

ZDZISŁAW CIEĆKO¹**KONRAD GRZEGORZEWSKI**²**ANDRZEJ ŻOŁNOWSKI**¹**TOMASZ NAJMOWICZ**¹¹ Katedra Chemii Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie² Gospodarstwo Rolne Agrofarm w Jurkowicach k. Malborka

Oddziaływanie nawożenia mineralnego na plonowanie i zawartość cukru w korzeniach oraz zawartość chlorofilu w liściach buraka cukrowego

The influence of mineral fertilization on yielding, sugar content in roots and chlorophyll content in leaves of sugar beet

Przedmiotem badań było określenie wpływu nawożenia mineralnego NPK, Mg i mikroelementami na plonowanie i zawartość sacharozy w korzeniach buraka cukrowego odmiany Khazar. Jednocześnie określono zawartość chlorofilu w liściach buraka. W doświadczeniu uwzględniono trzy poziomy nawożenia NPK. Dodatkowo na tle najwyższej dawki NPK zastosowano magnez oraz mikroelementy (B, Cu, Zn, Mn). Testowana odmiana dodatnio reagowała na zastosowane nawożenie istotnym wzrostem koncentracji chlorofilu B oraz sumy chlorofilu A+B w liściach. W odniesieniu do plonu pozytywną reakcję stwierdzono pod wpływem zastosowanych nawozów NPK. Wnoszone na tle wysokiego nawożenia NPK mikroelementy nie miały większego wpływu na plon korzeni, jak i na zawartość sacharozy.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, chlorofil, mikroelementy, Mg, NPK, plon, sacharoza

The aim of the investigation was evaluation of the influence of mineral NPK, Mg and micronutrients fertilization on chlorophyll concentration in leaves, root yield and saccharose content in the sugar beet variety Khazar. Three levels of NPK were compared in a field trial. Additionally, Mg and micronutrients (B, Cu, Zn, Mn) were applied together with the highest NPK dose. The elevated doses of fertilization increased root yield and content of chlorophyll B as well as the summed concentration of chlorophylls A and B in leaves. The use of micronutrients exerted no significant effect either on root yield or on saccharose content.

Key words: chlorophyll, Mg, micronutrients, NPK, saccharose, sugar beet, yield

WSTĘP

Burak cukrowy (*Beta vulgaris* L.) jest rośliną o bardzo dużych wymaganiach pokarmowych i stosunkowo wysokim potencjale produkcyjnym. Jego wysokie plonowanie wiąże się ze stosowaniem zarówno nawozów mineralnych, jak i organicznych. Obornik jest tym nawozem, który w zasadniczej części pokrywa potrzeby roślin w odniesieniu do mikroelementów. Dostępność tych składników z gleby może być jednak ograniczona nawet w warunkach optymalnej jej zasobności np. w wyniku niewłaściwego odczynu, antagonizmu jonów, czy też niesprzyjającej pogody (Czuba, 1993). W takim układzie, celem uzyskania optymalnych efektów produkcyjnych, uzasadnionym wydaje się stosowanie uzupełniających dawek mikroskładników. Wśród mikroskładników wymienianych jako najważniejsze w uprawie buraka cukrowego są: bor, cynk, miedź i mangan. Bor jest składnikiem wpływającym na procesy podziału i formowania się ścian komórkowych intensywnie rosnących części roślin. Jego niedobór ogranicza pobieranie wapnia, co w konsekwencji przyczynia się do zamierania liści sercowych (Kabata-Pendias i Pendias, 1993). Cynk odpowiedzialny jest za metabolizm węglowodanów, białek i związków fosforowych. Wpływa w ten sposób na przepuszczalność błon komórkowych, proporcje składników na poziomie komórki a także zwiększa odporność roślin na suszę. Miedź pełni bardzo wiele istotnych funkcji w roślinie: bierze udział w procesach fotosyntezy, oddychania, transporcie, reguluje procesy powstawania DNA i RNA. Mangan jest składnikiem odpowiedzialnym za transport elektronów w procesach metabolicznych, bierze udział w przemianach ATP, co jest niezbędne w procesie asymilacji CO₂. Jest składnikiem odpowiedzialnym za budowę wewnętrzną błon chloroplastów (Weiland i in., 1975) Niedobór manganu powoduje znaczne obniżenie ilości chlorofilu i karotenoidów w liściach, co jest silnie dodatnio skorelowane z obniżeniem aktywności fotosyntezy (Henriques, 2003).

