonu bulw, zawartości glikoalkaloidów i skrobi obliczenia statystyczne wykonano w każdym roku oddzielnie, a w przypadku N-ogółem i witaminy C analizę oparto na średnich z trzech lat. W obliczeniach zastosowano przedział ufności $p = 0,05$. Określono również współczynniki korelacji prostej pomiędzy analizowanymi czynnikami doświadczenia i wybranymi cechami bulw ziemniaka. Ponadto wyliczono współczynniki zmienności poziomu solaniny na przestrzeni trzech lat badań.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW

4.1. Zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka

WPŁYW WARUNKÓW POGODY NA ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW W LIŚCIACH ZIEMNIAKA

Zawartość solaniny w liściach ziemniaka w przeprowadzonych doświadczeniach była silnie zróżnicowana w poszczególnych latach badań (tab. 4-9). Zróżnicowanie to było widoczne zarówno na początku kwitnienia jak i po przekwitnięciu. Niewątpliwie na wielkość syntezy solaniny w poszczególnych latach miały wpływ warunki pogodowe. Notowane zawartości układały się podobnie w większości kombinacji nawozowych, a ich przebieg przedstawiono na przykładzie obiektu kontrolnego – nie obciążonego czynnikiem nawozowym. W porównywanych terminach pobrania prób zawartość solaniny w liściach przedstawiała się następująco:

	zawartość najniższa w mg%	zawartość średnia w mg%	zawartość najwyższa w mg%
Na początku kwitnienia	1997 r. – 90,8	1996 r. – 155,3	1995 r. – 186,5
Po przekwitnięciu	1997 r. – 66,1	1996 r. – 81,5	1995 r. – 127,8

Zarówno na początku kwitnienia jak i po przekwitnięciu najwyższą zawartość solaniny w liściach stwierdzono w 1995 roku. Rok ten charakteryzował się podwyższoną o 3,1ºC temperaturą lipca w stosunku do średniej z wielolecia.

Z kolei najniższą zawartość solaniny w obu terminach pobrania prób wykazano w 1997 roku, charakteryzującym się 2,5 – krotnie większymi opadami w lipcu w stosunku do średniej z wielolecia.

W roku 1996, w którym opady atmosferyczne, a szczególnie temperatura powietrza były zbliżone do średniej z wielolecia zawartość solaniny w liściach była pośrednia.

Z przedstawionych zależności wynika, że pogoda w miesiącu lipcu miała wyraźny wpływ na zawartość solaniny w liściach ziemniaka. Przy podwyższonej temperaturze następowało zwiększenie, a przy nadmiarze opadów ograniczenie jej syntezy.

FLUKTUACJA ZAWARTOŚCI GLIKOALKALOIDÓW W LIŚCIACH ZIEMNIAKA MIĘDZY LATAMI BADAŃ

Zawartość solaniny w liściach ziemniaków na przestrzeni trzech lat badań wykazała bardzo duże wahania (zał. 1-3). W doświadczeniach średnia wartość współczynników zmienności wynosiła 39 – 50 %. W każdym z doświadczeń liście młodsze charakteryzowały się mniejszą zmiennością zawartości solaniny między latami niż liście starsze. Współczynniki zmienności w tych terminach dla trzech doświadczeń wynosiły średnio V = 38 i 54%.

W doświadczeniu I dolistny sposób stosowania azotu wpłynął na zwiększenie wahań zawartości solaniny w liściach pomiędzy latami w stosunku do nawożenia doglebowego z V = 34,8 % do V = 42,5 % (zał. 1). Wzrastające nawożenie NPK w tym doświadczeniu również zwiększało wahania zawartości solaniny w liściach między latami badań. Większa zmienność wystąpiła w obiektach nawożonych wysokimi niż niskimi dawkami NPK. Dla porównania współczynnik zmienności dla obu sposobów nawożenia azotem w obiekcie $N_{40}P_{40}K_{60}$ wyniósł średnio 28 %, a w kombinacji $N_{160}P_{160}K_{240}$ 47 %.

Zastosowany magnez w doświadczeniu II w porównaniu do obiektów 2-5 z doświadczenia I, w których nie stosowano tego składnika, pogłębił wahania zawartości solaniny w liściach pomiędzy latami badań (zał. 2). Technologia stosowania magnezu nie miała większego wpływu na zmienność zawartości solaniny w liściach, która wynosiła średnio 51 %. Wzrastające nawożenie NPK w połączeniu z magnezem zwiększało zmienność zawartości solaniny pomiędzy latami, lecz nie tak wyraźnie jak samo nawożenie NPK stosowane w doświadczeniu pierwszym.

W doświadczeniu III stwierdzono, iż niedobór potasu wyraźnie zwiększył wahania zawartości solaniny w liściach między latami (zał. 3). Zmienność ta w obiekcie bez nawożenia potasem wynosiła średnio 65 %. Nawożenie potasem do dawki 160 kg/ha powodowało obniżanie zmienności zawartości solaniny w liściach ziemniaków. Przy tej dawce współczynnik

zmienności wyniósł 44 %. Dalsze zwiększanie nawożenia potasem nie wpływało na obniżenie wartości tego współczynnika.

4.1.1. Oddziaływanie nawożenia NPK przy doglebowym i dolistnym stosowaniu azotu

Na początku kwitnienia nie stwierdzono, by sposób aplikacji N-pogłównego istotnie modyfikował zawartość solaniny w liściach (tab. 4). Zauważono jednak, iż większą koncentracją glikoalkaloidów charakteryzowały się liście z obiektów nawożonych N-pogłównym dolistnie (średnio 178,6 mg%) niż doglebowo (średnio 166,1 mg%). Zwiększenie dawek NPK na ogół powodowało wzrost zawartości solaniny w liściach.

Tabela 4

Oddziaływanie nawożenia NPK przy dwóch technologiach stosowania azotu na zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka na początku kwitnienia, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	186,5	155,3	90,8	**144,2**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	193,6	164,1	122,0	**159,9**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	204,6	172,9	104,6	**160,7**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	218,4	190,4	107,6	**172,1**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	223,5	201,4	90,8	**171,9**
Średnio:	210,0	182,2	106,2	**166,1**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	195,1	190,4	118,7	**168,1**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	205,3	205,7	82,8	**164,6**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	220,8	218,7	117,7	**185,7**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	230,0	223,1	134,8	**196,0**
Średnio:	212,8	209,5	113,5	**178,6**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	n.ist.	18,23	n.ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	12,96	11,73	6,65	**n. ist.**
współdziałania	18,32	n.ist.	9,41	**n. ist.**

W serii z azotem pogłównym stosowanym doglebowo wzrost ten następował do dawki $N_{120}P_{120}K_{180}$ i wynosił 28,0 mg% w porównaniu do obiektu kontrolnego. W serii z N-pogłównym stosowanym dolistnie najwyższa zawartość – 196,0 mg% wystąpiła w liściach z obiektu nawożonego dawką

$N_{160}P_{160}K_{240}$. Najniższą zawartość solaniny stwierdzono w liściach z obiektu kontrolnego – 144,2 mg%. Wykonana analiza statystyczna wyników w poszczególnych latach wykazała istotny wpływ nawożenia NPK na zawartość solaniny w liściach. Na skutek wysokiej zmienności zawartości glikoalkaloidów w latach (V = 32,0 % zał. 1) wpływu tego nie stwierdzono w odniesieniu do średnich z trzech lat badań. O istniejącej jednak zależności pomiędzy nawożeniem NPK, a ilością solaniny gromadzonej przez liście ziemniaków świadczą stosunkowo wysokie współczynniki korelacji, które dla serii z N-pogłównym stosowanym doglebowo i dolistnie wynosiły odpowiednio r = 0,93* i 0,95** (zał.7).

Po przekwitnięciu zawartość solaniny w liściach była mniejsza średnio o 38 % od zawartości stwierdzonej na początku kwitnienia (tab. 5). W terminie tym, podobnie jak podczas pierwszego pobrania, nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu nawożenia azotem. Zauważono jednak, odwrotnie niż na początku kwitnienia, wyższą zawartość solaniny w liściach z obiektów nawożonych doglebowo – 101,4 mg% niż dolistnie – 90,7 mg%.

Tabela 5

Oddziaływanie nawożenia NPK przy dwóch technologiach stosowania azotu na zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka po przekwitnięciu, w mg% TGA

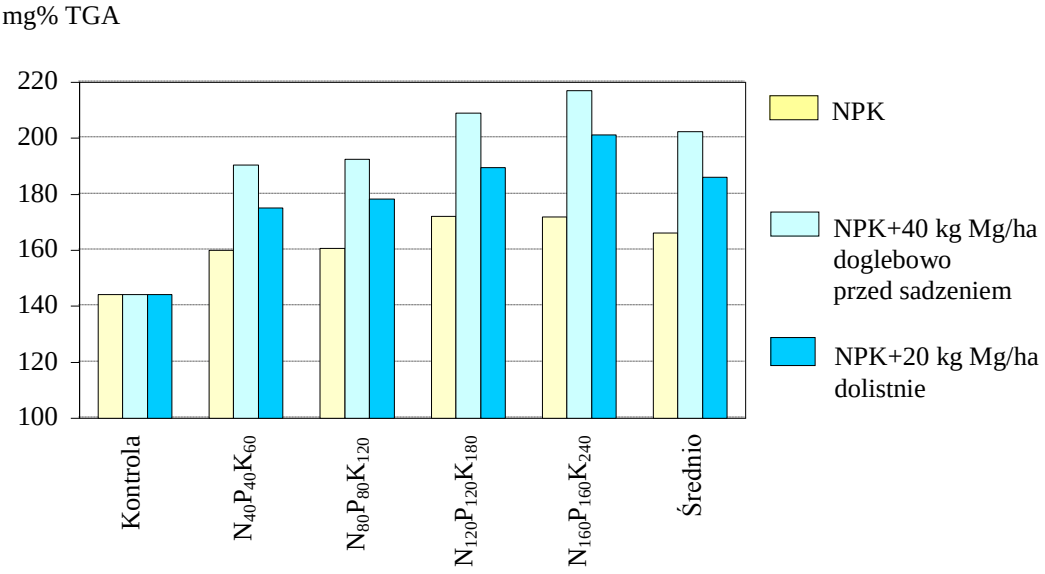
Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	127,8	81,5	66,1	**91,8**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	122,6	79,4	65,1	**89,0**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	152,1	82,9	59,9	**98,3**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	176,9	85,2	54,7	**105,6**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	197,9	88,1	51,6	**112,5**
Średnio:	162,4	83,9	57,8	**101,4**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	104,4	71,0	59,9	**78,4**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	117,7	75,1	60,9	**84,6**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	125,0	78,1	62,5	**88,5**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	174,2	93,5	66,6	**111,4**
Średnio:	130,3	79,4	62,5	**90,7**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	17,78	n.ist.	n.ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	7,95	4,47	3,56	**n. ist.**
współdziałania	11,24	6,33	5,04	**n. ist.**

Niezależnie od roku uprawy stwierdzono natomiast istotny wpływ wzrastającego nawożenia NPK na wielkość syntezy solaniny w liściach. Jednak na skutek bardzo dużych różnic w zawartościach glikoalkaloidów pomiędzy latami badań (V = 45,2% zał. 1), nie stwierdzono tych zmian w odniesieniu do średnich z trzech lat. Należy jednak dodać, że współczynniki korelacji obliczone dla tego terminu pobrania prób (r = 0,94* i 0,62 zał. 7) przemawiają za stwierdzeniem, że wpływ ten był wyraźnie widoczny.

Na podstawie wyników analiz liści pobranych przed kwitnieniem i po przekwitnięciu ziemniaków nie stwierdzono jednoznacznie, która z technologii nawożenia pogłówną dawką azotu działa silniej na gromadzenie solaniny w liściach ziemniaków.

4.1.2. Oddziaływanie doglebowego i dolistnego nawożenia magnezem

Nawożenie magnezem zwiększyło zawartość solaniny w liściach na początku kwitnienia, przeciętnie o 17 % w stosunku do średniej z obiektów od 1 do 5 z doświadczenia pierwszego (rys. 4).



Rys. 4. Oddziaływanie nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość glikoalkaloidów w liściach na początku kwitnienia ziemniaka, średnio za lata 1995-97

Z porównania dwóch technologii nawożenia magnezem wynika, że na zawartość solaniny w tym terminie, w każdej kombinacji nawozowej, silniej działało nawożenie doglebowe niż dolistne. Średnia zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaków nawożonych magnezem dolistnie w dawce 20 kg/ha wynosiła 186,1 mg%, a nawożonych dawką 40 kg/ha doglebowo 202,3 mg% (tab. 6).

Tabela 6

Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka na początku kwitnienia, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	186,5	155,3	90,8	**144,2**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	218,4	242,5	110,5	**190,5**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	223,5	274,6	79,8	**192,6**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	234,3	297,9	94,8	**209,0**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	241,5	321,1	88,4	**217,0**
Średnio:	229,4	284,0	93,4	**202,3**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	199,5	231,7	94,3	**175,2**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	211,2	242,5	81,3	**178,3**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	222,8	266,1	79,8	**189,6**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	227,1	289,5	87,4	**201,3**
Średnio:	215,2	257,4	85,7	**186,1**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	n.ist.	n.ist.	n.ist.	**n.ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	9,12	11,2	4,7	**n.ist.**
współdziałania	12,90.	15,8	6,6	**n.ist.**

Nawożenie wzrastającymi dawkami NPK w połączeniu z magnezem w poszczególnych latach, istotnie wpływało na zawartość solaniny w liściach na początku kwitnienia ziemniaków. Zastosowana analiza statystyczna, w oparciu o średnie uzyskane z trzech lat badań, nie wykazała jednak istotnego wpływu czynnika nawozowego na ilość glikoalkaloidów w liściach. Rezultat ten był wynikiem dużej zmienności zawartości solaniny pomiędzy latami (V = 48,1 % zał. 2). Obliczone wysokie współczynniki korelacji pomiędzy dawką NPK, a zawartością solaniny w serii z magnezem stosowanym doglebowo (r = 0,91*) i w serii z magnezem stosowanym dolistnie (r = 0,95**), przemawiają jednak za tym by o istotności wpływu

nawożenia na zawartość solaniny w liściach mówić w oparciu o wyniki z poszczególnych lat badań (tab. 28).

Po przekwitnięciu, zawartość solaniny w liściach ziemniaków uprawianych w tym doświadczeniu obniżyła się średnio o 47 % w stosunku do zawartości stwierdzonej na początku kwitnienia (tab. 7).

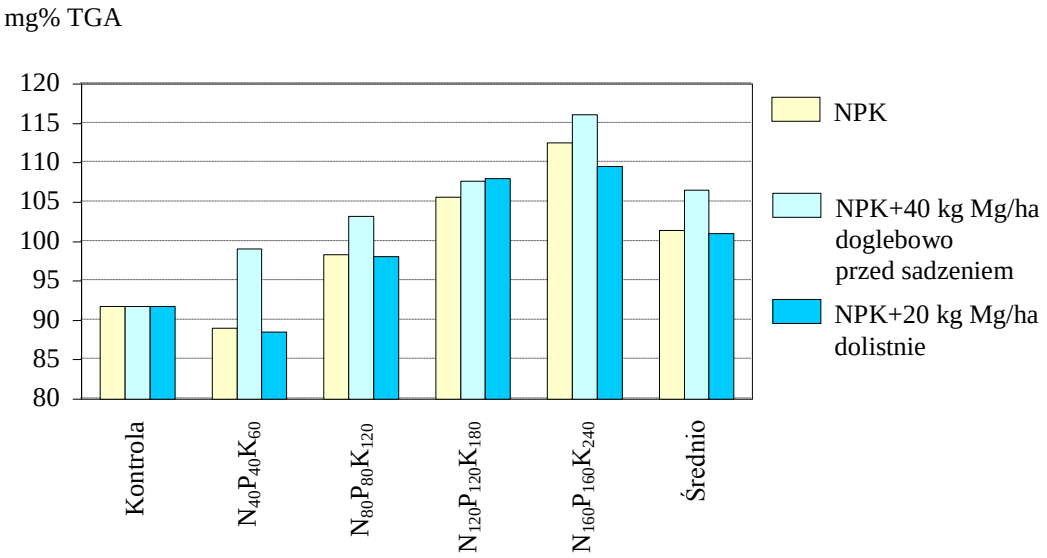
Tabela 7

Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka po przekwitnięciu, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	127,8	81,5	66,1	**91,8**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	147,5	85,2	64,5	**99,1**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	165,3	85,5	58,9	**103,2**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	182,0	86,5	54,7	**107,7**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	195,4	93,4	59,4	**116,1**
Średnio:	172,6	87,7	59,4	**106,5**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	141,8	73,3	50,5	**88,5**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	152,4	82,6	59,4	**98,1**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	163,8	92,0	68,1	**108,0**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	168,9	92,5	67,1	**109,5**
Średnio:	156,7	85,1	61,3	**101,0**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	n.ist.	n.ist.	1,0	**n.ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	7,9	5,1	4,4	**n.ist.**
współdziałania	11,2	7,2	6,2	**n.ist.**

Zastosowany magnez doglebowo w ilości 40 kg Mg/ha spowodował wzrost zawartości solaniny w liściach w stosunku do obiektów 1-5 z doświadczenia pierwszego, średnio o 5,1 % (rys. 5).

Nawożenie magnezem dolistne nie różnicowało ilości solaniny w liściach w stosunku do liści ziemniaków nawożonych wyłącznie NPK. Średnia zawartość TGA w liściach z tych obiektów wynosiła odpowiednio 101,0 mg% i 101,4 mg% w świeżej masie. W tym terminie badań (po przekwitnięciu) utrzymała się nadal tendencja do wzrostu zawartości solaniny pod wpływem zwiększanych dawek NPK stosowanych w połączeniu z magnezem. Najwyższa zawartość solaniny wystąpiła w liściach z obiektów nawożonych maksymalną dawką NPK. Zawartość ta wynosiła w serii



Rys. 5. Oddziaływanie nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość glikoalkaloidów w liściach po przekwitnięciu ziemniaka, średnio za lata 1995-97

z nawożeniem Mg doglebowo – 116,1 mg%, a w serii z nawożeniem Mg dolistnie – 109,5 mg%. W każdym roku badań w terminie tym stwierdzono istotny wpływ wzrastającego nawożenia NPK w połączeniu z magnezem na zawartość solaniny w liściach ziemniaka. Jakkolwiek analiza statystyczna wyników, przeprowadzona w oparciu o średnie z trzech lat nie wykazała istotnego wpływu wzrastających dawek NPK+Mg na zawartość solaniny w liściach, to za stwierdzeniem, iż wpływ ten był znaczący przemawiają wysokie współczynniki korelacji, które w seriach z magnezem stosowanym doglebowo i dolistnie wynosiły odpowiednio r = 0,99** i 0,92. (zał. 7)

4.1.3. Oddziaływanie nawożenia potasem

Nawożenie potasem wywierało istotny wpływ na zawartość solaniny w liściach ziemniaka kształtującą się na początku kwitnienia (tab. 8).