Z powyższego wynika, że właściwie dobrane nawożenie mineralne zarówno makro- jak i mikropierwiastkami zapewnia odpowiednie warunki do syntezy chlorofilu i zwiększenia produktywności roślin (Mazur i Rogalski, 1977).

W latach 2002–2003 podjęto badania, które miały na celu ustalenie zależności pomiędzy nawożeniem NPK i Mg w połączeniu z wybranymi mikroelementami, a zawartością chlorofilu w liściach buraka cukrowego oraz wielkością plonu korzeni i zawartością w nich sacharozy.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe, ściśle przeprowadzono w latach 2002 i 2003 na polu Gospodarstwa Rolnego Agrofarm w Jurkowicach koło Malborka. Gleba odpowiadała klasie IIIB. Zawartość form przyswajalnych podstawowych składników pokarmowych wynosiła 0,39g P₂O₅ i 0,49g K₂O·kg⁻¹ gleby. Zawartość magnezu przyswajalnego wynosiła 0,121g Mg·kg⁻¹ gleby. Odczyn gleby (pH) mierzony w H₂O wynosił 6,13, a w KCl 5,33. Doświadczenie założono metodą losowanych podbloków w czterech powtórzeniach.

Analizowanym czynnikiem doświadczenia było nawożenie mineralne, które obejmowało następujące obiekty:

- bez nawożenia,
- 1NPK ($N_{40}P_{32}K_{48}$ kg·ha⁻¹),
- 2NPK,
- 3NPK,
- 3NPK+Mg,
- 3NPK+Mg+B,
- 3NPK+Mg+B+Cu,
- 3NPK+Mg+B+Cu+Zn,
- 3NPK+Mg+B+Cu+Zn+Mn.

Zastosowany w doświadczeniu magnez wniesiono do gleby w formie siarczanu magnezowego w dawce 32 kg MgO·ha⁻¹, a mikroelementy w następujących dawkach: bor w formie boraksu — 2 kg B·ha⁻¹; Cu — w postaci siarczanu miedzi w ilości 12,5 kg Cu·ha⁻¹; Zn — w siarczanie cynku w ilości odpowiadającej 1,0 kg Zn·ha⁻¹ oraz Mn w formie siarczanu manganu w dawce 10,0 kg Mn·ha⁻¹.

Buraki uprawiano po pszenicy ozimej na oborniku, który stosowano jesienią w dawce 25 t·ha⁻¹. W uprawie przyjęto rozstaw rzędów 45 cm × 17 cm. Teoretyczna obsada roślin wynosiła 130 tys. sztuk·ha⁻¹. Wiosną przed siewem buraka zastosowano nawozy mineralne: superfosfat potrójny 46%, sól potasową 40% oraz ½ dawki azotu w formie mocznika 46%. Pozostałą część azotu stosowano w formie saletry amonowej 34% pogłównie, zgodnie ze schematem doświadczenia. Powierzchnia poletka brutto wynosiła 28 m², a do zbioru 21,6 m². Podczas wegetacji w połowie lipca (na początku formowania się korzenia spichrzowego), pobrano średnie próby liści w celu określenia zawartości chlorofilu, którą oznaczono kolorymetrycznie po ekstrakcji chlorofilu z tkanki liści 80% roztworem acetonu (Kaspenbaur i Hiatt, 1966).

Podczas zbioru buraków określono plon korzeni i liści z każdego poletka i jednocześnie pobrano średnie próby obu tych organów celem przeanalizowania ich składu chemicznego. W niniejszej pracy podano jedynie zawartość sacharozy, którą oznaczono polarymetrycznie wobec chemicznie czystej sacharozy jako wzorca.

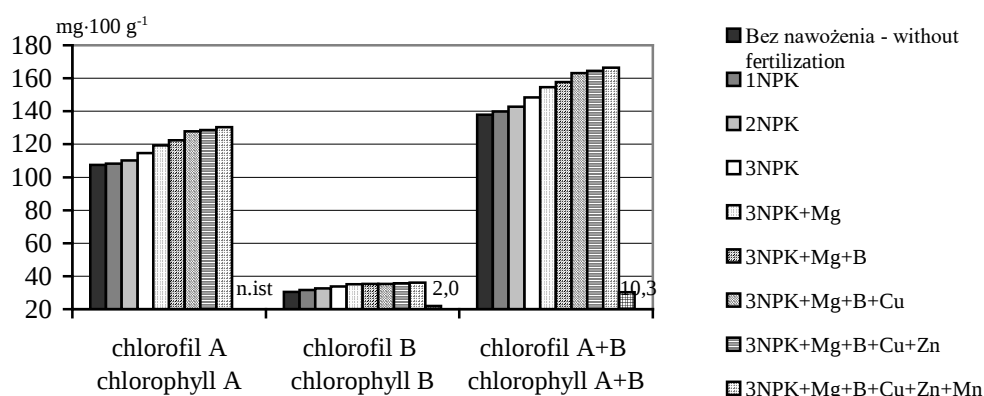
Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie z użyciem testu istotności T-Duncana.