Wzrastające dawki tego pierwiastka przy stałym nawożeniu azotowo-fosforowym powodowały stopniowy, spadek zawartości solaniny w liściach

Tabela 8

Oddziaływanie nawożenia potasem na zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka na początku kwitnienia, w mg% TGA

	1995	1996	1997	**Średnio**
1. $N_{80}P_{80}K_0$	281,7	310,6	123,0	**238,4**
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	243,6	274,6	138,1	**218,8**
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	216,3	238,2	127,7	**194,1**
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	211,9	223,1	122,5	**185,8**
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	189,2	214,4	95,3	**166,3**
Średnio:	228,5	252,2	121,3	**200,7**
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	27,7	30,2	19,2	**35,5**

(r = -0,99** zał. 7). Wpływ nawożenia potasem na kształtowanie się zawartości solaniny w liściach udowodniono w każdym z trzech lat doświadczeń. Mimo wysokiego współczynnika zmienności – V = 34,5% (zał. 3) istotny wpływ potasu na zawartość solaniny w liściach stwierdzono również w odniesieniu do średnich z trzech lat. Istotny spadek zawartości solaniny w stosunku do obiektu nie nawożonego potasem stwierdzono po zastosowaniu 160; 240 i 320 kg/ha.

Zawartość solaniny w liściach, stwierdzona po przekwitnięciu ziemniaków była również uzależniona od wysokości dawki nawozów potasowych (tab. 9). Tej istotnej zależności nie potwierdzono jednak

Tabela 9

Oddziaływanie nawożenia potasem na zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka po przekwitnięciu, w mg% TGA

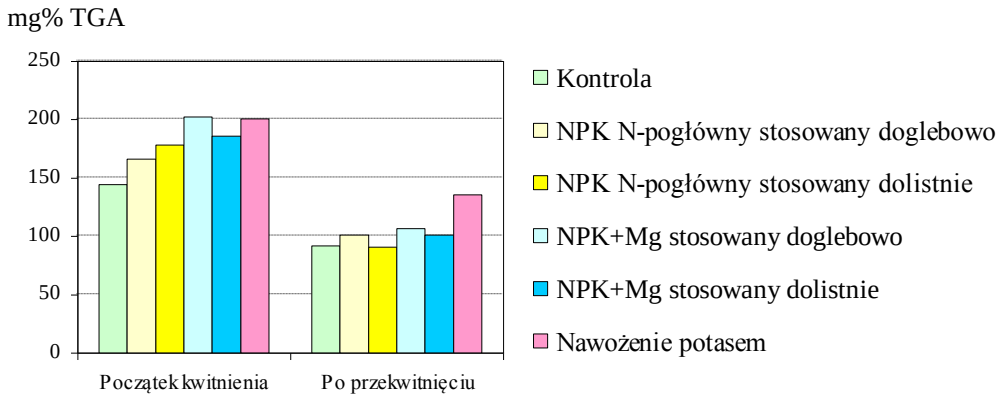
	1995	1996	1997	**Średnio**
1. $N_{80}P_{80}K_0$	331,8	120,8	50,5	**167,7**
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	296,5	126,7	70,2	**164,5**
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	240,5	118,1	77,3	**145,3**
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	189,1	91,8	59,4	**113,4**
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	138,2	73,6	52,1	**88,0**
Średnio:	239,2	106,2	61,9	**135,8**
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	28,4	14,9	10,9	**n.ist.**

w wartościach średnich z trzech lat, gdyż zawartość solaniny pomiędzy poszczególnymi latami wykazała bardzo duże wahania (V = 65,6 % zał. 3).

Nawożenie potasem było jednak silnie ujemnie skorelowane ze stwierdzoną zawartością solaniny w poszczególnych kombinacjach nawozowych co potwierdza wysoki współczynnik korelacji r = -0,97** (zał. 7).

4.1.4. Kształtowanie się zawartości glikoalkaloidów w liściach ziemniaka w podsumowaniu trzech doświadczeń

W każdym z przeprowadzonych doświadczeń wyższą zawartością glikoalkaloidów charakteryzowały się liście młode w porównaniu do liści starszych (rys. 6).



Rys. 6. Średnia zawartość glikoalkaloidów w liściach ziemniaka odmiany Mila pobieranych przed kwitnieniem i po przekwitnięciu

Spadek zawartości solaniny w liściach starszych, pobranych po przekwitnięciu był częściowo zależny od stosowanego nawożenia. Wielkość tego spadku przedstawiała się następująco:

Obiekty nawożenia	Spadek w %
Kontrola	36
NPK N-pogłówny stosowany doglebowo	39
NPK N-pogłówny stosowany dolistnie	49
NPK+ Mg stosowany doglebowo	47
NPK+ Mg stosowany dolistnie	46
Nawożenie potasem	32

Z porównania podanych wartości wynika, że dolistne nawożenie azotem i nawożenie magnezem, niezależnie od sposobu jego stosowania, przyczyniło

się do większego spadku zawartości solaniny w liściach niż to odnotowano w innych obiektach.

4.2. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka

WPŁYW WARUNKÓW POGODY NA ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW W BULWACH ZIEMNIAKA

Podobnie jak w przypadku liści zawartość solaniny w bulwach ziemniaka była wyraźnie zróżnicowana w poszczególnych latach uprawy (tab. 10-18). Zróżnicowanie to było widoczne w każdym terminie pobrania prób. Zawartość solaniny układała się podobnie w poszczególnych kombinacjach nawozowych, a jej przebieg w odniesieniu do obiektu kontrolnego w latach układał się następująco:

	zawartość najniższa w mg%	zawartość średnia w mg%	zawartość najwyższa w mg%
Na początku kwitnienia	1995 r. – 2,05	1996 r. – 2,33	1997 r. – 4,08
Po przekwitnięciu	1996 r. – 1,55	1997 r. – 2,28	1995 r. – 6,38
Podczas zbioru	1996 r. – 1,51	1997 r. – 1,54	1995 r. – 3,66

Na początku kwitnienia najwyższą zawartość solaniny w bulwach stwierdzono w roku 1997. Zależność ta mogła być spowodowana wysokimi opadami w lipcu, kiedy odnotowano ponad 2,5 razy więcej deszczu niż wynosi średni opad w analogicznym miesiącu wielolecia (rys. 2). W latach 1995 i 1996 zawartość solaniny była zbliżona i średnio o połowę niższa. Lata te charakteryzowały się jednocześnie niższymi opadami, których suma była zbliżona do średniej wieloletniej.

Po przekwitnięciu największą ilość solaniny stwierdzono w bulwach z roku 1995, kiedy temperatura lipca była wyższa od średniej z wielolecia o 3,1ºC. Najniższą ilość glikoalkaloidów w bulwach pobranych w tej fazie wegetacji stwierdzono w roku 1996, w którym średnia temperatura w lipcu była najniższa z porównywanych lat. Pośrednią ilość glikoalkaloidów

stwierdzono w roku 1997, w którym temperatura w miesiącu lipcu była najbardziej zbliżona do średniej z wielolecia.

Na zawartość solaniny w bulwach dojrzałych niewątpliwie miały wpływ warunki panujące podczas całego okresu wegetacyjnego, a szczególnie warunki lipca, sierpnia i września. Najwyższą zawartość solaniny stwierdzono w bulwach ziemniaków uprawianych w roku 1995. Rok ten charakteryzował się najwyższą ilością opadów oraz najwyższą temperaturą w okresie wegetacji. Najniższą ilość solaniny stwierdzono w roku 1996. Rok ten charakteryzował się zarówno najniższą sumą opadów jak i najniższą średnią temperaturą w sezonie wegetacyjnym. W roku 1997 zawartość solaniny w bulwach była pośrednia w porównaniu rozpatrywanych lat, a warunki pogody były przeciętne w stosunku do średnich z wielolecia.

Z przedstawionej oceny zawartości solaniny w bulwach ziemniaka w odniesieniu do poszczególnych lat uprawy wynika, że zarówno temperatura jak i ilość opadów wpływają na tą cechę w bardzo istotny sposób.

FLUKTUACJA ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW W BULWACH ZIEMNIAKA MIĘDZY LATAMI BADAŃ

Zawartość solaniny w bulwach, podobnie jak w liściach, wykazała wysokie wahania pomiędzy latami badań (zał. 4-6). Średnia wartość współczynnika zmienności w przeprowadzonych doświadczeniach wynosiła 52 – 57 %. Podobnie jak w liściach również w bulwach stwierdzono niższą zmienność zawartości glikoalkaloidów na początku kwitnienia niż po przekwitnięciu. Średnio wynosiła ona na początku kwitnienia 23 %, po przekwitnięciu 81%, a po zbiorze 59%.

W doświadczeniu pierwszym nie stwierdzono wpływu sposobu stosowania azotu pogłównego oraz wielkości dawki NPK na kształtowanie się współczynnika zmienności zawartości glikoalkaloidów w bulwach (zał. 4).

Nawożenie magnezem jedynie w fazie po przekwitnięciu pogłębiło wahania w zawartości solaniny między poszczególnymi latami w stosunku do obiektów nawożonych wyłącznie NPK z doświadczenia pierwszego (zał. 5). Współczynnik zmienności w tym terminie dla obu sposobów nawożenia

magnezem wyniósł średnio 91 %. Sposób stosowania magnezu i dawka NPK nie miały jednak większego wpływu na wielkość wahań zawartości solaniny w bulwach pomiędzy latami badań.

Wzrastające nawożenie potasem w żadnym z terminów pobrania prób nie różnicowało znacząco współczynnika zmienności obliczonego dla zawartości solaniny w bulwach pomiędzy latami badań (zał. 6). Zmienność zawartości glikoalkaloidów w tym doświadczeniu oscylowała w pobliżu 54 %.

4.2.1. Oddziaływanie nawożenia NPK przy doglebowym i dolistnym stosowaniu azotu

Sposób stosowania pogłównej dawki azotu nie miał wpływu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach (tab. 10). Na tle wzrastającego

Tabela 10

Oddziaływanie nawożenia NPK przy dwóch technologiach stosowania azotu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka na początku kwitnienia, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	2,05	2,33	4,08	**2,82**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	3,87	3,10	4,53	**3,83**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	4,04	4,17	5,64	**4,62**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	4,70	4,75	5,71	**5,05**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	5,87	4,58	3,86	**4,77**
Średnio:	4,62	4,15	4,93	**4,56**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	6,20	3,83	5,54	**5,19**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	3,87	4,26	5,44	**4,52**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	2,99	4,91	5,18	**4,36**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	2,80	5,46	5,12	**4,46**
Średnio:	3,96	4,61	5,32	**4,63**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	n. ist.	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	0,36	0,31	n. ist.	**n. ist.**
współdziałania	0,52	0,44	1,08	**n. ist.**

nawożenia NPK przy pogłównym doglebowym stosowaniu azotu przeważała tendencja do wzrostu zawartości solaniny w bulwach (r = 0,89* zał. 7). Z kolei przy pogłównym dolistnym nawożeniu azotem w większości obiektów wystąpiła tendencja do spadku jej zawartości.

Porównując wyniki zawartości solaniny w bulwach pobranych po przekwitnięciu stwierdzono, że nawożenie wzrastającymi dawkami NPK w poszczególnych latach badań powodowało wzrost zawartości solaniny w bulwach, zarówno w serii z N-doglebowym jak i dolistnym (tab. 11). Również w odniesieniu do średnich z trzech lat wpływ nawożenia NPK na zawartość solaniny w bulwach okazał się istotny. Jej ilość była wyraźnie dodatnio skorelowana z wielkością dawki azotu stosowanego doglebowo i dolistnie (r = 0,91* i 0,97**). Technologia stosowania N-pogłównego nie miała jednak wpływu na zawartość solaniny w bulwach pobranych w tym terminie.

Tabela 11

Oddziaływanie nawożenia NPK przy dwóch technologiach stosowania azotu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka po przekwitnięciu, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	6,38	1,55	2,28	**3,40**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	7,34	1,91	3,04	**4,10**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	8,76	2,47	3,43	**4,89**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	9,23	2,63	3,58	**5,15**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	10,38	2,98	1,73	**5,03**
Średnio:	8,93	2,50	2,94	**4,79**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	6,86	1,9	1,7	**3,49**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	8,21	2,38	3,37	**4,65**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	10,25	2,59	3,68	**5,51**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	12,24	2,84	2,59	**5,89**
Średnio:	9,39	2,43	2,83	**4,88**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	n. ist.	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	0,90	0,58	0,39	**1,34**
współdziałania	n. ist.	n. ist.	0,55	**n. ist.**

Bulwy pobrane podczas zbioru zawierały średnio około 19 % mniej glikoalkaloidów niż pobierane w fazie po przekwitnięciu (tab. 12). W obiektach nawożonych dolistnie azotem zawartość solaniny w bulwach wynosiła średnio 4,14 mg%, a w bulwach z poletek nawożonych doglebowo 3,64 mg%. Podobnie jak po przekwitnięciu również w tym terminie statystycznie udowodniono wpływ wzrastających dawek NPK na ilość

solaniny w bulwach. Istotny wpływ na zawartość glikoalkaloidów w bulwach w serii z azotem stosowanym doglebowo miało nawożenie $N_{120}P_{120}K_{180}$, a w przypadku serii z dolistnym nawożeniem dawka $N_{80}P_{80}K_{120}$. W obiektach nawożonych azotem pogłównie doglebowo stwierdzono wysoce istotną korelację pomiędzy zastosowanym wzrastającym nawożeniem NPK, a zawartością solaniny w bulwach (r = 0,95** zał. 7). Azot stosowany dolistnie nie wykazał tak silnego wpływu.

Tabela 12

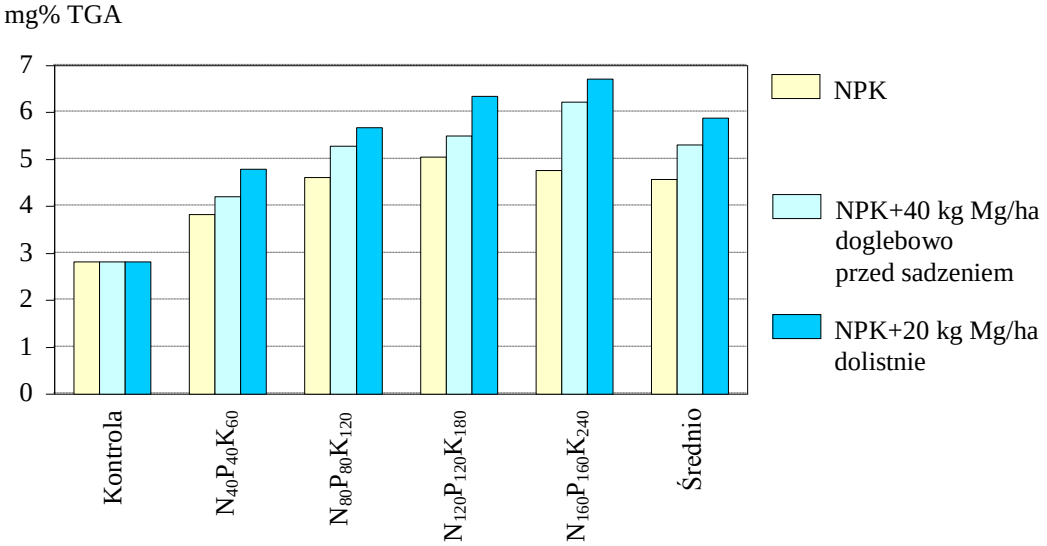
Oddziaływanie nawożenia NPK przy dwóch technologiach stosowania azotu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w czasie zbioru, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	3,66	1,51	1,54	**2,24**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	4,24	1,73	1,79	**2,59**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	5,15	1,73	1,87	**2,92**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	7,68	2,95	2,87	**4,50**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	7,86	2,94	2,88	**4,56**
Średnio:	6,23	2,34	2,35	**3,64**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	6,04	2,16	2,31	**3,50**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	7,75	2,77	2,77	**4,43**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	9,55	3,67	2,71	**5,31**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	3,61	3,68	2,67	**3,32**
Średnio:	6,74	3,07	2,62	**4,14**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	n. ist.	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	0,64	0,42	0,40	**0,97**
współdziałania	0,90	n. ist.	0,57	**n. ist.**

4.2.2. Oddziaływanie doglebowego i dolistnego nawożenia magnezem

Nawożenie magnezem przyczyniło się do wzrostu zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka pobranych na początku kwitnienia w stosunku do obiektów nie nawożonych tym składnikiem z doświadczenia pierwszego (rys. 7). Wzrost ten średnio wynosił przy doglebowym nawożeniu magnezem 16 %, a przy dolistnym 29 %. Przy takim wzroście nie stwierdzono jednak istotnego wpływu zastosowanej technologii nawożenia magnezem, na zawartość solaniny w bulwach (tab. 13). Wykazano jednocześnie, że

zawartość solaniny była istotnie skorelowana z wielkością dawki NPK. Zależność ta ujawniła się zarówno przy doglebowym jak i dolistnym nawożeniu magnezem, o czym świadczą wysokie współczynniki korelacji – r = 0,95**; r = 0,96** (zał. 7).



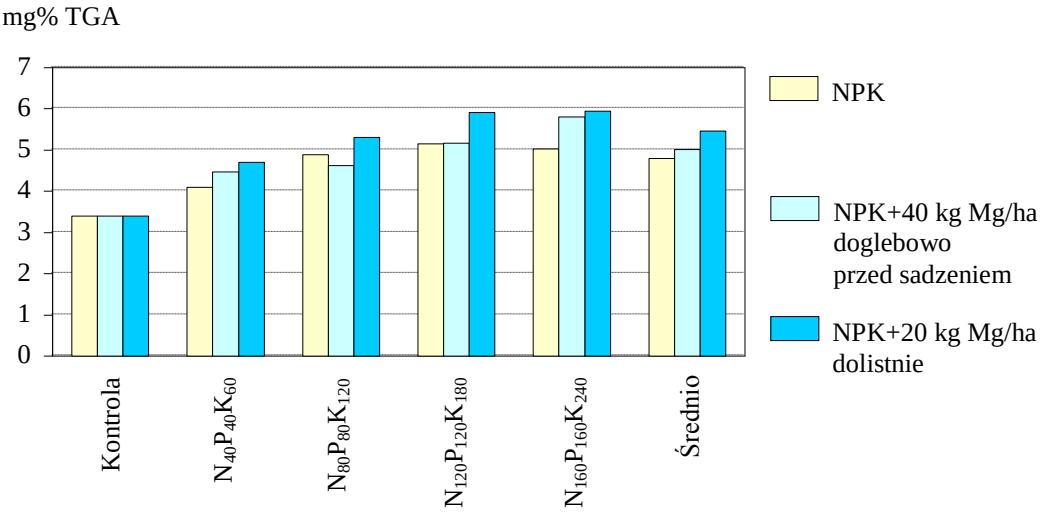
Rys. 7. Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka na początku kwitnienia, średnio za lata 1995-97

Tabela 13

Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka na początku kwitnienia, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	2,05	2,33	4,08	**2,82**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	2,73	5,08	4,82	**4,21**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	3,70	6,17	5,96	**5,28**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	4,17	6,82	5,51	**5,50**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	4,93	8,38	5,39	**6,23**
Średnio:	3,88	6,61	5,42	**5,30**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	4,20	4,99	5,18	**4,79**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	5,22	5,96	5,85	**5,68**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	5,80	7,40	5,82	**6,34**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	5,92	7,54	6,71	**6,72**
Średnio:	5,28	6,47	5,89	**5,88**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	0,40	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	0,45	0,49	0,41	**1,42**
współdziałania	0,64	n. ist.	0,58	**n. ist.**

Po przekwitnięciu nadal obserwowano wyższą zawartość glikoalkaloidów w bulwach nawożonych magnezem w stosunku do obiektów nie nawożonych tym składnikiem z doświadczenia pierwszego (rys. 8, tab. 14).



Rys. 8. Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka po przekwitnięciu, średnio za lata 1995-97

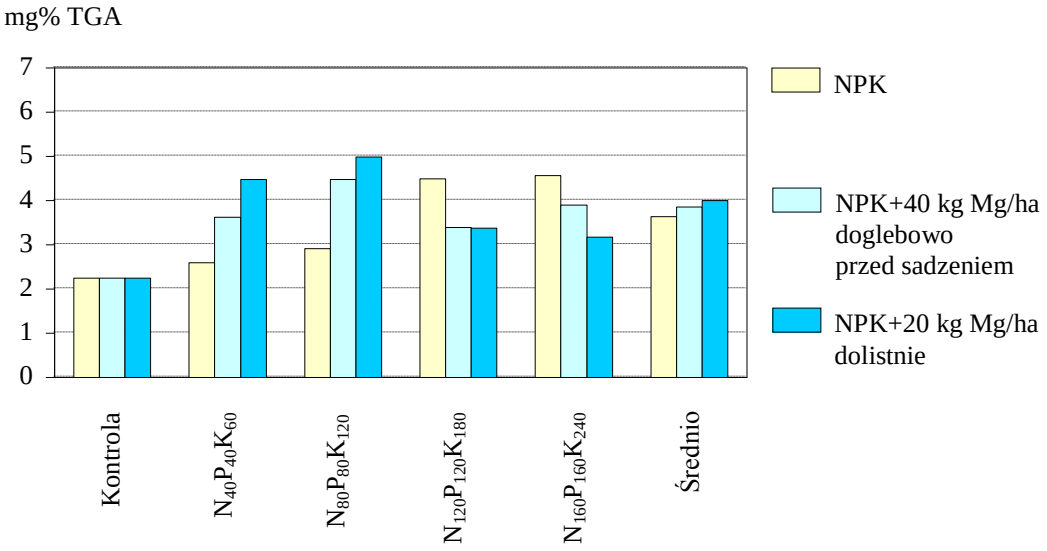
Tabela 14

Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka po przekwitnięciu, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	6,38	1,55	2,28	**3,40**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	8,22	2,00	3,18	**4,47**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	9,23	2,13	2,49	**4,62**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	11,33	2,38	1,80	**5,17**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	12,45	2,63	2,31	**5,80**
Średnio:	10,31	2,28	2,44	**5,01**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	9,00	2,26	2,84	**4,70**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	11,40	2,37	2,16	**5,31**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	12,41	2,60	2,76	**5,92**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	12,50	2,79	2,52	**5,94**
Średnio:	11,33	2,50	2,57	**5,47**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	n. ist.	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	0,49	0,37	0,52	**n. ist.**
współdziałania	0,70	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**

Oddziaływanie magnezu w terminie tym było słabsze niż na początku kwitnienia. Pierwiastek ten stosowany dolistnie powodował wzrost zawartości glikoalkaloidów w bulwach średnio o 14 %, a stosowany doglebowo tylko o 5 %. Jakkolwiek wykazany wzrost w wartościach względnych był znaczny, to jednak nie wykazano istotnego wpływu technologii nawożenia magnezem na zawartość glikoalkaloidów. Średnia zawartość solaniny w bulwach po przekwitnięciu w doświadczeniu tym wynosiła około 5 mg%. Wzrastające nawożenie NPK stosowane wraz z magnezem przyczyniło się do istotnego wzrostu zawartości solaniny w bulwach w poszczególnych latach doświadczenia. Ze względu jednak na dużą zmienność zawartości glikoalkaloidów w latach, różnic tych nie udowodniono statystycznie w odniesieniu do średniej z trzech lat. Mimo to można mówić o oddziaływaniu tego nawożenia na zawartość solaniny, gdyż przemawiają za tym obliczone współczynniki korelacji (r = 0,97** i 0,94* zał. 7).

Podczas zbioru końcowego w bulwach dojrzałych zastosowany w doświadczeniu magnez na tle niskich dawek NPK – $N_{40}P_{40}K_{60}$ oraz N_{80} P_{80} K_{120} spowodował podwyższenie zawartości solaniny w bulwach w stosunku do równoległych obiektów z doświadczenia pierwszego. Wpływ ten był szczególnie widoczny w obiektach nawożonych dawką dolistną (rys. 9, tab. 15)



Rys. 9. Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka po zbiorze, średnio za lata 1995-97

W przypadku wysokich dawek NPK nawożenie magnezem w obu seriach spowodowało obniżenie zawartości glikoalkaloidów w stosunku do wyłącznego nawożenia NPK.

Porównując technologię nawożenia magnezem stwierdzono, że pogłówne dolistne nawożenie przyczyniło się do większej koncentracji solaniny w bulwach niż nawożenie doglebowe tym składnikiem, jednak różnice te nie zostały statystycznie udowodnione.

Zastosowane w doświadczeniu nawożenie magnezem spowodowało w terminie tym rozluźnienie wykrytych w poprzednich terminach zależności pomiędzy dawką NPK, a ilością solaniny w bulwach. Współczynnik korelacji obniżył się w serii z magnezem stosowanym doglebowo i dolistnie odpowiednio do $r = 0,59$ i $r = 0,11$ (zał. 7). Jakkolwiek wykazano istotne oddziaływanie połączonego nawożenia NPK i Mg na zawartość solaniny, to jednak uzyskane wyniki ograniczają wnioskowanie w zakresie oddziaływania wzrastającego nawożenia NPK w połączeniu z nawożeniem magnezem.

Tabela 15

Oddziaływanie nawożenia magnezem przy doglebowym i dolistnym stosowaniu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w czasie zbioru, w mg% TGA

Kombinacje	1995	1996	1997	**Średnio**
1. Kontrola (bez nawożenia)	3,66	1,51	1,54	**2,24**
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	6,25	2,34	2,27	**3,62**
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	7,69	2,86	2,89	**4,48**
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	5,69	2,11	2,36	**3,39**
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	6,44	2,51	2,74	**3,90**
Średnio:	6,52	2,45	2,56	**3,84**
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	8,40	2,58	2,47	**4,48**
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	8,67	3,24	3,07	**4,99**
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	4,94	2,57	2,61	**3,37**
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	5,20	2,02	2,28	**3,17**
Średnio:	6,80	2,60	2,61	**4,00**
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	n. ist.	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**
wzrastającego nawożenia NPK	0,50	0,49	0,45	**1,02**
współdziałania	0,71	n. ist.	n. ist.	**n. ist.**

4.2.3. Oddziaływanie nawożenia potasem

Zastosowane w doświadczeniu trzecim wzrastające nawożenie potasem na ogół powodowało spadek zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaków (tab. 16-18).

Na początku kwitnienia średnia zawartość solaniny na obiekcie nie nawożonym potasem wynosiła 5,66 mg%, a przy najwyższej dawce potasu

Tabela 16

Oddziaływanie nawożenia potasem przy stałym nawożeniu azotem i fosforem na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka odm. Mila – na początku kwitnienia, w mg% TGA

	1995	1996	1997	**Średnio**
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	3,61	7,44	5,94	**5,66**
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	3,42	6,04	5,77	**5,08**
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	3,17	5,24	5,04	**4,48**
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	2,81	4,59	4,97	**4,12**
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	2,63	4,32	4,07	**3,67**
Średnio:	3,13	5,53	5,16	**4,61**
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	n.ist.	1,16	0,26	**0,91**

3,67 mg% (tab. 16). Charakterystycznym było to, że spadek zawartości solaniny był istotny zarówno w każdym z lat badań jak i w odniesieniu do średnich z trzech lat. Obniżenie zawartości solaniny następowało już po zastosowaniu potasu w dawce 160 kg/ha. Stwierdzona korelacja pomiędzy nawożeniem potasowym i zawartością solaniny w bulwach w tym terminie była wysoce istotna i wynosiła r = -0,99** (zał. 7).

W bulwach pobranych po przekwitnięciu wzrastające dawki potasu w mniejszym stopniu obniżały zawartość solaniny niż to stwierdzono na początku kwitnienia (tab. 17) Istotne obniżenie jej zawartości wykazano dopiero przy nawożeniu potasowym w ilości 240 kg/ha. Nadal jednak utrzymywał się bardzo silny związek pomiędzy ilością wnoszonego potasu, a zawartością glikoalkaloidów w bulwach (r = -0,98** zał. 7).

Tabela 17

Oddziaływanie nawożenia potasem przy stałym nawożeniu azotem i fosforem na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka odm. Mila – po przekwitnięciu, w mg% TGA

	1995	1996	1997	**Średnio**
1. $N_{80}P_{80}K_0$	10,06	2,93	3,34	**5,44**
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	9,47	2,78	3,66	**5,30**
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	8,85	2,53	2,63	**4,67**
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	8,01	2,38	2,17	**4,19**
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	6,76	2,20	2,59	**3,85**
Średnio:	8,63	2,56	2,88	**4,69**
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	0,36	n.ist.	0,54	**1,12**

W trzecim terminie pobrania prób – w czasie zbioru również stwierdzono zmniejszenie zawartości solaniny w bulwach na skutek wzrastających dawek potasu (tab. 18)

Tabela 18

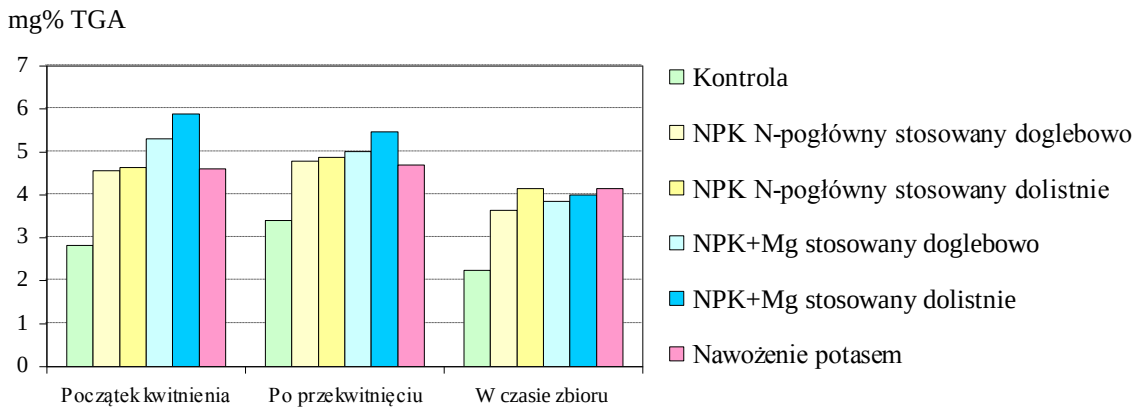
Oddziaływanie nawożenia potasem przy stałym nawożeniu azotem i fosforem na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka odm. Mila – w czasie zbioru, w mg% TGA

	1995	1996	1997	**Średnio**
1. $N_{80}P_{80}K_0$	7,58	2,85	2,77	**4,40**
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	7,44	2,76	2,67	**4,29**
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	6,46	2,63	2,63	**3,91**
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	6,73	2,51	2,61	**3,95**
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	7,28	2,50	2,83	**4,20**
Średnio:	7,10	2,65	2,7	**4,15**
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	n.ist.	n.ist.	n.ist.	**n.ist.**

Wykazany tu spadek zawartości glikoalkaloidów, zarówno w poszczególnych latach jak i w odniesieniu do średnich z trzech lat, mieścił się jednak w granicach błędu doświadczenia. Współczynnik korelacji dla porównania oddziaływania potasu w odniesieniu do średnich z trzech lat wynosił r = -0,54 (zał. 7).

4.2.4. Kształtowanie się zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w czasie wegetacji w podsumowaniu trzech doświadczeń

Zawartość solaniny w bulwach ziemniaka pobranych na początku kwitnienia, po przekwitnięciu i podczas zbioru wykazywała znaczne zróżnicowanie (rys. 10). W przypadku doświadczeń ze wzrastającym nawożeniem NPK i potasem akumulacja solaniny wykazywała zależność paraboliczną. Średnia jej zawartość w odniesieniu do tych dwóch doświadczeń przedstawiała się następująco: początek kwitnienia – 4,6; po przekwitnięciu – 4,8 i po zbiorze – 4,0 mg%.



Rys. 10. Średnia zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka odmiany Mila pobieranych przed kwitnieniem, po przekwitnięciu i w czasie zbioru.

Zastosowany magnez w doświadczeniu drugim zmienił przebieg krzywej zawartości solaniny w czasie wegetacji. Już w pierwszym terminie bulwy ziemniaków z tego doświadczenia charakteryzowały się najwyższą zawartością solaniny – 5,6 mg%. Zawartość ta była jednocześnie o około 22 % wyższa od zawartości stwierdzonej w bulwach z obiektów nie nawożonych tym pierwiastkiem. W kolejnych terminach tj. po przekwitnięciu i podczas zbioru obserwowano stopniowy spadek tej zawartości odpowiednio do 5,2 i 3,9 mg%. Magnez stosowany dolistnie w każdym z terminów działał silniej na syntezę solaniny niż stosowany doglebowo, przy czym podczas zbioru różnica ta była niewielka – 0,16 mg%.

Reasumując można stwierdzić, że zastosowany magnez przyczynił się do zwiększenia syntezy solaniny, szczególnie w bulwach młodszych w stosunku do obiektów nie nawożonych tym pierwiastkiem. Nawożenie to nie powodowało jednak nadmiernej kumulacji solaniny w bulwach podczas zbioru. W terminie tym średnia zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaków nawożonych magnezem była porównywalna z zawartością stwierdzoną w bulwach z obiektów nawożonych NPK i potasem.

4.3. Zmiany zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas przechowywania

Zbiór bulw z doświadczeń w poszczególnych latach przeprowadzono w optymalnym terminie tj. po skorkowaceniu przyczepu stolonowego. Po zbiorze bulwy zostały umieszczone w specjalnie do tego celu przygotowanej komorze z kontrolowanymi warunkami przechowalniczymi – temperaturą 4 ˚C i wilgotnością względną powietrza ± 95 %. Bulwy przechowywano w tych warunkach przez 6 miesięcy oznaczając zawartości solaniny w odstępach miesięcznych.

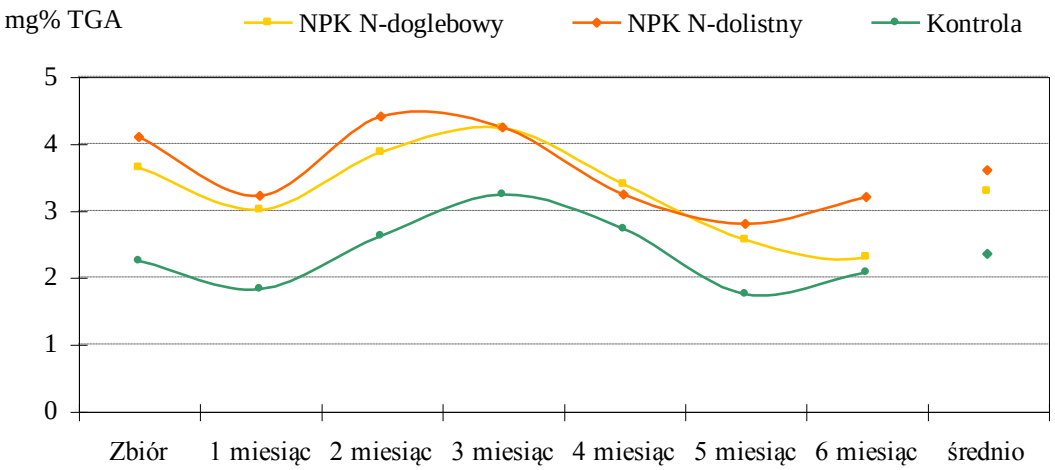
Średnie zawartości solaniny uzyskane z trzech lat z doświadczenia pierwszego przedstawiono w tabeli 19, a zmiany zachodzące w czasie przechowywania zobrazowano na rysunku 11.

W początkowym okresie przechowywania (podczas pierwszego miesiąca) nastąpił spadek zawartości solaniny w bulwach w stosunku do zawartości oznaczonej podczas zbioru we wszystkich kombinacjach doświadczenia. W serii z N-pogłównym stosowanym doglebowo spadek ten wyniósł 0,63 mg%, a w serii z azotem pogłównym aplikowanym dolistnie 0,86 mg% w stosunku do zawartości wykrytej po zbiorze. Reakcja ta mogła być kontynuacją tendencji spadku zawartości solaniny w bulwach w czasie wegetacji. W terminie tym, podobnie jak w momencie zbioru, wyższą zawartość solaniny stwierdzono w bulwach z obiektów nawożonych azotem

Tabela 19

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas przechowywania, w mg% TGA (średnio 1995-97)

Obiekty	Termin oznaczenia w miesiącach od zbioru							Średnio
	Zbiór	1	2	3	4	5	6	
1. Kontrola (bez nawożenia)	2,24	1,82	2,61	3,23	2,72	1,75	2,07	2,35
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	2,59	2,16	3,72	4,17	3,14	2,40	1,61	2,83
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	2,92	2,58	3,89	4,24	3,11	2,50	2,26	3,07
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	4,50	3,65	3,88	4,19	3,28	2,56	2,54	3,51
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	4,56	3,66	3,96	4,30	4,04	2,76	2,77	3,72
Średnio:	3,64	3,01	3,86	4,22	3,39	2,55	2,29	3,28
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	3,28	2,81	4,21	4,53	2,69	2,56	3,00	3,30
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	4,43	3,53	4,33	4,59	3,11	2,74	3,18	3,70
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	5,31	4,49	4,52	4,12	3,28	2,96	3,20	3,98
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	3,32	2,06	4,54	3,71	3,86	2,92	3,41	3,40
Średnio:	4,08	3,22	4,40	4,24	3,23	2,79	3,20	3,59
NIR (p = 0,05) dla:								
technologii nawożenia magnezem	0,97	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	0,04	n. ist.	-
wzrastającego nawożenia NPK	n. ist.	n. ist.	0,74	0,49	0,48	0,28	0,49	-
współdziałania	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	-
NIR p = 0,05								



Rys. 11. Oddziaływanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas przechowywania, średnio za lata 1995-97

dolistnie niż doglebowo. Średnia zawartość dla tych serii wynosiła odpowiednio 3,22 i 3,01 mg%. Dalsze przechowywanie powodowało wzrost koncentracji solaniny w bulwach.