WYNIKI I DYSKUSJA

Czynnikiem, w dużej mierze warunkującym wielkość plonu jest zawartość chlorofilu w liściach — substancji, dzięki której roślina przy współudziale energii słonecznej może produkować asymilaty (Mazur i Rogalski, 1977). Spośród składników nawozowych azot i magnez są w głównej mierze odpowiedzialne za zwiększanie zawartości chlorofilu w częściach asymilacyjnych uprawianych roślin (Karczmarczyk i in., 1993). Zawartość chlorofilu zwiększa się już po 36 godzinach od zastosowania azotu, szczególnie u roślin młodych, szybko rosnących (Potyra, 1972; Panak i Wojnowska, 1977). Z tego względu coraz częstszą metodą określania stopnia zaopatrzenia roślin w azot, jak i częściowo

w potas jest oznaczanie zieloności liści tzw. greenness index. W tym celu wykorzystuje się niewielkie urządzenia — chlorofilometry, które mierzą intensywność zielonego zabarwienia liści wyrażaną zazwyczaj w niemianowanych jednostkach np. SPAD-units. Zielona barwa jest ściśle dodatnio skorelowana z zawartością azotu w glebie i tym samym może świadczyć o stopniu zaopatrzenia roślin w ten składnik. Dla celów diagnostycznych często oznacza się sumę chlorofilu A i B, która może być wykorzystywana w określaniu dawek nawozów. Dodatni wpływ nawozów mineralnych (NPK, Ca i Mg) na zwiększoną syntezę chlorofilu w swoich badaniach wykazali Mazur i Rogalski (1977), Seidler i Mamzer (1994), a także Ma i Dwyer (1999).

W prezentowanym doświadczeniu zastosowane nawożenie mineralne wywierało wyraźny wpływ na zawartość chlorofilu w liściach uprawianej odmiany buraka cukrowego (rys. 1). Średnia zawartość chlorofilu A wynosiła 118,8 a chlorofilu B 34,0 $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ blaszki liściowej. Na tle wzrastających dawek NPK zaznaczyła się tendencja do wzrostu zawartości chlorofilu A. Średnia jego zawartość w obiekcie kontrolnym wynosiła 107,5 mg stwierdzono liniowy, lecz nieudowodniony statystycznie, wzrost ilości chlorofilu A, średnio ze 107,5 mg , a przy najwyższej dawce NPK 114,7 $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ liści. W odniesieniu do chlorofilu B stwierdzono istotny statystycznie wzrost, odpowiednio z 30,5 do 33,7 $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ blaszki liściowej. Zastosowane wzrastające nawożenie NPK również w istotny sposób modyfikowało sumę chlorofilu A i B powodując jej wzrost ze 138,0 $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ w obiekcie nienawożonym do 148,4 mg w obiekcie $\text{N}_{120}\text{P}_{96}\text{K}_{144}$.



Rys. 1. Wpływ nawożenia NPK, Mg i mikroelementami na zawartość chlorofilu w liściach buraka cukrowego

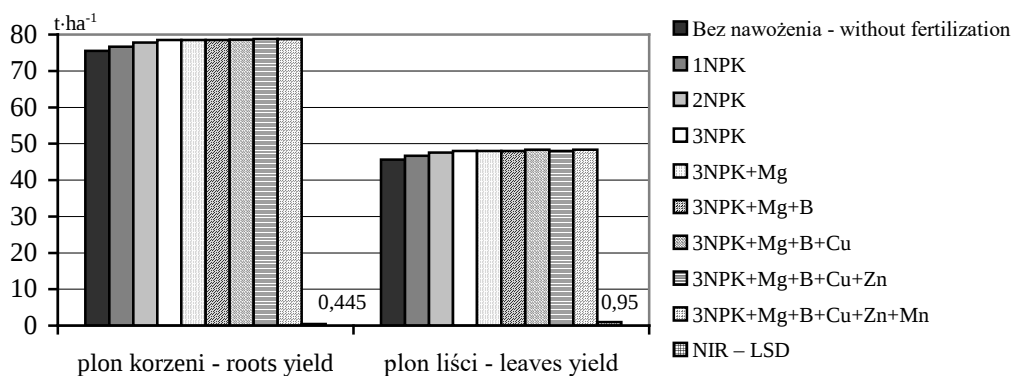
Fig. 1. Influence of NPK, Mg and micronutrients fertilization on the chlorophyll content in leaves of sugar beet