Po drugim miesiącu przechowywania wzrost ten wynosił średnio 33 %. Nadal wyraźnie wyższa zawartość solaniny występowała w bulwach nawożonych NPK, niż w bulwach z obiektu kontrolnego. Obiekty nawożone N-pogłównym dolistnie zawierały w tym okresie 4,40 mg%, a nawożone doglebowo tym składnikiem – 3,86 mg%.

Po trzecim miesiącu przechowywania w serii, gdzie azot pogłówny stosowano doglebowo odnotowano dalszy wzrost zawartości solaniny średnio o 0,36 mg%, ale w serii z nawożeniem dolistnym nastąpił już spadek o 0,16 mg% w stosunku do zawartości oznaczonej po drugim miesiącu przechowywania.

Po czwartym i piątym miesiącu przechowywania nastąpił spadek koncentracji solaniny w bulwach. Podczas piątego terminu oznaczeń nadal większą zawartością solaniny charakteryzowały się bulwy z obiektów nawożonych niż z kontroli. Jednak sposób stosowania azotu pogłównego nie różnicował już tej zawartości.

W ciągu szóstego miesiąca przechowywania stwierdzono niewielki wzrost ilości solaniny w bulwach z obiektu kontrolnego i nawożonych N-dolistnie.

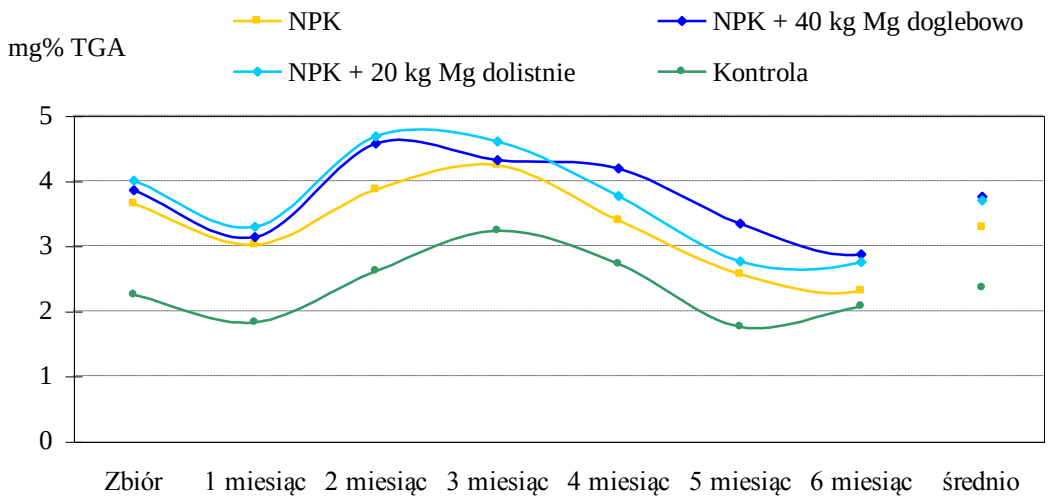
Po półrocznym okresie przechowywania zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaków spadła do 2,07 mg% na obiekcie kontrolnym oraz średnio do 2,29 i 3,20 mg% na obiektach nawożonych doglebowo i dolistnie pogłówną dawką azotu.

Analizując różnice istotne obliczone w doświadczeniu pierwszym podczas przechowywania, w większości terminów oznaczeń stwierdzono, że nawożenie NPK jest czynnikiem, który w decydującej mierze rzutuje na ilość solaniny w bulwach ziemniaka. Jedynie podczas zbioru i po pierwszym miesiącu przechowywania wpływ dawek NPK na zawartość solaniny w bulwach okazał się nie istotny. W drugim, trzecim i piątym miesiącu przechowywania istotnie na ilość solaniny wpłynęła najniższa dawka – $N_{40}P_{40}K_{60}$ niezależnie od sposobu stosowania pogłównej dawki azotu. Po czwartym miesiącu przechowywania dawką w istotny sposób modyfikującą

ilość solaniny w bulwach było $N_{80}P_{80}K_{120}$. Po sześciu miesiącach przechowywania bulw na poziom solaniny istotnie wpływała dawka $N_{80}P_{80}K_{120}$ w serii z nawożeniem pogłównym doglebowo oraz dawka $N_{40}P_{40}K_{60}$ w serii z N-pogłównym stosowanym w formie oprysku.

W porównaniu oddziaływania stosowanego nawożenia na zawartość solaniny w bulwach podczas przechowywania wykazano znacznie większy wpływ wzrastających dawek NPK niż porównywanych technologii nawożenia azotem. Istotność wpływu nawożenia NPK potwierdzono również obliczając współczynniki korelacji pomiędzy zastosowanymi dawkami nawożenia mineralnego, a zawartością solaniny w bulwach po przechowywaniu. Po sześciu miesiącach przechowywania, utrzymała się stosunkowo wysoka korelacja pomiędzy dawką NPK a zawartością glikoalkaloidów w seriach z dolistną i doglebową dawką azotu odpowiednio r = 0,83 i r = 0,87* (zał. 7).

Podobne zmiany w zawartości solaniny w bulwach ziemniaków podczas przechowywania odnotowano w doświadczeniu drugim – z magnezem. Po pierwszym miesiącu przechowywania nastąpił spadek koncentracji glikoalkaloidów w bulwach (rys. 12, tab. 20).



Rys. 12. Oddziaływanie doglebowego i dolistnego nawożenia magnezem na zawartość glikoalkaloidów w bulwach podczas przechowywania, średnio za lata 1995-97

Tabela 20

Oddziaływanie doglebowego i dolistnego nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas przechowywania, w mg% TGA (średnio 1995-97)

Obiekty	Termin oznaczenia w miesiącach od zbioru							Średnio
	Zbiór	1	2	3	4	5	6	
1. Kontrola (bez nawożenia)	2,24	1,82	2,61	3,23	2,72	1,75	2,07	2,35
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	3,62	2,84	3,62	3,60	3,44	2,86	2,41	3,20
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	4,48	3,64	4,11	3,70	3,87	3,02	2,39	3,60
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	3,39	2,80	4,65	4,65	4,27	3,29	3,24	3,75
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	3,90	3,24	5,90	5,30	5,13	4,20	3,39	4,44
Średnio:	3,85	3,13	4,57	4,31	4,18	3,34	2,86	3,75
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	4,48	3,93	4,04	3,89	3,27	2,52	2,26	3,48
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	4,99	4,06	4,48	4,30	3,45	2,73	2,46	3,78
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	3,37	2,46	5,07	5,00	4,01	2,59	3,03	3,65
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	3,17	2,70	5,12	5,21	4,31	3,19	3,26	3,85
Średnio:	4,00	3,29	4,68	4,60	3,76	2,76	2,75	3,69
NIR (p = 0,05) dla:								
technologii nawożenia magnezem	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	0,04	n. ist.	-
wzrastającego nawożenia NPK	1,02	1,31	1,43	0,99	0,49	0,56	0,91	-
współdziałania	n. ist	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist.	n. ist	n. ist.	-

Zastosowane w tym doświadczeniu nawożenie magnezem spowodowało podwyższenie zawartości solaniny w bulwach w porównaniu do bulw nie nawożonych tym składnikiem z doświadczenia pierwszego. Fakt ten stwierdzono zarówno po zbiorze jak i w każdym z terminów przechowywania bulw. Podczas przechowywania średnia zawartość solaniny w bulwach z obiektów nawożonych magnezem była o 12 % wyższa niż w bulwach z obiektów nawożonych wyłącznie NPK.

Podobnie jak w doświadczeniu z nawożeniem NPK, po pierwszym miesiącu przechowywania średnia zawartość solaniny spadła w stosunku do zbioru na obiektach nawożonych magnezem doglebowo i dolistnie średnio o 0,71 mg%.

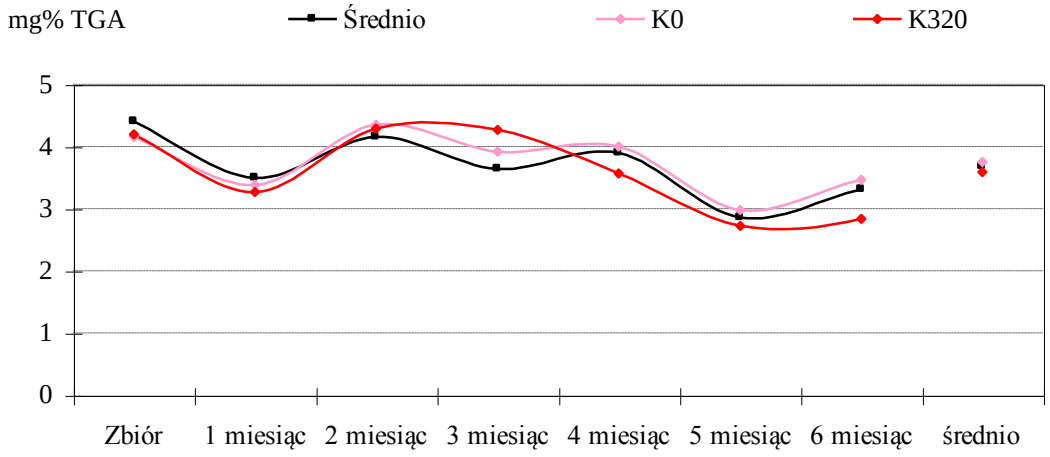
Po drugim miesiącu przechowywania nastąpił, tak jak w doświadczeniu pierwszym wysoki wzrost zawartości solaniny w bulwach. Porównując technologię stosowania magnezu stwierdzono, że niższą zawartością solaniny charakteryzowały się bulwy nawożone magnezem doglebowo niż dolistnie.

Różnica ta nie została jednak statystycznie udowodniona. Istotnie natomiast na zawartość glikoalkaloidów wpływało wzrastające nawożenie NPK stosowane wraz z magnezem. Podczas gdy w ciągu trzeciego miesiąca przechowywania następował dalszy wzrost zawartości solaniny w bulwach pochodzących z kontroli, to bulwy z obiektów nawożonych magnezem zaczęły „tracić" glikoalkaloidy. Spadek ten trwał praktycznie do końca przechowywania.

We wszystkich terminach oznaczeń udowodniono statystycznie, że na zawartość solaniny w przechowywanych bulwach miało wpływ wzrastające nawożenie NPK+Mg. Nie stwierdzono natomiast różnicy w kształtowaniu się jej zawartości w zależności od technologii nawożenia magnezem. Podobnie jak w doświadczeniu pierwszym po sześciu miesiącach przechowywania nadal istniała wysoka korelacja pomiędzy dawką NPK stosowaną z magnezem a zawartością solaniny w bulwach (zał. 7). Współczynniki korelacji liczone dla serii z magnezem stosowanym doglebowo i dolistnie wynosiły odpowiednio r = 0,95** i r = 0,98**.

Zastosowane w doświadczeniu trzecim wzrastające nawożenie potasem złagodziło tendencję do zmian zawartości solaniny w bulwach podczas przechowywania. Po pierwszym miesiącu składowania wykazano, podobnie jak w pierwszym i drugim doświadczeniu, spadek zawartości solaniny w bulwach (rys. 13). Spadek ten wyniósł średnio 0,77 mg% w stosunku do zawartości stwierdzonej po zbiorze (tab. 21).

W czasie dalszego przechowywania bulw obserwowano w nich lekki wzrost poziomu glikoalkaloidów. W kolejnych terminach oznaczeń następowały wahania zawartości solaniny w bulwach. Wysokie zawartości glikoalkaloidów w tym doświadczeniu wykazano w drugim i w czwartym miesiącu przechowywania – odpowiednio 4,35 mg% i 4,00 mg%. W czasie przechowywania nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanych wzrastających dawek potasu na kształtowanie się zawartości glikoalkaloidów w bulwach. Rysujące się w czasie wegetacji i po zbiorze tendencje uległy całkowitemu zatarciu (r = 0,03 zał. 7).



Rys. 13. Działanie nawożenia potasem na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas ich przechowywania, w mg% TGA średnio za lata 1995-97

Tabela 21

Działanie nawożenia potasem na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka podczas ich przechowywania, w mg% TGA (średnio 1995-97)

Obiekty	Termin oznaczenia w miesiącach od zbioru							Średnio
	Zbiór	1	2	3	4	5	6	
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	4,40	3,50	4,15	3,64	3,90	2,86	3,31	3,68
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	4,29	3,61	4,54	3,63	4,10	2,91	3,06	3,73
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	3,91	3,31	4,36	3,94	4,43	3,47	3,97	3,91
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	3,95	3,19	4,41	4,09	4,00	2,92	4,11	3,81
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	4,20	3,27	4,29	4,27	3,57	2,72	2,83	3,59
Średnio:	4,15	3,38	4,35	3,91	4,00	2,98	3,46	3,75
NIR (p = 0,05) dla: wzrastającego nawożenia potasem	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.	-

4.4. Analiza zawartości glikoalkaloidów w porównaniu do plonu bulw i zawartości wybranych składników

W celu poznania współzależności pomiędzy zawartością solaniny a plonem i zawartością podstawowych składników w bulwach obliczono współczynniki korelacji prostej. W grupie porównywanych składników uwzględniono: skrobię, N-ogółem, witaminę C oraz wybrane aminokwasy egzo- i endogenne. Zawartości składników oznaczonych w bulwach zestawiono w załącznikach 8 – 25.

W doświadczeniu pierwszym stwierdzono istotną dodatnią korelację pomiędzy zawartością solaniny oznaczoną w liściach na początku kwitnienia, a wielkością plonu bulw (tab. 22).

Tabela 22
Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością glikoalkaloidów, a wybranymi cechami plonu w zależności od technologii nawożenia azotem

ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW	Seria z N-pogłównym stosowanym doglebowo				Seria z N-pogłównym stosowanym dolistnie			
	Plon bulw	Zawartość skrobi	Zawartość N-ogółem	Zawartość witaminy C	Plon bulw	Zawartość skrobi	Zawartość N-ogółem	Zawartość witaminy C
Zawartość solaniny w liściach na początku kwitnienia	0,95**	-0,61	0,80	-0,89*	0,87*	-0,69	0,90*	-0,81
Zawartość solaniny w bulwach po zbiorze	0,87*	-0,75	0,94*	-0,88*	0,76	-0,10	0,49	-0,32

* - istotny przy p = 0,05 ** - istotny przy p = 0,01

Stosunkowo wysoka korelacja wystąpiła również pomiędzy zawartością solaniny w liściach, a zawartością N-ogółem. W tym przypadku silniej działało nawożenie dolistne azotem (r = 0,90*). Zawartość solaniny w liściach była ujemnie skorelowana z zawartością witaminy C w bulwach. Związek ten był silniejszy na obiektach nawożonych azotem doglebowo niż dolistnie.

W przypadku solaniny oznaczonej w bulwach po zbiorze jedynie w serii z N-doglebowym stwierdzono istotne korelacje pomiędzy jej zawartością a plonem bulw i zawartością N-ogółem oraz witaminy C.

W doświadczeniu drugim zawartość solaniny oznaczona w liściach na początku kwitnienia była istotnie skorelowana z plonowaniem ziemniaka oraz

z zawartością witaminy C w bulwach, zarówno w serii z magnezem stosowanym doglebowo jak i dolistnie.

Zawartość solaniny w bulwach ziemniaków z tego doświadczenia stwierdzona po zbiorze praktycznie nie miała istotnego związku z plonem bulw i jego badanymi cechami.

Tabela 23

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością glikoalkaloidów, a wybranymi cechami plonu w zależności od technologii nawożenia magnezem

ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW	Seria z Mg stosowanym przed sadzeniem doglebowo				Seria z Mg stosowanym pogłównie dolistnie			
	Plon bulw	Zawartość skrobi	Zawartość N-ogółem	Zawartość witaminy C	Plon bulw	Zawartość skrobi	Zawartość N-ogółem	Zawartość witaminy C
Zawartość solaniny w liściach na początku kwitnienia	0,98**	-0,40	0,83	-0,87*	0,96**	-0,49	0,66	-0,96**
Zawartość solaniny w bulwach po zbiorze	0,80	-0,17	0,35	-0,46	0,46	0,20	-0,18	-0,13

* - istotny przy p = 0,05 ** - istotny przy p = 0,01

W doświadczeniu trzecim podobnie jak w dwóch poprzednich, stwierdzono wysoce istotną zależność pomiędzy zawartością solaniny w liściach, a uzyskanym plonem oraz ilością witaminy C (tab. 24).

Z kolei zawartość solaniny w bulwach ziemniaka z tego doświadczenia dodatnio korespondowała z wielkością plonu bulw, ale nie miała związku z zawartością skrobi, N-ogółem oraz witaminy C.

Tabela 24

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością glikoalkaloidów, a wybranymi cechami plonu w zależności od nawożenia potasem

ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW	Plon bulw	Zawartość skrobi	Zawartość N-ogółem	Zawartość witaminy C
Zawartość solaniny w liściach w czasie kwitnienia	0,98**	-0,40	0,83	-0,87*
Zawartość solaniny w bulwach po zbiorze	0,80	-0,17	0,35	-0,46

* - istotny przy p = 0,05, ** - istotny przy p = 0,01

Zawartość solaniny w liściach i bulwach ziemniaka w niewielkim stopniu korelowała z zawartością N-ogółem w bulwach. Jednocześnie wykazano również współzależność między jej zawartością a ilością niektórych aminokwasów w przeliczeniu na 16 g N-ogółem.

W doświadczeniu pierwszym zawartości solaniny w liściach istotnie korelowała w obu seriach nawożenia azotem z ilością lizyny i kwasu asparaginowego (tab. 25). Poza tym w serii z N-pogłównym stosowanym

Tabela 25

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością glikoalkaloidów, a zawartością aminokwasów w zależności od technologii nawożenia azotem

ZAWARTOŚĆ AMINOKWASÓW	ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW			
	Seria z N-pogłównym stosowanym doglebowo		Seria z N-pogłównym stosowanym dolistnie	
	w liściach na początku kwitnienia	w bulwach po zbiorze	w liściach na początku kwitnienia	w bulwach po zbiorze
Arginina	0,65	0,32	0,83	0,51
Fenyloalanina	-0,79	-0,64	-0,91*	-0,51
Histydyna	-0,19	-0,27	-0,61	-0,40
Izoleucyna	-0,51	-0,72	-0,89*	-0,61
Leucyna	-0,45	-0,62	-0,88*	-0,79
Lizyna	-0,99**	-0,94*	-0,97**	-0,60
Metionina	-0,50	-0,72	-0,86*	-0,30
Treonina	-0,57	-0,70	-0,73	-0,77
Walina	0,28	0,49	-0,76	-0,16
Suma aminokwasów egzogennych	-0,55	-0,72	-0,55	-0,72
Alanina	-0,85*	-0,85*	-0,80	-0,06
Kwas asparaginowy	0,93*	0,90*	0,89*	0,71
Cystyna i cysteina	-0,72	-0,83	-0,77	-0,82
Kwas glutaminowy	-0,96**	-0,80	-0,09	-0,27
Glicyna	-0,77	-0,96**	-0,93*	-0,73
Prolamina	0,82	0,58	0,90*	0,28
Seryna	-0,57	-0,69	-0,75	-0,76
Tyrozyna	0,51	0,25	0,65	0,86*
Suma aminokwasów endogennych	0,90*	0,80	0,97**	0,65

* - istotny przy p = 0,05, ** - istotny przy p = 0,01

doglebowo wykazano wyraźną interakcję między zawartością solaniny a ilością alaniny i kwasu glutaminowego. W serii z N-pogłównym stosowanym dolistnie dodatkowo wykazano współdziałanie zawartości

solaniny z ilością fenyloalaniny, izoleucyny, leucyny, metioniny, glicyny i prolaminy.

Solanina oznaczona w bulwach po zbiorze wykazała wyraźnie większą współzależność z zawartością aminokwasów w bulwach w serii nawożonej azotem doglebowo niż dolistnie. W pierwszym przypadku taką zależność wykazano w odniesieniu do lizyny, alaniny, kwasu asparaginowego i glicyny, a w drugim jedynie do tyrozyny.

W doświadczeniu drugim stwierdzono, że zawartość solaniny w liściach oznaczona na początku kwitnienia była także skorelowana z zawartością niektórych aminokwasów w bulwach ziemniaka (tab. 26).

Tabela 26

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością glikoalkaloidów, a zawartością aminokwasów w zależności od technologii nawożenia magnezem

ZAWARTOŚĆ AMINOKWASÓW	ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW			
	Seria z Mg-stosowanym przed sadzeniem doglebowo		Seria z Mg stosowanym pogłównie dolistnie	
	w liściach na początku kwitnienia	w bulwach po zbiorze	w liściach na początku kwitnienia	w bulwach po zbiorze
Arginina	0,86*	0,52	0,90*	0,51
Fenyloalanina	-0,64	-0,14	-0,44	-0,30
Histydyna	-0,46	-0,42	-0,74	-0,59
Izoleucyna	-0,35	-0,25	-0,80	-0,63
Leucyna	-0,89*	-0,79	-0,90*	-0,55
Lizyna	-0,95**	-0,85*	-0,53	-0,92*
Metionina	-0,42	0,04	-0,81	-0,37
Treonina	-0,81	-0,41	-0,87*	-0,06
Walina	0,29	0,24	0,07	-0,06
Suma aminokwasów egzogennych	-0,62	-0,43	-0,73	-0,60
Alanina	0,48	-0,08	-0,85*	0,02
Kwas asparaginowy	0,34	0,42	0,95**	0,43
Cystyna i cysteina	-0,82	-0,32	-0,82	-0,13
Kwas glutaminowy	-0,63	-0,80	-0,93*	-0,03
Glicyna	-0,84	-0,82	-0,99**	-0,45
Prolamina	0,70	0,59	0,94*	0,43
Seryna	-0,81	-0,44	-0,91*	-0,22
Tyrozyna	0,62	0,47	0,92*	0,63
Suma aminokwasów endogennych	0,73	0,59	0,87*	0,65

* - istotny przy p = 0,05, ** - istotny przy p = 0,01

W przypadku obu serii nawożenia magnezem taką zależność wykazano w odniesieniu do argininy i leucyny. W serii z magnezem stosowanym doglebowo dodatkowo korelację wykazano w przypadku lizyny, a w serii z magnezem stosowanym dolistnie w przypadku treoniny oraz aminokwasów endogennych z wyłączeniem cystyny i cysteiny.

Zawartość solaniny oznaczona w bulwach ziemniaka z tego doświadczenia wykazała istotny związek jedynie z zawartością lizyny.

W doświadczeniu trzecim zastosowany potas silnie osłabił zależności pomiędzy ilością solaniny w liściach a zawartością aminokwasów w bulwach (tab. 27). Spośród oznaczonych aminokwasów istotne współczynniki korelacji stwierdzono jedynie w odniesieniu do leucyny i seryny. Z kolei zawartość solaniny w bulwach była istotnie skorelowana tylko z ilością fenyloalaniny, izoleucyny i metioniny.

Tabela 27

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością glikoalkaloidów, a zawartością aminokwasów w zależności od nawożenia potasem

ZAWARTOŚĆ AMINOKWASÓW	ZAWARTOŚĆ GLIKOALKALOIDÓW	
	w liściach na początku kwitnienia	w bulwach po zbiorze
Arginina	-0,05	0,62
Fenyloalanina	-0,60	-0,91*
Histydyna	-0,67	0,17
Izoleucyna	-0,61	-0,86*
Leucyna	-0,90*	-0,52
Lizyna	0,13	0,06
Metionina	0,84	0,88*
Treonina	-0,69	-0,20
Walina	0,73	-0,05
Suma aminokwasów egzogennych	-0,58	-0,12
Alanina	-0,75	-0,33
Kwas asparaginowy	0,75	0,03
Cystyna i cysteina	-0,83	-0,41
Kwas glutaminowy	-0,14	0,42
Glicyna	-0,76	-0,41
Prolamina	-0,65	-0,73
Seryna	-0,90*	-0,41
Tyrozyna	-0,73	-0,30
Suma aminokwasów endogennych	0,23	0,02

* - istotny przy p = 0,05, ** - istotny przy p = 0,01

5. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

W przeprowadzonych doświadczeniach w latach 1995 – 1997 zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych ziemniaków nie przekraczała ogólnie przyjętego za bezpieczny poziomu 20 mg TGA/100g świeżej masy bulw. Maksymalne zawartości solaniny w bulwach dojrzałych wynosiły: w doświadczeniu ze wzrastającym NPK – 9,5 mg%, w doświadczeniu z NPK+Mg – 8,7 mg%, a w doświadczeniu ze wzrastającym nawożeniem potasowym – 7,6 mg%.

Na podstawie danych literatury z zakresu zawartości solaniny w ziemniaku należy stwierdzić, że większość autorów koncentruje się na określaniu oddziaływania składników nawozowych na poziom glikoalkaloidów
w bulwach. Niewiele natomiast jest doniesień dotyczących wpływu nawożenia na zawartość solaniny w liściach ziemniaków.

Zawartość glikoalakaloidów w częściach nadziemnych (liściach, łodygach i owocach) jest o wiele wyższa niż w bulwach. Friedman i Dao (1992) badali rozmieszczenie glikoalkaloidów w poszczególnych organach ziemniaka nowej odmiany NDA 1725. Stwierdzone zawartości układały się następująco: bulwy – 14,7; łodyga główna – 32,0; łodygi boczne – 45,6; korzenie – 86,0; liście – 145,0; kiełki – 997,0 mg%.

Potwierdzają to wyniki badań własnych, w których stwierdzono znacznie wyższe zawartości solaniny w liściach niż w bulwach ziemniaka. W doświadczeniu pierwszym średnia zawartość glikoalkaloidów w bulwach pobranych w fazach na początku kwitnienia i po przekwitnięciu wynosiła 4,7 mg%. Zawartość ta była 30–krotnie niższa niż w liściach. W doświadczeniu drugim, gdzie na tle NPK zastosowano magnez zawartość solaniny w bulwach w omawianych terminach wynosiła średnio 5,4 mg% i była 28–krotnie niższa od zawartości stwierdzonej w liściach. W doświadczeniu trzecim stwierdzono tę samą zależność. Bulwy w porównywanych terminach zawierały 4,6 mg% solaniny tj. o około 37 razy

mniej niż liście. Uzyskane wyniki są zgodne z danymi zamieszczonymi w opracowaniu Gabriela (1974).

Świniarski i Jacniacka (1979) stwierdzili, że zawartość solaniny w liściach nie jest skorelowana z jej ilością stwierdzaną w bulwach ziemniaków.

Na podstawie danych własnych obliczono współczynniki korelacji (zał. 26) pomiędzy zawartością solaniny w liściach ziemniaków, a jej zawartością w bulwach. Z dwóch porównywanych terminów pobrania prób tj. na początku kwitnienia i po przekwitnięciu, jedynie w drugim terminie wykazano wysoką współzależność pomiędzy zawartością solaniny wykrytą w liściach i bulwach ziemniaka.

Stwierdzono znaczne zróżnicowanie zawartości solaniny w liściach pomiędzy latami, niezależnie od terminu pobrania prób. Wyraźnie wyższe ilości glikoalkaloidów wystąpiły w liściach pobranych do analiz w roku 1997. Rok ten, a szczególnie miesiąc lipiec, w którym pobierano próby liści, charakteryzował się znacznie wyższymi opadami niż pozostałe dwa lata badań. Niską z kolei zawartość solaniny stwierdzono w liściach podczas wegetacji 1995 roku, który odznaczał się wyższą średnią temperaturą powietrza zarówno w odniesieniu do poszczególnych lat badań, jak i do średniej z wielolecia.

W dostępnej literaturze niewiele jest doniesień dotyczących wpływu warunków pogodowych na kształtowanie się zawartości solaniny w liściach ziemniaków. Ocena oddziaływania pogody dotyczy raczej jej wpływu na zawartość glikoalkaloidów w bulwach.

Zawartość solaniny w bulwach ziemniaka wykazuje duże i niejednoznaczne uzależnienie od warunków pogody. Niektórzy autorzy (Griffiths i wsp. 1997, Hellenäs i wsp. 1995b, Sinden i Webb 1974, 1984 oraz Papathonasiou i wsp. 1999) wykazują większą akumulację solaniny w latach mokrych i chłodnych. Chungharoen i wsp. (1987) w doświadczeniu prowadzonym w kontrolowanych warunkach stwierdzili, że ilość syntetyzowanej solaniny w bulwach ziemniaków rosnących w temperaturze

16 ˚C była niższa niż w ziemniakach rosnących w temperaturze 12 ˚C. Olsson i Carlsson (1993) w badaniach z odmianami British Queen i Magnum Bonum nie stwierdzili istotnych różnic w zawartości glikoalkaloidów pomiędzy bulwami ziemniaków uprawianych przy nadmiarze wilgoci, a bulwami ziemniaków rosnących w warunkach optymalnego uwilgotnienia.

Inną zależność stwierdzili Zrust (1997), Morris i Petermann (1985) oraz Levy i wsp. (1993) W ich badaniach wysoka temperatura i niedobór wilgoci sprzyjały syntezie glikoalkaloidów w bulwach. W badaniach Frydeckiej-Mazurczyk i Zgórskiej (1998) poziom solaniny w bulwach był wyraźnie wyższy w latach gorących i suchych, niż w latach chłodnych i wilgotnych.

Zróżnicowane warunki pogody panujące w latach 1995–97, w których przeprowadzono obecne doświadczenia wyraźnie oddziaływały na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka. Duża ilość opadów oraz wysoka średnia temperatura powietrza panujące w 1997 roku sprzyjały nagromadzaniu solaniny w bulwach. W przypadku 1996 roku, w którym była niska temperatura i znacznie mniejsze opady, w stosunku do średniej z wielolecia, nastąpiło ograniczenie syntezy solaniny w bulwach ziemniaka.

Stwierdzone rozbieżności w oddziaływaniu warunków pogody na zawartość solaniny w ziemniaku, między danymi literatury a badaniami własnymi, przypuszczalnie wynikają ze specyfiki odmian i różnorodności pozostałych czynników, w tym warunków siedliska rzutujących na kształtowanie się tej cechy.

Podczas uprawy ziemniaka szczególnie w latach o niesprzyjających warunkach pogodowych, należy liczyć się z dużymi wahaniami zawartości solaniny w bulwach.

Potwierdzeniem dużej zmienności tej cechy w latach są badania Mazurczyka (1988) wykonane z 36 odmianami ziemniaków. Średnia zawartość solaniny w tych odmianach wahała się od 4,0 mg% w roku 1984 do 11,7 mg% w roku 1983.

Wielkość współczynnika zmienności obliczona dla zawartości solaniny w badaniach własnych była zależna również od fazy rozwojowej roślin.

W przypadku liści wartość tego współczynnika po zbiorze wynosiła 38 % a po przekwitnięciu 54 %. W bulwach pobranych na początku kwitnienia współczynnik zmienności wynosił 23 %, po przekwitnięciu – 81 %, a po zbiorze 59 %.

W przeprowadzonych badaniach technologia zastosowanego nawożenia azotem i magnezem generalnie nie miała wpływu na wielkość wahań zawartości solaniny w ziemniaku. Zauważono natomiast, że zastosowane wzrastające dawki NPK zarówno w doświadczeniu pierwszym, jak i w drugim pogłębiały wahania zawartości solaniny w ziemniaku pomiędzy poszczególnymi latami. W doświadczeniu trzecim brak potasu wyraźnie wpływał na pogłębianie się różnic w zawartości solaniny w liściach ziemniaków pomiędzy latami badań. Zależności tej nie stwierdzono w przypadku bulw.

Zawartość solaniny w ziemniaku w badaniach własnych zależała od fazy rozwojowej w jakiej dokonano oceny. Wyższą jej zawartość stwierdzono w liściach młodych niż w liściach starych. Podobne wyniki uzyskali Kolbe i Stephan-Beckman (1997a, 1997b). Analizując liście roślin ziemniaka w czasie 120 dni wegetacji autorzy wykazali, że największą zawartością solaniny charakteryzują się liście najmłodsze. Zawartość glikoalkaloidów w liściach pobranych w 30 dniu wegetacji wynosiła około 240 mg% i do 120 dnia następował jej powolny spadek do około 180 mg% suchej masy. Wysokie zawartości solaniny w liściach na początku wegetacji w porównaniu do liści starszych stwierdzili również w swoich badaniach Świniarski i Jacniacka (1979). Progresywny spadek zawartości solaniny w częściach nadziemnych roślin ziemniaka stwierdzili Ahmed i Müller (1979). Według nich wysoka koncentracja solaniny w roślinach ziemniaka, szczególnie we wczesnych stadiach rozwoju, stanowi niejako swoistą samoochronę roślin przed patogenami. Tego typu opinie przedstawiają w swych pracach również Fewell i Roddick (1997), Jonasson i Olsson (1994) oraz Mazurczyk i Kuźniewicz (1987).

W czasie trwania wegetacji podobnie jak w liściach również w bulwach zachodzą zmiany ilościowe solaniny. Sinden i Webb (1984) oraz Verbist i Monnet (1979) donoszą, że w bulwach drobnych i niedojrzałych należy się liczyć z możliwością wystąpienia wysokich zawartości solaniny. Autorzy informują jednocześnie, że nie stwierdzono istotnych korelacji pomiędzy wielkością i dojrzałością bulw, a koncentracją w nich solaniny. Z kolei Gerstner i wsp. (1999) w swoich badaniach stwierdzili, że istnieje ścisły związek pomiędzy wielkością bulw, a zawartością w nich solaniny. Gelder i wsp. (1988) uważają, że badania i kontrola poziomu solaniny są szczególnie ważne w przypadku odmian wczesnych jadalnych, które często w postaci niewielkich bulw tzw. „baby potatoes" trafiają do marketów. Ilość solaniny w takich ziemniakach często zbliża się do granicy bezpiecznej zawartości 20 mg%. Poza tym bulwy ziemniaków młodych najczęściej nie są obierane, lecz tylko myte, co powoduje, że stają się one znaczącym źródłem naturalnych toksyn w diecie człowieka (Davies i Blincow 1984, Hellenäs i wsp. 1995a).

Bulwy młode w prezentowanych badaniach własnych charakteryzowały się stosunkowo niską zawartością glikoalkaloidów. W doświadczeniach ze wzrastającym nawożeniem NPK i K zmiany zawartości solaniny w bulwach w czasie trwania wegetacji miały przebieg paraboliczny. Niska zawartość solaniny stwierdzona na początku kwitnienia – średnio 4,6 mg% w drugim terminie ulegała niewielkiemu wzrostowi – 4,8 mg%, a następnie spadała do minimalnej w czasie zbioru – 4,0 mg%. W doświadczeniu drugim zauważono, że na skutek zastosowanego nawożenia magnezem szczególnie wysoka synteza solaniny nastąpiła w bulwach na początku kwitnienia. W tym terminie stwierdzono najwyższe stężenie solaniny – 5,6 mg%, a w dalszych terminach zawartość ta stopniowo obniżała się do 5,2 i 3,9 mg%.

Cieślik i Praznik (1998), badając cztery odmiany ziemniaków również stwierdzili paraboliczny układ zawartości solaniny w bulwach podczas wegetacji. Średnia koncentracja glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian przebiegała następująco: po 60 dniach wegetacji – 3,6; po 70 – 5,4; po 80 –

7,8 i po 111 – 1,3 mg% TGA. Kolbe i Stephan-Beckman (1997a, 1997b) spadek koncentracji solaniny w bulwach tłumaczą stopniowym „rozcieńczeniem" początkowej (wyjściowej) ilości glikoalkaloidów na skutek nagromadzania przez bulwy składników suchej masy.

Uzyskane wyniki badań własnych korespondują także z wynikami uzyskanymi przez Mazurczyka (1988). Podobnie niską koncentrację solaniny wykazały również Frydecka-Mazurczyk i wsp. (1995). W bulwach dojrzałych zbieranych w sierpniu było kilka razy mniej solaniny niż w bulwach młodych zbieranych w lipcu. Stężenia glikoalkaloidów stwierdzone w bulwach młodych nie były jednak tak wysokie, jak wykazał Papathonasiou i wsp. (1998). Autor na podstawie doświadczeń z trzema odmianami ziemniaka podaje, że zawartość solaniny w bulwach na początku wegetacji była bardzo wysoka. Po 60 dniach wegetacji analizowane młode bulwy ziemniaków zawierały od nieco ponad 20 do prawie 120 mg% TGA. Zawartości te mieściły się więc w zakresie od przekraczających dozwoloną ilość 20 mg% TGA do praktycznie toksycznych. Stwierdzona na początku wysoka zawartość solaniny w bulwach w czasie wegetacji ulegała stałemu obniżaniu. Spadek ten był odwrotnie proporcjonalny do wzrostu zawartości suchej masy w bulwach.

Zastosowane w doświadczeniach własnych nawożenie zdecydowanie wpływało na zawartość solaniny w liściach i w bulwach ziemniaka. Wpływ ten był widoczny w każdym z terminów pobrania prób. Elementem, który utrudniał interpretację uzyskanych wyników były omówione wcześniej bardzo duże wahania zawartości solaniny pomiędzy poszczególnymi latami badań. Mimo to koncentrując się na wynikach uzyskanych z poszczególnych lat oraz na obliczonych współczynnikach korelacji stwierdzono, że technologia stosowania pogłównej dawki azotu w doświadczeniu pierwszym wykazała jedynie tendencję do kształtowania zawartości solaniny w liściach. W pierwszym terminie większą ilość solaniny gromadziły liści nawożone azotem dolistnie, w drugim zaś doglebowo.