Drugim ze składników mineralnych zwiększającym ilość chlorofilu w liściach jest magnez. Intensyfikuje on procesy fotosyntezy pełniąc w nich kluczową rolę ze względu na centralne miejsce, jakie zajmuje w układzie porfirynowym (Seidler i Mamzer, 1994). Wzrost zawartości chlorofilu w liściach pod wpływem magnezu w swoich badaniach stwierdzili Ciećko i wsp. (2000) stosując ten składnik w uprawie ziemniaka w formie

dolistnej w dawce 20 kg $\text{MgO} \cdot \text{ha}^{-1}$. Jednak po zastosowaniu dawki doglebowej 40 kg $\text{MgO} \cdot \text{ha}^{-1}$ w badaniach autorów nastąpiło obniżenie koncentracji tego barwnika.

W prezentowanych badaniach magnez zastosowany w formie doglebowej na tle wysokiego nawożenia NPK ($\text{N}_{120}\text{P}_{96}\text{K}_{144}$) spowodował wzrost koncentracji obu form chlorofilu — o 4,6 mg chlorofilu A i 1,5 mg chlorofilu B $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Pod wpływem mikroprzewodników zastosowanych z makroelementami NPK i Mg zaznaczyła się tendencja do wzrostu ilości chlorofilu w liściach badanej odmiany buraka. Łączne działanie tych pierwiastków zastosowanych szczególnie w ostatniej kombinacji ($\text{N}_{120}\text{P}_{96}\text{K}_{144} + \text{Mg} + \text{B} + \text{Cu} + \text{Zn} + \text{Mn}$) spowodowało istotny wzrost sumy chlorofilu A+B, który wyniósł 11,9 mg $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ blaszki liściowej.

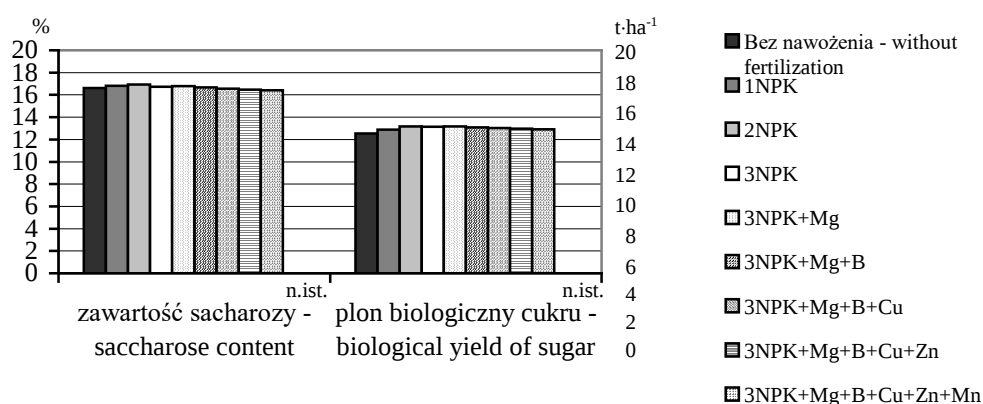
Azot jest podstawowym składnikiem decydującym o rozwoju i plonowaniu roślin. Ma on bezpośredni wpływ na nagromadzenie plonu, przy czym może w niekorzystny sposób oddziaływać na jego jakość. W przypadku buraka cukrowego jest to nadmierne gromadzenie związków melasotwórczych i obniżenie ilości sacharozy w korzeniach (Adamiak i Adamiak, 1996). Zastosowane w doświadczeniu nawożenie mineralne w istotny sposób modyfikowało plon korzeni uprawianej odmiany buraka (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ nawożenia NPK, Mg i mikroelementami na plon korzeni i liści buraka cukrowego
Fig. 2. Influence of NPK, Mg and micronutrients fertilization on the roots and leaves yield of sugar beet