Stosowane w doświadczeniu wzrastające dawki NPK w każdym z branych pod uwagę lat zarówno na początku kwitnienia jak i po

przekwitnięciu, istotnie wpływały na ilość indukowanej solaniny w liściach i w bulwach ziemniaka. Zwiększanie dawek NPK zarówno w doświadczeniu pierwszym jak i drugim na ogół prowadziło do podwyższania zawartości solaniny.

Wpływ wzrastających dawek NPK na zawartość solaniny wcześniej określała Rogozińska (1995). W badaniach tych azot zwiększał ilość substancji szkodliwych, w tym i solaniny w bulwach ziemniaków. Wzrost ten był niemal proporcjonalny do zwiększanych dawek tego składnika, tj. do 200 kg N/ha.

Stosowany w doświadczeniu drugim magnez spowodował wzrost ilości solaniny w liściach na początku kwitnienia średnio o 17% w stosunku do obiektów nawożonych wyłącznie NPK. Silniej na syntezę solaniny w liściach działała dawka magnezu stosowana doglebowo niż dolistnie. W przypadku bulw znacznie większy wzrost zawartości glikoalkaloidów odnotowano na obiektach nawożonych magnezem dolistnie niż doglebowo. Wzrastające dawki NPK w połączeniu z magnezem powodowały wzrost ilości solaniny w bulwach zarówno w I jak i w II terminie oznaczeń. W czasie zbioru nastąpiło jednak rozluźnienie wykrytych wcześniej zależności. Świadczą o tym niskie współczynniki korelacji dla serii z magnezem doglebowym i dolistnym, które wynosiły kolejno r = 0,59 i r = 0,11. O istotnym wpływie magnezu na zawartość solaniny w bulwach ziemniaka donoszą również Evans i Mondy (1984). Autorzy w badaniach z odmianą Katahdin stwierdzili, że zawartość glikoalkaloidów istotnie wzrastała wraz ze zwiększaniem dawki tego pierwiastka. O odmiennym oddziaływaniu magnezu na zawartość solaniny w bulwach ziemniaków donosi Rogozińska (1991). W badaniach z odmianami Mila i Atol po zastosowaniu magnezu w ilości 40 kg/ha stwierdzono spadek zawartości kwasu chlorogenowego i solaniny.

Istotnym czynnikiem wpływającym na zawartość solaniny w ziemniaku jest stosowane nawożenie potasowe (Ahmed i Müller 1979, Wünsch i Munzert 1994). Potwierdzenie tego poglądu uzyskano w doświadczeniu trzecim. Wzrastające dawki potasu, zarówno na początku kwitnienia jak i po

przekwitnięciu, powodowały spadek zawartości solaniny w liściach ziemniaków. O silnym związku potasu z solaniną w liściach przemawiają wysokie współczynniki korelacji, które w kolejnych terminach wynosiły: r = -0,99** i r = -0,97**.

Stosowany potas na ogół powodował spadek ilości solaniny w bulwach. Obliczone współczynniki korelacji w kolejnych terminach wynosiły r = -0,99*; r = -0,98** i r = -0,54. Podobne zależności pomiędzy zawartością solaniny w bulwach, a nawożeniem potasowym stwierdziła Rogozińska (1999). Autorka udowodniła, że wraz ze zwiększaniem dawek potasu zawartość solaniny regularnie spadała. W badaniach tych ilość solaniny w bulwach z obiektów nawożonych dawką 240 kg K_2O/ha w stosunku do kontroli spadła o 24 % i 16 % (odpowiednio po zastosowaniu potasu w postaci K_2SO_4 i KCl). W badaniach własnych po zastosowaniu dawki 240 kg K_2O/ha stwierdzono spadek o 10 % w stosunku do zawartości stwierdzonej na obiekcie nie nawożonym potasem. W innych badaniach Rogozińska i Wojdyła (1999) nie potwierdzili powyższej zależności. Tym razem pod wpływem wzrastających dawek potasu w zakresie od 50 do 150 kg K_2O/ha u odmiany Mila nastąpił wzrost zawartości solaniny w bulwach, a u odmiany Beryl różnice nie były istotne.

Na temat zmian zawartości solaniny w bulwach w czasie przechowywania przeważa opinia, że bulwy składowane zawierają wyższe ilości glikoalkaloidów niż bulwy świeżo zebrane. Ilość solaniny w bulwach w czasie przechowywania zależy od stanu ich dojrzałości. Według Frydeckiej-Mazurczyk i Zgórskiej (1993) w pierwszym miesiącu przechowywania zawartość solaniny w bulwach niedojrzałych wzrasta dwukrotnie, a w bulwach dojrzałych notuje się zjawisko odwrotne. W rezultacie po przechowywaniu bulwy zebrane w stanie niedojrzałym zawierają znacznie więcej solaniny niż bulwy zbierane w optymalnym terminie. Podobne obserwacje dotyczące poziomu glikoalkaloidów opisał Zrust (1997). Autor badając zawartość solaniny w bulwach odmian Krystala, Karin i Arnika stwierdził, iż jej poziom rósł w ciągu pierwszych pięciu miesięcy przechowywania, a w ciągu

następnych trzech spadł do poziomu wyjściowego. W innych badaniach Zhang i wsp. (1997) nie zaobserwowali istotnych zmian w zawartości glikoalkaloidów w bulwach podczas ich składowania.

Zawartość solaniny w bulwach z trzech przeprowadzonych doświadczeń w pierwszym miesiącu przechowywania obniżała się. Obserwacji tych nie potwierdzili Cieślik i Praznik (1998) oraz Leja (1987). W badaniach Cieślik i Praznik (1998) średnia zawartość solaniny w bulwach po zbiorze wynosiła 0,7 mg%. Podczas pierwszego miesiąca przechowywania w chłodni w temperaturze +4 ºC i w przechowalni +10 ºC nastąpił wzrost zawartości solaniny w bulwach odpowiednio do 1,8 i 1,9 mg% w stosunku do ilości stwierdzonej po zbiorze. Od drugiego miesiąca przechowywania bulw następował w nich stopniowy dalszy wzrost koncentracji solaniny.

Udowodniono, że po spadku zawartości solaniny w bulwach w pierwszym miesiącu przechowywania, w dalszym czasokresie następował stopniowy wzrost jej koncentracji. Taka tendencja występowała w zależności od obiektów do drugiego lub trzeciego miesiąca przechowywania. Po tym czasie na ogół następowało obniżenie zawartości solaniny do piątego miesiąca przechowywania. W szóstym miesiącu składowania nastąpiło wyraźne podwyższenie zawartości solaniny w bulwach z większości obiektów z nawożeniem.

Stwierdzono także, że zawartość solaniny w liściach na początku kwitnienia była na ogół dodatnio skorelowana z określonym po zbiorze plonem bulw i zawartością w nim N-ogółem i ujemnie z ilością witaminy C. Zawartość solaniny w bulwach dojrzałych w znacznie mniejszym stopniu korelowała z wielkością plonu i zawartością w bulwach N-ogółem i witaminy C. Jedynie w doświadczeniu pierwszym w serii z N-pogłównym stosowanym doglebowo wykazano istotną dodatnią korelację między zawartością solaniny w bulwach a uzyskanym plonem i zawartością N-ogółem oraz ujemną w odniesieniu do witaminy C. Dodatnią korelację pomiędzy zawartością solaniny w bulwach, a ilością azotu ogółem wykazała w swej pracy również Cieślik (1995).

Generalnie należy stwierdzić, że w prowadzonych badaniach własnych wzrost zawartości solaniny w bulwach powodowany zwiększanymi dawkami NPK odbywał się równolegle z przyrostem plonu, zwiększaniem ilości azotu ogólnego oraz z niemal liniowym spadkiem zawartości witaminy C w bulwach. Podobne efekty w odniesieniu do nawożenia samym azotem uzyskali Lis i Wierzejska-Bujakowska (1999) oraz Leszczyński i Lisińska (1986).

Oznaczona w doświadczeniach zawartość solaniny w liściach i w bulwach ziemniaka wykazała związek z niektórymi aminokwasami oznaczonymi w bulwach po zbiorze. Nowacki i Jurzysta (1975) twierdzą, że glikoalkaloidy są produktem powstającym podczas wtórnego metabolizmu ziemniaka. Jeżeli substancje toksyczne – odpadowe w roślinach ziemniaka są produkowane w nadmiernych ilościach wówczas uruchomiony zostaje wtórny metabolizm, służący syntezie solaniny. Sytuacja taka następuje przy wysokim nawożeniu azotem. Gdy poziom dostępnego azotu wzrasta, rośliny wykorzystują cukry i związki bezazotowe do syntezy akceptorów azotu: szczególnie kwasu asparaginowego i glutaminowgo. W przykładzie podanym przez autorów na skutek wysokiego nawożenia azotem odnotowano jedynie 50 % wzrost zawartości metioniny, podczas gdy kwas glutaminowy, asparaginowy, ornitynowy i α-amino-butryna wzrosły o 300 %. Aminokwasy te generalnie nie są zużywane do syntezy białka, ale są wykorzystywane we wtórnym metabolizmie do produkcji glikoalkaloidów. Substraty służące do ich syntezy nie są tolerowane przez rośliny, dlatego też muszą być detoksykowane poprzez ich konwersję w mniej toksyczną solaninę.

Istotne korelacje pomiędzy zawartością solaniny, a ilością takich aminokwasów jak kwas asparaginowy i kwas glutaminowy wykazała w swojej pracy również Cieślik (1995). W doświadczeniach własnych ilość glikoalkaloidów oznaczona w liściach i w bulwach była dodatnio skorelowana z zawartością w bulwach takich aminokwasów jak arginina, walina, kwas asparaginowy, prolamina i tyrozyna, a w doświadczeniu z potasem z lizyną,

metioniną i kwasem asparaginowym. Pozostałe aminokwasy na ogół były ujemnie skorelowane z ze stwierdzoną zawartością glikoalkaloidów.

W doświadczeniu pierwszym istotne korelacje stwierdzono pomiędzy zawartością solaniny w liściach, a lizyną i kwasem asparaginowym oraz w serii z N-pogłównym stosowanym doglebowo dodatkowo z alaniną i kwasem glutaminowym, a w serii z N-pogłównym stosowanym dolistnie z fenyloalaniną, izoleucyną, leucyną, metionią, glicyną i prolaminą. Solanina oznaczona w bulwach była skorelowana z lizyną, alaniną, kwasem asparaginowym i glicyną oraz z tyrozyną.

W doświadczeniu drugim na skutek stosowanego wzrastającego nawożenia NPK wraz z magnezem ujawniły się związki solaniny zawartej w liściach z argininą i leucyną a poza tym w serii z Mg doglebowym z lizyną oraz w serii z Mg dolistnym z treoniną i aminokwasami endogennymi, z wyjątkiem cystyny i cysteiny. Zawartość solaniny oznaczona w bulwach po zbiorze była skorelowana jedynie z ilością lizyny.

Stosowane w doświadczeniu trzecim nawożenie potasem osłabiło związek solaniny z zawartością aminokwasów. Zależności wykryto jedynie w przypadku solaniny w liściach w stosunku do leucyny i seryny oraz w przypadku solaniny w bulwach w stosunku do fenyloalaniny, izoleucyny i metioniny.

6. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych wyników badań nad zawartością glikoalkaloidów w liściach i bulwach ziemniaka średnio wczesnego można przedstawić następujące wnioski:

1. Uprawiane w doświadczeniach ziemniaki odmiany – Mila pod wpływem stosowanego nawożenia nie wykazywały tendencji do nagromadzania glikoalkaloidów powyżej dopuszczalnej normy 20 mg/100g świeżej masy bulw.
2. Zawartość glikoalkaloidów w liściach badanych ziemniaków w zależności od nawożenia była od 28 do 37 razy wyższa niż zawartość stwierdzona w bulwach.
3. Zawartość glikoalkaloidów w liściach po przekwitnięciu była ściśle skorelowana z ich zawartością w bulwach. Wcześniej, na początku kwitnienia, zależności takiej nie wykazano.
4. Zawartość solaniny w ziemniaku w poszczególnych latach uprawy była uzależniona od warunków pogody. Zwiększone opady sprzyjały nagromadzaniu solaniny w liściach, natomiast wysoka temperatura powietrza ograniczała wielkość jej syntezy. W przypadku bulw zwiększona ilość opadów oraz wysoka temperatura powietrza sprzyjały syntezie solaniny, natomiast niska temperatura i zmniejszone opady obniżyły jej zawartość.
5. Zawartość glikoalkaloidów stwierdzona w liściach i bulwach uprawianych ziemniaków pomiędzy poszczególnymi latami badań ulegała bardzo dużej fluktuacji. Zmienność ta zwiększała się wraz ze zwiększaniem dawek NPK, a jej zmniejszenie następowało pod wpływem wzrastających dawek potasu.
6. Liście młode pobrane na początku kwitnienia zawierały więcej solaniny o 32 – 49 % niż liście starsze pobrane po przekwitnięciu.
7. Zmiany zawartości solaniny w bulwach podczas wegetacji miały przebieg paraboliczny. Niską jej zawartość stwierdzono na początku kwitnienia

a maksymalną po przekwitnięciu, która wraz z upływem czasu ulegała powolnemu spadkowi. Zastosowany magnez znacznie podwyższał zawartość solaniny w bulwach na początku kwitnienia ziemniaków.

8. Stosowane w doświadczeniach wzrastające nawożenie NPK oraz NPK+Mg prowadziło do wzrostu zawartości glikoalkaloidów w bulwach i liściach ziemniaka. Większy wzrost ilości solaniny stwierdzono po zastosowaniu NPK łącznie z magnezem.
9. Technologia pogłównego nawożenia azotem nie wpłynęła na wielkość akumulacji solaniny w liściach i bulwach ziemniaka. Doglebowe nawożenie magnezem silniej zwiększało zawartość solaniny w liściach niż nawożenie dolistne. W bulwach natomiast większą akumulację glikoalkaloidów stwierdzono po zastosowaniu magnezu w formie oprysku. Nawożenie potasem obniżało zawartość solaniny zarówno w liściach jak i w bulwach ziemniaków.
10. W pierwszym miesiącu przechowywania ilość glikoalkaloidów w bulwach z trzech przeprowadzonych doświadczeń obniżała się. Podczas drugiego miesiąca następował wzrost koncentracji solaniny w bulwach. Po okresie 2-3 miesięcy zawartość glikoalkaloidów w bulwach ulegała systematycznemu spadkowi. Zawartość ta po przechowywaniu w kolejnych trzech doświadczeniach była o około 21 %, 29 % i 19 % niższa niż po zbiorze.
11. Zawartość solaniny w liściach i bulwach dojrzałych była skorelowana z wielkością plonu oraz zawartością N-ogółem i witaminy C w bulwach. W przypadku plonu i zawartości N-ogółem wystąpiła zależność dodatnia, a w odniesieniu do witaminy C korelacja była ujemna.
12. Zawartość glikoalkaloidów w liściach i bulwach dojrzałych na ogół była dodatnio skorelowana z zawartością w bulwach: argininy, waliny, kwasu asparaginowego, prolaminy i tyrozyny oraz w doświadczeniu z potasem z ilością lizyny, metioniny i kwasu asparaginowego. Pozostałe aminokwasy na ogół były skorelowane ujemnie.

7. LITERATURA

1. AHMED S. S., MÜLLER K., 1979. *Seasonal changes and the effect of nitrogen and potash fertilization on the solanine and α-chaconine content in various parts of the potato plant.* Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, vol. 142, No 2: 275-279
2. BERGERS W. A., 1980. *A rapid quantitative assay for solanidine glycoalkaloids in potatoes and industrial potato protein.* Potato Research 23: 105-110
3. BIRECKI M., 1967. *Ziemniaki*. PWRiL: 52-55
4. CHUNGCHAROEN A, ELBE J.H., WHEELER R.M., TIBBITTS T.W., 1987. *Glycoalkaloids of potato tubers grown under controlled environments.* American Potato Journal 64: 432-433
5. CHUNGCHAROEN A., 1989. *Glycoalkaloid content of potatoes grown under controlled environments and stability of glycoalkaloids during processing.* Dissertation Abstracts International, B Sciences and Engineering 49: 8, 2945B
6. CIEŚLIK E., 1995. *Zawartość związków azotowych w bulwach ziemniaka w aspekcie żywieniowym i toksykologicznym.* Zesz. Nauk. Akad. Roln. Krak. Rozpr. Hab. 203: 1-54
7. CIEŚLIK, E. PRAZNIK W., 1998. *Changes of glycolakaloid content in potato tubers of selected varieties during vegetation and storage.* Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 7/48, No 3: 417-422
8. CIEŚLIK, E., 1997. *Czynniki wpływające na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka.* Post. Nauk Rol. 44/49 nr 5: 113-119
9. DALE M.F.B., GRIFFITHS D.W., BAIN H., TODD D., 1993. *Glycoalkaloid increase in Solanum tuberosum on exposure to light*. Annal sof Applied Biology 123: 411-418
10. DAVIES A.M.C., BLINCOW P.J., 1984. *Glycoalkaloid content of potatoes and potato products sold in UK.* Journal of the Science of Food and Agriculture 35: 553-557

11. EVANS D, MONDY N.I., 1984. *Effect of magnesium fertilization on glycoalkaloid formation in potato tubers*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 32: 465-466
12. FEWELL A.M., RODDICK J.G., 1997. *Interactive antifungal activity of the glycoalkaloids alpha-solanine and alpha-chaconine*. Phytochemistry 33: 323-328
13. FRIEDMAN M., DAO L., 1992. *Distribution of glycoalkaloids in potato plants and commercial potato products*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40: 419-423
14. FRYDECKA-MAZURCZYK A., ZGÓRSKA K., 1993. *Biochemiczne wskaźniki określajace stan fizjologiczny bulw ziemniaka.* Biuletyn Instytutu Ziemniaka 43: 147-161
15. FRYDECKA-MAZURCZYK A., ZGÓRSKA K., 1996. *The influence of genotype, place and year of cultivation on the nitrates and glycoalkaloids content in potato tubers.* Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations 13th Conference of EAPR Veldhoven, Nederland: 218-219
16. FRYDECKA-MAZURCZYK A., ZGÓRSKA K., 1997. *Zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka*. Ziemniak Polski 4:10-12
17. FRYDECKA-MAZURCZYK A., ZGÓRSKA K., 1998. *Zawartość azotanów i glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka.* Por. Gosp. 9: 38-39
18. FRYDECKA-MAZURCZYK A., ZGÓRSKA K., MAZURCZYK W., 1995. *Azotany i glikoalkaloidy w bulwach ziemniaków młodych*. Ziemniak Polski 3: 29-33
19. GABRIEL W., 1974. *Ziemniak.* PWRiL: 35
20. GELDER W.M.J. VAN, VINKE J.H., SCHEFFER J.J.C., 1988. *Steroidal glycoalkaloids in tubers and leaves of Solanum species used in potato breeding.* Euphytica 48: 147-158
21. GERSTNER G., HEYER A.G., ENGEL K.H., 1999. *Glycoalkaloids in transgenic potatoes.* Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations 14th Conference of EAPR Sorrento, Italy: 680-681