Zwyżkę plonu w stosunku do obiektu kontrolnego — bez nawożenia mineralnego stwierdzono w odniesieniu do każdej z zastosowanych dawek NPK, przy czym największy jego przyrost odnotowano po zastosowaniu dawek: $\text{N}_{40}\text{P}_{32}\text{K}_{48}$ i $\text{N}_{80}\text{P}_{64}\text{K}_{96}$ — 1,15 t $\cdot \text{ha}^{-1}$. Efektywność ostatniej dawki — $\text{N}_{120}\text{P}_{96}\text{K}_{144}$ była nieco niższa co skutkowało niższym przyrostem plonu — 0,72 t $\cdot \text{ha}^{-1}$. W podobnych badaniach Ostrowska i Kucińska (1998) odnotowały wzrost plonu do dawki 94 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast wyższe dawki azotu powodowały obniżenie zarówno plonu korzeni jak i zawartości w nich sacharozy. Zastosowany w doświadczeniu magnez oraz mikroelementy nie zmieniły w zasadniczy sposób wielkości uzyskanego plonu korzeni, aczkolwiek w literaturze spotyka się doniesienia, na temat istotnej współzależności pomiędzy plonem technologicznym cukru a poziomem zawartości mikroelementów w korzeniach (Prośba-Białczyk i in., 2000). W odniesieniu do plonu liści zastosowane dawki NPK także powodowały jego liniowy

wzrost (rys. 2). Najwyższy przyrost masy nadziemnej uzyskano po zastosowaniu najwyższej dawki NPK, był on o $2,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wyższy niż na obiekcie kontrolnym gdzie kształtował się na poziomie $45,60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zastosowane nawożenie magnezem i mikroelementami na tle wysokich dawek NPK nie wpłynęło istotnie na kształtowanie się plonu liści buraka cukrowego. Odmienne wyniki badań uzyskali Chwil i Szewczuk (2003), którzy stosując w uprawie buraka wzrastające nawożenie preparatami zawierającymi mikroelementy, na tle stałego, doglebowego nawożenia NPK uzyskali wzrost plonu korzeni i liści odpowiednio o 18% i 29% w stosunku do obiektów nienawożonych pogłównie. Wzrastające nawożenie azotem do poziomu $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ według Rozbickiego i Kalinowskiej-Zdun (1993) zapewnia optymalną jakość technologiczną korzeni, a wyższe dawki negatywnie odbijają się na zawartości cukru. W prezentowanym doświadczeniu wzrastające nawożenie NPK i Mg oraz mikroelementami nie modyfikowało w istotny sposób zawartości sacharozy w korzeniach buraka cukrowego oraz biologicznego plonu cukru (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ nawożenia NPK, Mg i mikroelementami na zawartość sacharozy i plon biologiczny cukru z korzeni buraka cukrowego

Fig. 3. Influence of NPK, Mg and micronutrients fertilization on the saccharose content and biological yield of sugar from sugar beet roots

Stwierdzono jednak tendencję do wzrostu ilości cukru w korzeniach na poletkach nawożonych dawkami $\text{N}_{40}\text{P}_{32}\text{K}_{48}$ i $\text{N}_{80}\text{P}_{64}\text{K}_{96}$, kiedy to uzyskano zwyżkę plonu cukru w stosunku do kontroli średnio o $0,35$ i $0,64 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wyższa dawka NPK przyczyniała się zarówno do spadku zawartości jak i plonu cukru. Zastosowane w doświadczeniu mikroelementy w niewielkim stopniu obniżyły zarówno zawartość, jak i plon cukru w korzeniach uprawianej odmiany buraka.

WNIOSKI

1. Zastosowane nawożenie mineralne NPK oraz Mg istotnie zwiększało koncentrację chlorofilu B oraz sumy chlorofilu A+B w liściach buraka cukrowego. Reakcji tej nie stwierdzono w odniesieniu do chlorofilu A.

2. Zastosowane mikroelementy wprowadzane pojedynczo do gleby nie zmieniały w zasadniczy sposób koncentracji chlorofilu, jednak ich sumaryczne działanie istotnie podwyższało ilość tego barwnika w liściach w stosunku do obiektu nawożonego wyłącznie wysoką dawką (3NPK).
3. Zastosowane w doświadczeniu dawki NPK istotnie zwiększyły zarówno plon korzeni jak i liści buraka, przy czym najwyższą efektywność w odniesieniu do plonu korzeni uzyskano po zastosowaniu dawek: $N_{40}P_{32}K_{48}$ i $N_{80}P_{64}K_{96}$.
4. Pod wpływem nawożenia magnezem i mikroelementami stosowanymi na tle wysokiego nawożenia NPK zaznaczyła się tendencja do spadku zawartości sacharozy w korzeniach buraka i tym samym do obniżenia biologicznego plonu cukru.

LITERATURA

- Adamiak J., Adamiak E. 1996. Wpływ różnych form nawożenia organicznego na wysokość i jakość plonu buraka cukrowego. Zesz. Nauk. AR Szczecin. Rol. 62: 3 — 8.
- Chwil S., Szewczuk C. 2003. Wpływ dolistnego dokarmiania buraka cukrowego na jego plon i niektóre cechy jakościowe. Acta Agrophysica 85: 117 — 124.
- Ciećko Z., Wyszowski M., Żołnowski A., Zabielska J. 2000. Wpływ nawożenia NPK, Mg i K na zawartość chlorofilu w liściach ziemniaka. Biul. IHAR 213: 131 — 136.
- Czuba R. 1993. Regeneracyjne nawożenie gleby silnie wyczerpanej ze składników pokarmowych. Roczn. Gleb., XLIV, 1: 57 — 64.
- Henriques F. S. 2003. Gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence kinetics and lipid peroxidation of pecan leaves with varying manganese concentrations. Plant Science 165: 239 — 244.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa pp. 364.
- Karczmarczyk S., Koszański Z., Podsiadło C. 1993. Przebieg niektórych procesów fizjologicznych oraz plonowanie pszenicy ozimej i pszenżyta pod wpływem deszczowania i nawożenia azotem. Cz. 1. Zawartość chlorofilu i karotenoidów w niektórych organach pszenicy ozimej i pszenżyta. Acta Agrobot. 46: 15 — 30.
- Kaspenbaur M. J., Hiatt A. J. 1966. Photoreversible control of leaf shape and chlorophyll content in *Nicotiana Tabaccum*. Tob. Sci. 10: 29 — 32.
- Ma B. L., Dwyer L. M. 1999. Within plot variability in available soil mineral nitrogen in relation to leave greenness and yield. Communications in Soil Sciences and Plant Analysis. 30, 13–14: 1919 — 1928.
- Mazur T., Rogalski L. 1977. Wpływ nawożenia mineralnego na cechy morfologiczne łodyg i zawartość barwników w liściach ziemniaków. Acta Agrobot. XXX, 1: 71 — 83.
- Ostrowska D., Kucińska K. 1998. Wpływ wzrastającego nawożenia azotem oraz różnych form nawozów organicznych na plon i jakość buraka cukrowego. Roczniki AR Poznań. 52, 1: 274 — 278.
- Panak H., Wojnowska T. 1977. Wpływ intensywnego nawożenia mineralnego pastwiska na zawartość barwników oraz magnezu i wapnia w kupkówce pospolitej. Zesz. Nauk. ART Olszt., Rol. 22: 41 — 51.
- Potyra K. 1972. Próby oceny wpływu nawożenia na zawartość karotenu i chlorofilu w trawach. Roczn. Nauk Rol. B, 94: 123.
- Prośba-Białczyk U., Spiak Z., Mydlarski M. 2000. Wpływ nawożenia na zawartość mikroelementów w buraku cukrowym. Części I–III, Zesz. Nauk. Post. Nauk Rol. 471: 441 — 461.
- Rozbicki J., Kalinowska-Zdun M. 1993. Badania nad wpływem struktury morfologicznej łanu na plon i wartość technologiczną buraka cukrowego na tle sposobu siewu i nawożenia azotem. Roczn. Nauk Rol. Ser. A, t. 110 z. 1–2: 69 — 76.
- Seidler M., Mamzer M. 1994. Wpływ zróżnicowanego nawożenia magnezem na zawartość chlorofilu w liściach, natężenie fotosyntezy oraz wielkość i strukturę plonu kukurydzy. Biul. Magnez. 5: 32 — 35.
- Weiland T., Noble R., Crang R. 1975. Photosynthetic and chloroplast ultrastructural consequences of manganese deficiency in soybean. Am. J. Bot. 62: 501 — 508.