22. GŁUSKA A., ZGÓRSKA K., 1998. *Charakterystyka zrejonizowanych odmian ziemniaka.* Wydanie V IHAR O/Bonin.
23. GRIFFITHS D.W., BAIN H., DALE M.F.B., 1997. *The effect of low-temperature storage on the glycoalkaloid content of potato (Solanum tuberosum) tubers.* Journal of the Science of Food and Agriculture 74: 301-307
24. GRIFFITHS D.W., DALE M.F.B., BAIN H., 1994. *The effect of cultivar, maturity and storage on photo-induced changes in the total glycoalkaloid and chlorophyll contents of potatoes (Solanum tuberosum).* Plant Science Limerick 98: 103-109
25. HELLENÄS K.E., BRANZELL C., 1995. *Glycoalkaloids (solanine) in potatoes. Glykoalkaloider solanin i potatis.* Var Foda 47: 34-38
26. HELLENÄS K.E., BRANZELL C., JOHNSSON H., SLANINA P., 1995a. *Glycoalkaloid content of early potato varieties.* Journal of the Sciences of Food and Agriculture 67: 125-128
27. HELLENÄS K.E., BRANZELL C., JOHNSSON H., SLANINA P., 1995b. *High levels of glycoalkaloids in established Swedish potato variety Magnum Bonum.* Journal of the Science of Food and Agriculture 68: 249-255
28. HLYWKA J.J., STEPHENSON G.R., SEARS M.K., YADA R.Y., 1994. *Effects of insect damage on glycoalkaloid content in potatoes (Solanum tuberosum).* Journal of Agricultural and Food Chemistry 42: 2545-2550
29. JONASSON T., OLSSON K., 1994. *The influence of glycoalkaloids, chlorogenic acid and sugars on the susceptibility of potato tubers to wireworm.* Potato Research 37: 205-216
30. KAABER L., 1992. *Factors which affect glycoalkaloid level in cultivated potato varieties in Norway.* Faktorer som pavirker glykoalkaloidnivaet i potetsorter dyrket i Norge. Nordisk-Jordbruksforskning 74: 138-139
31. KAMASA J., BORYS J., 1991. *Ocena wartości gospodarczej odmian ziemniaka w Polsce.* Synteza materiałów wyjściowych dla hodowli ziemniaka – dorobek i perspektywa. Inst. Ziemn. Bonin: 127-131

32. KEELER R.E., BROWN D., DOUGLAS D.R., STALLKNECHT G.F., YOUNG S., 1975. *The testing of blighted aged and control Russet Burbank potato tuber preparation for ability to produce spina bifida and anencephaly in rats, rabbits, hamsters and mice.* American Potato Journal 52: 125-132
33. KEUKENS E.A.J., 1995. *The molecular mechanism of sterolomediated membrane disruption induced by glycoalkaloids.* Rozprawa habilitacyjna, Uniwersytet Utrecht, Holandia
34. KOLBE H., STEPHAN-BECKMANN S., 1997a. *Development, growth and chemical composition of the potato crop (Solanum tuberosum L.).* I. Leaf and stem. Potato Research 40: 111-129
35. KOLBE H., STEPHAN-BECKMANN S., 1997b. *Development, growth and chemical composition of the potato crop (Solanum tuberosum L.).* II. Tuber and whole plant. Potato Research 40: 135-153
36. LEJA M., 1987. *Wpływ czynników stresowych na skład chemiczny bulw ziemniaka.* Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Rozprawa habilitacyjna
37. LESZCZYŃSKI W., LISIŃSKA G., 1986. *Wpływ nawożenia azotem i terminu sadzenia ziemniaka odmian Atol, Cisa i Reda na zmiany Jakości bulw.* Biul. Inst. Ziemn., nr 34: 63-71
38. LEVY D., LISKER N., DIMENSTEIN L., 1993. *The effect of temperature on the content of glycoalkaloids in the tubers.* Abstracts of the 12th Triennial Conference of EAPR, Paris, France: 196-197
39. LIS B., WIERZEJSKA-BUJAKOWSKA A., 1999. *Wykorzystanie azotu przez jadalne odmiany ziemniaka a ich plonowanie.* Mat. Konf. Nauk. Ziemmniak jadalny i dla przetwórstwa spożywczego – czynniki agrotechniczne i przechowalnicze warunkujące jakość. Radzików, 23-25 lutego 1999: 30-34
40. LOVE S.L., HERRMAN T.J., THOMPSON-JOHNS A., BAKER T.P., 1994. *Effect and interaction of crop management factors on the glycoalkaloid concentration of potato tubers.* Potato Research 37: 77-85

41. MAGA J. A., 1980. *Potato glycoalkaloids.* Critical Reviews in Food Science and Nutrition 12: 371-405
42. MAZUR T., CIEĆKO Z., BIENIASZEWSKA J., 1986. *Zawartość kwasu chlorogenowego i cytrynowego oraz solaniny i witaminy C w bulwach ziemniaków w zależności od nawożenia azotem.* Mat. Konf. Wpływ nawożenia na jakość plonów Olsztyn, 24-25 czerwca 1986 r: 234-238
43. MAZUR T., WOJTAS A., 1992. *Effect of nitrogen fertilizer application on the dynamics of nitrogen consumption and the quality of potato tubers.* Agrokhimiya 5: 11-17
44. MAZURCZYK W., 1986. *Wpływ nawożenia azotowego i potasowego na poziom glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka.* Mat. Konf. Wpływ nawożenia na jakość plonów Olsztyn, 24-25 czerwca 1986 r: 297-300
45. MAZURCZYK W., 1988. *Zmiany zawartości glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka, zależne od odmiany oraz wybranych czynników agrotechnicznych.* Ziemniak: 29-43
46. MAZURCZYK W., 1989. *Zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka znajdujących się w obrocie detalicznym.* Roczn. PZH XL nr 1: 21-25
47. MAZURCZYK W., KUŹNIEWICZ M., 1987. *Zależność między poziomem glikoalkaloidów a porażeniem bulw ziemniaka przez Fusarium w okresie przechowalniczym.* Biuletyn Instytutu Ziemniaka 35: 77-85
48. MCMILLAN M., THOMPSON J.C., 1979. *An outbreak of suspected solanine poisoning in schoolboys: examination of criteria of solanine poisoning.* Quarterly Journal of Medicine 48: 227-243
49. MONDY N.I., GOSSELIN B., 1988. *Effect of peeling on total phenols, total glycoalkaloids, discoloration and flavour of cooked potatoes.* Journal of Food Science, 53: 756-759
50. MONDY N.I., LEJA M., GOSSELIN B., 1987. *Changes in total phenolic, total glycoalkaloid, and ascorbic acid content of potatoes as a result of bruising.* Journal of Food Science, 52: 631-633

51. MONDY N.I., MUNSHI C.B., 1990. *Effect of nitrogen fertilization on glycoalkaloid and nitrate content of potatoes.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 38: 565-567
52. MONDY N.I., MUNSHI C.B., GOSSELIN B., 1988. *The effect of nitrogen fertilization on the quality of potatoes.* American Potato Journal 65: 492-493
53. MONDY N.I., PONNAMPALAM R., 1985. *Effect of magnesium fertilizers on total glycoalkaloids and nitrate-N in Katahdin tubers.* Journal of Food Science 50: 535-536
54. MORRIS S.C., LEE T.H., 1984. *The toxicity and teratogenicity of Solanaceae glycoalkaloids, particularly those of the potato (Solanum tuberosum).* Food Technology in Australia 36: 118-124
55. MORRIS S.C., PETERMANN J.B., 1985. *Genetic and environmental effects on levels glycoalkaloids in cultivars of potato (Solanum tuberosum L.).* Food Chemistry 18: 271-282
56. NISHIE K., GUMBMANN M.R., KEYL A.C., 1977. *Pharmacology of solanine.* Toxicol. Appl. Pharmacol. 19: 81-92
57. NOWACKI E., JURZYSTA M., GORSKI P., 1975. *Effect of availability of nitrogen on alkaloid synthesis in Solanaceae.* Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences, Sciences Biologiques 23: 219-225
58. OLSSON K., CARLSSON C., 1993. *Do wet field conditions influence glycoalkaloids in potatoes?* Abstracts 12th Conference of EAPR - 1993, Paris, France: 192-193
59. PANOVSKA Z., HAJSLOVA J., KOTAL F., KOSINKOVA P., 1994. *Glycoalkaloids of potato.* Mater. Inter. Euro. Food Tox. IV Konfer. Bioactive substances in food of plant origin, Olsztyn 22-24. 09. 1994
60. PAPATHONASIOU F, MITCHELL S.H., HARVEY B.M.R., 1998. *Glycoalkaloid accumulation during tuber development of early potato cultivars.* Potato Research 41: 117-125
61. PAPATHONASIOU F, MITCHELL S.H., WATSON S., HARVEY B.M.R., 1999. *Effect of environmental stress during tuber development on*

accumulation of glycoalkaloids in potato (Solanum tuberosum L.) Journal of the Science of Food and Agriculture 79: 1183-1189

62. PEJCEV P., NIKIFOROV N., RUSEV R., 1967. *Poucavanie i farmakologia svoistva na glikoalkaloidite Solanum tuberosum L.* Eksp. Med. Morfol. 6: 36-41
63. PERCIVAL G.C., DIXON G.R., SWORD A., 1996. *Glycoalkaloid concentration of potato tubers following exposure to daylight.* Journal of the Science of Food and Agriculture 71: 59-63
64. PHILLIPS B.J., HUGHES J.A., PHILLIPS J.C., WALTERS D.G., ANDERSON D., TAHOURDIN C.S.M., 1996. *A study of the toxic hazard that might be associated with the consumption of green potato tops.* Food and Chemical Toxicology 34: 439-448
65. PONNAMPALAM R., MONDY N.I., 1983. *Effect of cooking on the total glycoalkaloid content of potatoes.* Journal of Agricultural and Food Chemistry 31: 493-495
66. POSWILLO D.E. SOPHER D., MITCHELL S., COXON D.T., CURTIS R.F., PRICE K.R., 1973. *Investigations into teratogenic potential of imperfect potatoes.* Teratology 8: 339-348
67. POSWILLO D.E., SOPHER D., MITCHELL S., 1972. *Experimental induction of fetal malformation with blighted potato: a preliminary report.* Nature 239: 462-464
68. RENWICK J.H., 1972. *Hypothesis anencephaly and spina bifida are usually preventable by avoidance of a specific but unidentified substance present in certain potato tubers.* Brit. J. Prev. Soc. Med. 26: 67-88
69. RODDICK J.G., RIJNENBERG A.L., OSMAN S.F., 1988. *Synergistic interaction between potato alkaloids α-solanine and α-chaconine in relation to destabilization of cell membranes.* Ecological implications. Journal of Chemical Ecology 14: 889-902
70. ROGOZIŃSKA I., 1991. *Effect of magnesium fertilizer on quality traits of potatoes.* Kartoffelbau 42, 6: 257-259

71. ROGOZIŃSKA I., 1995. *Wpływ nawożenia azotowego na bilans azotu oraz szkodliwych dla zdrowia substancji chemicznych w bulwach ziemniaka.* Post. Nauk Rol. R.42/47 nr 1/95: 59-65
72. ROGOZIŃSKA I., 1999. *The effect of environmental factors on the solanine content in the tubers of potato edible varieties.* Mat. Konf . Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations 14th Conference of EAPR, Sorrento, Italy: 628-629
73. ROGOZIŃSKA I., WOJDYŁA T., 1999. *Der Einfluß variierter Düngung, einer Pflanzenschutzmittel Anwendung und der Lagerung auf den Glykoalkaloid Gehalt in Kartoffelknollen zweier Sorten.* Potato Research 42: 1: 79-88
74. SINDEN S.L., 1987. *Potato glycoalkaloids.* Acta-Horticulturae, No. 207, 41-47, in 22nd International Horticultural Congress, Davis, California, USA, 11-20 August: 1986
75. SINDEN S.L., WEBB R.E., 1974. *Effect of variety and location on the glycoalkaloid content of potatoes.* American Potato Journal 49: 334-338
76. SINDEN S.L., WEBB R.E., 1984. *Genetic and environmental control of potato glycoalkaloids.* American Potato Journal 61: 141-156
77. STANKLER L.H., KAMPS-HOLTZAPPLE C., FRIEDMAN M., 1994. *Development and characterization of monoclonal antibodies that differentiate between potato and tomato glycolakaloids and aglycons.* Journal of Agricultural and Food Chemistry 42:2360-2366
78. STYSZKO L., 1999. *Relacje pomiędzy odpornością na ważniejsze patogeny i mątwika ziemniaczanego a elementami jakości ziemniaka jadalnego.* Mat. z Konf. Nauk. Ziemniak jadalny i dla przetwórstwa spożywczego – czynniki agrotechniczne i przechowalnicze warunkujące jakość. Radzików 23-25 lutego, IHAR Jadwisin: 9-12
79. ŚWINIARSKI E., JACNIACKA J., 1979. *Zawartość glikoalkaloidów w liściach i bulwach ziemniak.* Biul. Inst. Ziemniaka 24: 27-34

80. TAKAGI K., TOYODA M., FUJIYAMA Y., SAITO Y., 1990. *Effect of cooking on contents of alpha-chaconine and alpha-solanine in potatoes.* Journal of the Food Hygienic Society of Japan. Shokuhin Eiseigaku Zasshi 31, 1: 67-73
81. ULMAN L., 1979. Własności biologiczne glikoalkaloidów ziemniaka. Biuletyn Instytutu Ziemniaka, Nr 24: 35-47
82. VERBIST J.F., MONNET R., 1979. *The solanine content of small new tuber of potato (Solanum tuberosum L.).* Potato Research 22: 239-244
83. WOJDYŁA T., 1997. *Smakowitość bulw ziemniaka w zależności od zastosowanych fungicydów i nawożenia azotem.* Fragmenta Agronomica. R.14: 4-17
84. WÜNSCH A., MUNZERT M., 1994. *Effect of storage and cultivar on the distribution of glycoalkaloids in potato tubers.* Einfluss von Lagerung und Sorte auf die Verteilung der Glykoalkaloide in der Kartoffelknolle. Potato Research 37: 3-10
85. YENCHO G.C., KOWALSKI S.P., KOBAYASHI R.S., SINDEN S.L., BONIERBALE M.W., DEAHL K.L., 1998. *QTL mapping of foliar glycoalkaloid aglycones in Solanum tuberosum S. berthaultii potato progenies: quantitative variation and plant secondary metabolism.* Theor Appl Genet 97: 563-574
86. ZHANG LI QUAN, PORTER G. A., BUSHWAY R. J., ZHANG L. Q., 1997. *Ascorbic acid and glycoalkaloid content of Atlantic and Superior potato tubers as affected by supplemental irrigation and soil amendments.* American Potato Journal 74: 285-304
87. ZRUST J., 1997. *The glycoalkaloid content in potato tubers (Solanum tuberosum L.) as affected by cultivation technology and mechanical damage.* Rostlinna Vyroba, 43: 509-515

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1

Współczynniki zmienności zawartości glikoalkaloidów w liściach ziemniaków w porównaniu lat badań, doświadczenie I

Kombinacje	Współczynnik zmienności V [%]		
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu	średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	33,8	35,0	34,4
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	22,5	33,6	28,1
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	31,8	48,8	40,3
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	33,5	60,2	46,9
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	41,4	67,7	54,6
Średnio:	32,3	52,6	42,4
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	25,5	29,5	27,5
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	43,0	35,0	39,0
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	31,7	36,7	34,2
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	27,1	50,3	38,7
Średnio:	31,8	37,9	34,9
Średnio z obiektów 2-9	32,1	45,2	38,7

Załącznik 2

Współczynniki zmienności zawartości glikoalkaloidów w liściach ziemniaków w porównaniu lat badań, doświadczenie II

Kombinacje	Współczynnik zmienności V [%]		
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu	średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	33,8	35,0	34,4
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	36,9	43,6	40,3
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	52,4	53,6	53,0
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	49,7	61,5	55,6
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	54,5	61,0	57,7
Średnio:	48,4	54,9	51,7
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	41,0	53,7	47,3
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	47,9	49,3	48,6
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	51,4	46,1	48,8
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	51,4	48,4	49,9
Średnio:	47,9	49,4	48,7
Średnio z obiektów 2-9	48,2	52,2	50,2

Załącznik 3

Współczynniki zmienności zawartości glikoalkaloidów w liściach ziemniaków w porównaniu lat badań, doświadczenie III

Kombinacje	Współczynnik zmienności V [%]		
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu	średnio
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	42,4	87,3	64,9
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	32,7	71,6	52,2
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	30,1	58,5	44,3
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	29,7	59,5	44,6
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	37,7	50,9	44,3
Średnio:	34,5	65,6	50,1

Załącznik 4

Współczynniki zmienności zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w porównaniu lat badań, doświadczenie I

Kombinacje	Współczynnik zmienności V [%]			
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu	w czasie zbioru	średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	39,0	76,5	55,1	56,9
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	18,7	69,9	55,4	48,0
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	19,2	69,3	66,4	51,6
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	11,3	69,3	61,2	47,3
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	21,3	92,9	62,7	59,0
Średnio:	17,6	75,4	61,4	51,5
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	23,6	83,8	62,7	56,7
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	18,1	67,0	64,9	50,0
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	27,4	75,3	69,7	57,5
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	32,5	93,4	17,0	47,6
Średnio:	25,4	79,9	53,6	52,9
Średnio z obiektów 2-9	21,5	77,6	57,5	52,2

Załącznik 5

Współczynniki zmienności zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w porównaniu lat badań, doświadczenie II

Kombinacje	Współczynnik zmienności V [%]			
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu	w czasie zbioru	średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	39,0	76,5	55,1	56,9
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	30,6	74,0	62,9	55,8
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	26,0	86,6	62,1	58,2
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	24,1	103,3	59,0	62,1
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	30,1	99,4	56,6	62,0
Średnio:	27,7	90,8	60,1	59,6
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	10,8	79,5	75,7	55,3
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	7,0	99,3	63,8	56,7
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	14,5	94,8	40,2	49,9
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	12,0	95,8	55,8	54,5
Średnio:	11,1	92,4	58,9	54,1
Średnio z obiektów 2-9	19,4	91,6	59,5	56,8

Załącznik 6

Współczynniki zmienności zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w porównaniu lat badań, doświadczenie III

Kombinacje	Współczynnik zmienności V [%]			
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu	w czasie zbioru	średnio
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	34,1	73,5	62,6	56,7
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	28,4	68,5	63,6	53,5
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	25,5	77,5	56,6	53,2
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	28,0	79,1	61,0	56,0
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	24,8	65,7	63,5	51,3
Średnio:	28,1	72,9	61,5	54,2

Załącznik 7

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy nawożeniem, a zawartością glikoalkaloidów w zależności od technologii nawożenia azotem

NAWOŻENIE	Zawartość glikoalkaloidów					
	w liściach na początku kwitnienia	w liściach po przekwitnięciu	w bulwach na początku kwitnienia	w bulwach po przekwitnięciu	w bulwach po zbiorze	w bulwach po przechowywaniu
Nawożenie NPK – N pogłówny stosowany doglebowo	0,93*	0,94*	0,89*	0,91*	0,95**	0,83
Nawożenie NPK – N pogłówny stosowany dolistnie	0,95**	0,62	0,44	0,97**	0,54	0,87*
Nawożenie NPK + 40 kg Mg/ha przed sadzeniem doglebowo	0,91*	0,99**	0,96**	0,97**	0,59	0,95**
Nawożenie NPK + 20 kg Mg/ha dolistnie	0,95**	0,92*	0,95**	0,94*	0,11	0,98**
Wzrastające nawożenie K przy stałym NP	-0,99**	-0,97**	-0,99**	-0,98**	-0,54	0,03

*- istotny przy p = 0,05, ** - istotny przy p = 0,01

Załącznik 8

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK na plon bulw ziemniaka, w t z 1ha

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	20,81	32,32	12,75	21,96
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	22,92	35,12	18,98	25,67
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	25,12	38,31	23,80	29,08
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	25,41	40,34	25,20	30,32
5 $N_{160}P_{160}K_{240}$	25,55	40,54	26,20	30,76
Średnio:	24,75	38,58	23,55	28,96
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	22,77	35,75	19,50	26,01
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	24,25	39,83	24,25	29,44
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	23,91	40,65	25,63	30,06
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	23,90	40,88	26,53	30,44
Średnio:	23,71	39,28	23,98	28,99
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK	2,48	2,02	1,15	2,46
współdziałania	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.

Załącznik 9

Porównanie technologii nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na plon bulw ziemniaka, w t z 1ha

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	20,81	32,32	12,75	21,96
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	25,71	36,11	20,73	27,52
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	26,66	38,31	24,85	29,94
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	26,19	40,62	26,67	31,16
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	27,49	40,68	26,80	31,66
Średnio:	26,51	38,93	24,76	30,07
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	22,88	36,51	21,63	27,01
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	25,68	38,11	25,77	29,85
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	25,27	40,48	27,07	30,94
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	26,17	40,89	26,93	31,33
Średnio:	25,00	39,00	25,35	29,78
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK	1,96	1,66	1,49	2,41
współdziałania	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.

Załącznik 10

Działanie nawożenia potasem na wielkość plonu bulw ziemniaka, w t z 1ha

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	23,65	34,31	20,95	26,30
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	25,07	35,77	22,45	27,76
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	25,77	36,22	23,78	28,59
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	25,37	37,52	23,65	28,85
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	24,47	37,63	24,07	28,72
Średnio:	24,87	36,29	22,98	28,04
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	n.ist.	n.ist.	1,56	1,23

Załącznik 11

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK
na zawartość skrobi w bulwach ziemniaka, w %

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	14,20	14,60	11,81	13,54
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	15,00	14,50	11,38	13,63
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	14,00	14,30	11,88	13,39
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	13,95	14,40	11,75	13,37
5 $N_{160}P_{160}K_{240}$	13,48	13,20	11,33	12,67
Średnio:	14,11	14,10	11,59	13,27
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	13,75	15,30	11,68	13,58
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	12,85	14,10	11,55	12,83
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	13,83	14,10	11,83	13,25
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	12,23	13,20	10,78	12,07
Średnio:	13,17	14,18	11,46	12,93
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK	n.ist.	0,89	n.ist.	0,45
współdziałania	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.

Załącznik 12

Porównanie technologii nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK
na zawartość skrobi w bulwach ziemniaka, w %

Obiekty	1995	1996	1997	średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	14,20	14,60	11,81	13,54
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	14,80	15,80	11,93	14,18
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	13,60	14,10	12,53	13,41
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	14,03	14,60	11,25	13,29
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	14,25	13,60	11,03	12,96
Średnio:	14,17	14,53	11,69	13,46
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	13,63	14,30	12,98	13,64
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	13,03	14,60	12,85	13,49
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	13,73	13,80	13,32	13,62
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	13,43	13,70	12,40	13,18
Średnio:	13,46	14,10	12,89	13,48
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem	0,55	n.ist.	n.ist.	n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK	n.ist.	0,72	n.ist.	0,66
współdziałania	n.ist.	n.ist.	n.ist.	n.ist.

Załącznik 13

Działanie nawożenia potasem na zawartość skrobi w bulwach ziemniaka

Obiekty	1995	1996	1997	średnio
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	14,70	16,00	12,15	14,28
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	15,05	14,10	12,80	13,98
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	14,15	13,70	12,68	13,51
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	13,65	13,60	11,45	12,90
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	12,38	12,40	12,85	12,54
Średnio:	13,99	13,96	12,39	13,44
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem	n.ist.	1,63	n.ist.	n.ist.

Załącznik 14

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK
na zawartość azotu ogółem w bulwach ziemniaka, w % s.m.

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	1,58	1,23	1,28	1,36
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	1,62	1,11	1,36	1,36
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	1,67	1,20	1,33	1,40
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	1,71	1,32	1,47	1,50
5 $N_{160}P_{160}K_{240}$	1,92	1,44	1,45	1,60
Średnio:	1,73	1,27	1,40	1,47
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	1,61	1,23	1,25	1,36
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	1,67	1,32	1,29	1,43
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	1,88	1,53	1,54	1,65
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	1,92	1,60	1,51	1,68
Średnio:	1,77	1,42	1,40	1,53
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem				n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK				0,06
współdziałania				n.ist.

Załącznik 15

Porównanie technologii nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK
na zawartość azotu ogółem w bulwach ziemniaka, w % s.m.

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	1,58	1,23	1,28	1,36
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	1,60	1,64	1,22	1,49
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	1,65	1,26	1,28	1,40
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	1,81	1,34	1,47	1,54
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	1,95	1,57	1,48	1,67
Średnio:	1,75	1,45	1,36	1,53
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	1,30	1,18	1,30	1,26
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	1,78	1,25	1,34	1,46
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	1,74	1,48	1,48	1,57
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	1,70	1,60	1,38	1,56
Średnio:	1,63	1,38	1,38	1,46
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem				n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK				0,14
współdziałania				n.ist.

Załącznik 16

Działanie nawożenia potasem na zawartość azotu ogółem w bulwach ziemniaka, w % s.m.

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	1,53	1,23	1,29	1,35
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	1,58	1,32	1,34	1,41
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	1,58	1,48	1,25	1,44
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	1,64	1,39	1,33	1,45
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	1,74	1,37	1,27	1,46
Średnio:	1,61	1,36	1,30	1,42
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem				n.ist.

Załącznik 17

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość witaminy C w plonie końcowym bulw ziemniaka, w mg% św.m.

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	17,10	15,80	14,60	15,80
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	16,30	14,90	14,60	15,30
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	16,10	13,30	14,20	14,50
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	16,10	13,80	13,40	14,40
5 $N_{160}P_{160}K_{240}$	15,30	12,60	13,10	13,70
Średnio:	15,95	13,65	13,83	14,48
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	17,60	16,70	13,70	16,00
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	15,50	16,00	13,00	14,80
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	16,10	15,30	12,80	14,70
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	14,80	12,90	13,00	13,60
Średnio:	16,00	15,23	13,13	14,78
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia azotem				n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK				0,76
współdziałania				n.ist

Załącznik 18

Porównanie technologii nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość witaminy C w plonie końcowym bulw ziemniaka, w mg% św.m.

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. Kontrola (bez nawożenia)	17,10	15,80	14,60	15,80
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	16,90	14,70	14,60	15,40
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	16,60	14,00	13,80	14,80
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	15,20	14,00	11,80	13,70
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	13,80	13,80	11,80	13,10
Średnio:	15,63	14,13	13,00	14,25
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	16,90	14,20	13,90	15,00
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	14,90	14,20	14,10	14,40
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	14,70	12,60	13,40	13,60
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	14,10	12,80	12,50	13,10
Średnio:	15,15	13,45	13,48	14,03
NIR (p = 0,05) dla:				
technologii nawożenia magnezem				n.ist.
wzrastającego nawożenia NPK				0,72
współdziałania				n.ist.

Załącznik 19

Działanie nawożenia potasem na zawartość witaminy C w plonie końcowym bulw ziemniaka, w mg% św.m.

Obiekty	1995	1996	1997	Średnio
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	15,20	16,40	11,80	14,50
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	16,30	15,80	15,80	16,00
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	16,00	15,40	15,30	15,60
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	15,80	15,20	15,70	15,60
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	15,00	13,80	16,40	15,10
Średnio:	15,66	15,32	15,00	15,36
NIR (p = 0,05) dla:				
wzrastającego nawożenia potasem				n.ist.

Załącznik 20

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość aminokwasów egzogennych w bulwach ziemniaka, w g/16 g N-ogółem (za 1995 r.)

Obiekty	Arg	Phe	His	Ile	Leu	Lys	Met	Thr	Val	Suma
1. Kontrola (bez nawożenia)	3,12	3,75	1,57	3,43	5,84	4,91	1,24	3,15	4,34	31,35
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	3,44	3,71	1,60	3,59	6,02	4,75	1,35	3,24	4,31	32,01
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	3,29	3,67	1,56	3,33	5,73	4,73	1,20	3,02	4,20	30,73
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	3,36	3,65	1,50	3,29	5,83	4,58	1,20	3,02	4,30	30,73
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	3,30	3,70	1,61	3,30	5,45	4,59	1,06	3,03	4,50	30,54
Średnio:	3,35	3,68	1,57	3,38	5,76	4,66	1,20	3,08	4,33	31,00
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	3,54	3,73	1,43	3,31	5,55	4,74	1,14	3,16	4,40	31,00
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	3,28	3,66	1,42	3,23	5,36	4,77	1,02	3,08	4,32	30,14
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	3,52	3,62	1,49	3,24	5,30	4,70	1,06	3,01	4,26	30,20
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	3,51	3,57	1,42	3,17	5,30	4,66	0,82	3,06	4,15	29,66
Średnio:	3,46	3,65	1,44	3,24	5,38	4,72	1,01	3,08	4,28	30,25

Arg – arginina
Phe – fenyloalanina
His – histydyna
Ile – izoleucyna
Leu – leucyna
Lys – lizyna
Met – metionina
Thr – treonina
Val – walina

Załącznik 21

Porównanie technologii nawożenia azotem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość aminokwasów endogennych w bulwach ziemniaka, w g/16 g N-ogółem (za 1995 r.)

Obiekty	Ala	Asp	Cys-Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr	Suma
1. Kontrola (bez nawożenia)	3,84	11,32	0,76	14,06	3,17	3,39	3,46	3,08	43,08
2. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie doglebowo	3,81	13,00	0,79	13,58	3,21	3,89	3,55	3,16	44,99
3. $N_{80}P_{80}K_{120}$	3,65	12,87	0,70	13,60	3,19	4,19	3,32	3,10	44,62
4. $N_{120}P_{120}K_{180}$	3,63	15,69	0,63	13,48	2,91	4,05	3,33	3,11	46,83
5. $N_{160}P_{160}K_{240}$	3,62	14,14	0,69	13,35	2,91	4,04	3,33	3,14	45,22
Średnio:	3,68	13,93	0,70	13,50	3,06	4,04	3,38	3,13	45,42
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$ 1/2N pogłównie dolistnie	3,73	14,61	0,71	13,33	3,06	3,55	3,47	3,23	45,69
7. $N_{80}P_{80}K_{120}$	3,73	14,49	0,64	12,86	2,97	3,76	3,38	3,22	45,05
8. $N_{120}P_{120}K_{180}$	3,77	15,16	0,64	13,92	2,85	3,84	3,30	3,25	46,73
9. $N_{160}P_{160}K_{240}$	3,56	15,33	0,65	13,54	2,86	4,35	3,35	3,19	46,83
Średnio:	3,70	14,90	0,66	13,41	2,94	3,88	3,38	3,22	46,08

Ala – alanina
Asp – kwas asparaginowy
Cys-Cys – cystyna i cysteina
Glu – kwas glutaminowy
Gly – glicyna
Pro – prolina
Ser – seryna
Tyr – tyrozyna

Załącznik 22

Porównanie technologii nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość aminokwasów egzogennych w bulwach ziemniaka, w g/16 g N-ogółem (za 1995 r.)

Obiekty	Arg	Phe	His	Ile	Leu	Lys	Met	Thr	Val	Suma
1. Kontrola (bez nawożenia)	3,12	3,75	1,57	3,43	5,84	4,91	1,24	3,15	4,34	31,35
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	3,17	3,77	1,53	3,66	5,70	4,78	1,32	3,13	4,61	31,67
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	3,26	3,74	1,56	3,32	5,48	4,71	1,26	3,07	4,51	30,91
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	3,37	3,67	1,57	3,33	5,47	4,70	1,18	2,98	4,67	30,94
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	3,31	3,69	1,53	3,28	5,48	4,71	1,17	2,86	4,30	30,33
Średnio:	3,28	3,72	1,55	3,40	5,53	4,73	1,23	3,01	4,52	30,96
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	3,26	3,68	1,49	3,24	5,58	4,61	1,02	3,13	4,22	30,23
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	3,39	3,72	1,50	3,31	5,48	4,61	1,15	3,10	4,40	30,66
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	3,41	3,77	1,54	3,27	5,60	4,79	1,10	3,10	4,27	30,85
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	3,38	3,66	1,47	3,28	5,38	4,70	1,01	3,03	4,38	30,29
Średnio:	3,36	3,71	1,50	3,28	5,51	4,68	1,07	3,09	4,32	30,51

Arg – arginina
Ile – izoleucyna
Met – metionina
Phe – fenyloalanina
Leu – leucyna
Thr – treonina
His – histydyna
Lys – lizyna
Val – walina

Załącznik 23

Porównanie technologii nawożenia magnezem przy wzrastających dawkach NPK na zawartość aminokwasów endogennych w bulwach ziemniaka, w g/16 g N-ogółem (za 1995 r.)

Obiekty	Ala	Asp	Cys-Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr	Suma
1. Kontrola (bez nawożenia)	3,84	11,32	0,76	14,06	3,17	3,39	3,46	3,08	43,08
2. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{40}$ przed sadzeniem doglebowo	3,89	12,36	0,72	13,50	3,13	3,11	3,44	3,14	43,29
3. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{40}$	3,71	12,26	0,75	13,47	3,03	5,04	3,36	3,11	44,73
4. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{40}$	3,90	12,50	0,70	13,57	3,05	5,09	3,27	3,09	45,17
5. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{40}$	4,09	11,30	0,66	13,78	3,04	5,13	3,14	3,21	44,35
Średnio:	3,90	12,11	0,71	13,58	3,06	4,59	3,30	3,14	44,39
6. $N_{40}P_{40}K_{60}+Mg_{20}$ pogłównie dolistnie	3,84	13,11	0,69	13,70	3,02	4,20	3,43	3,17	45,16
7. $N_{80}P_{80}K_{120}+Mg_{20}$	3,74	13,62	0,74	13,36	3,02	5,00	3,39	3,19	46,06
8. $N_{120}P_{120}K_{180}+Mg_{20}$	3,67	14,48	0,71	12,70	3,00	5,05	3,40	3,20	46,21
9. $N_{160}P_{160}K_{240}+Mg_{20}$	3,64	14,15	0,66	12,47	2,94	5,28	3,34	3,19	45,67
Średnio:	3,72	13,84	0,70	13,06	3,00	4,88	3,39	3,19	45,78

Ala – alanina
Asp – kwas asparaginowy
Cys-Cys – cystyna i cysteina
Glu – kwas glutaminowy
Gly – glicyna
Pro – prolina
Ser – seryna
Tyr – tyrozyna

Załącznik 24

Działanie nawożenia potasem na zawartość aminokwasów egzogennych w bulwach ziemniaka, w g/16 g N-ogółem (za 1995 r.)

Obiekty	Arg	Phe	His	Ile	Leu	Lys	Met	Thr	Val	Suma
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	3,62	3,72	1,44	3,31	5,48	4,88	1,26	3,18	4,52	31,41
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	3,40	3,73	1,46	3,27	5,40	4,73	1,21	3,10	4,42	30,72
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	3,38	3,84	1,41	3,38	5,68	4,80	1,18	3,22	4,48	31,37
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	3,40	3,78	1,47	3,37	5,65	4,84	1,17	3,17	4,46	31,31
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	3,67	3,77	1,68	3,34	5,83	4,81	1,19	3,30	4,29	31,88
Średnio:	3,49	3,77	1,49	3,33	5,61	4,81	1,20	3,19	4,43	31,34

Arg – arginina
Phe – fenyloalanina
His – histydyna
Ile – izoleucyna
Leu – leucyna
Lys – lizyna
Met – metionina
Thr – treonina
Val – walina

Załącznik 25

Działanie nawożenia potasem na zawartość aminokwasów endogennych w bulwach ziemniaka, w g/16 g N-ogółem (za 1995 r.)

Obiekty	Ala	Asp	Cys-Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr	Suma
1. $N_{80}P_{80}K_{0}$	3,63	14,89	0,67	13,20	3,01	3,37	3,42	3,23	45,42
2. $N_{80}P_{80}K_{80}$	3,51	15,27	0,68	12,32	2,90	3,60	3,39	3,12	44,79
3. $N_{80}P_{80}K_{160}$	3,65	14,82	0,70	12,14	3,09	3,58	3,50	3,24	44,72
4. $N_{80}P_{80}K_{240}$	3,69	14,77	0,68	12,95	3,05	3,72	3,49	3,28	45,63
5. $N_{80}P_{80}K_{320}$	3,77	13,36	0,71	13,28	3,17	3,57	3,60	3,35	44,81
Średnio:	3,65	14,62	0,69	12,78	3,04	3,57	3,48	3,24	45,07

Ala – alanina
Asp – kwas asparaginowy
Cys-Cys – cystyna i cysteina
Glu – kwas glutaminowy
Gly – glicyna
Pro – prolina
Ser – seryna
Tyr – tyrozyna

Załącznik 26

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością solaniny w bulwach i w liściach w poszczególnych terminach pobrania prób.

Zawartość solaniny w liściach	Zawartość solaniny w bulwach	
	na początku kwitnienia	po przekwitnięciu
Doświadczenie I	-0,226	0,896**
Doświadczenie II	0,254	0,946**
Doświadczenie III	0,083	0,919**

*- istotny przy p = 0,05, ** - istotny przy p = 0,01