

## RÓŻNE SPOJRZENIA NA NAWOŻENIE AZOTEM SADÓW JABŁONIOWYCH

### Different points of view on nitrogen fertilization of apple orchards

Jacek Filipczak, Tadeusz Olszewski  
Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, Skierniewice

#### ABSTRACT

Abundant data exist on the role of nitrogen in apple tree nutrition. On the basis of these data, it can be concluded that doubts relating to N fertilization have evoked contradictory ideas over the last several decades. This has been particularly evident recently because of the changes in the ways orchards are being set up and managed. At present, new varieties of apple trees are grafted on rootstocks with different growth vigour. The work presented here contains an updated review on the knowledge about the effects of nitrogen fertilization on apple tree growth, the chemical composition of leaves and fruit, yield size and fruit quality. In addition, the effects of N nutrition on the physical and chemical properties of the soil are also described.

**Key words:** fertilization, nitrogen, apple orchards

#### WSTĘP I PRZEGLĄD LITERATURY

Nawożenie azotowe na przełomie kilkudziesięciu lat budziło i nadal budzi wiele wątpliwości. Szczególnie ostatnio, gdy zmienił się sposób zakładania i prowadzenia sadów owocowych. Obecnie sadzone są nowe odmiany jabłoni szczepione na podkładkach karłowych i półkarłowych. Drzewa takie są sadzone gęsto i wymagają odpowiedniego formowania i cięcia koron. W wyniku tych zmian nasuwa się pytanie jak nawozić azotem sady owocowe, aby uzyskać wysoki plon o pożądanych cechach jakościowych.

Celem tej pracy jest przegląd obecnej wiedzy na temat wpływu nawożenia azotowego na wzrost drzew jabłoni, wielkość i jakość plonu oraz zawartość składników mineralnych w liściach i owocach.

### Formy azotu w glebie i wpływ nawożenia azotowego na glebę

W glebach azot występuje głównie w postaci związków organicznych, a zawarty jest w próchnicy, nierozłożonej materii organicznej oraz w organizmach glebowych. Dlatego też w warunkach naturalnych zawartość azotu ogólnego ściśle zależy od zawartości próchnicy. W glebach mineralnych ilość azotu ogólnego waha się w granicach od 0,02 do 0,4%. W glebach organicznych, bogatych w próchnicę zawartość ta jest znacznie większa i może dochodzić do 3%. Związki mineralne znajdujące się w glebach stanowią niewielką część, bo zaledwie 1-5% azotu (Czuba 1986). Na azot mineralny składają się N - amonowy, N - azotanowy i w śladowych ilościach N - azotynowy. Połączenia azotowe w glebie ulegają stałym przemianom, których kierunek i szybkość zależy głównie od takich czynników, jak warunki meteorologiczne i aktywność biologiczna gleby.

Azot dostający się do gleby może pochodzić z:

1. nawozów mineralnych,
2. nawozów organicznych,
3. działalności bakterii brodawkowych,
4. działalności bakterii niesymbiotycznych: *Azotobacter* i *Clostridium*,
5. opadów burzowych.

Podstawowe procesy przemian azotu w glebie to amonifikacja i nityfikacja. Organiczne związki azotowe w wyniku amonifikacji ulegają mineralizacji, podczas której wydzielają się amoniak. W wyniku procesu nityfikacji azot amonowy przechodzi w formę azotanową. Przebieg nityfikacji zależy w dużej mierze od wilgotności, temperatury oraz odczynu gleby. Za optymalny dla procesu nityfikacji jest uważany odczyn zbliżony do obojętnego. Część azotu amonowego pozostaje w roztworze glebowym i zostaje zasorbowana przez kompleks sorpcyjny. Druga część może być sorbowana biologicznie, przechodząc w formę azotu organicznego.

Innym źródłem azotu w glebie jest działalność bakterii symbiotycznych. Przy wysokich plonach niektóre rośliny mogą wnieść do gleby nawet 400 kg N·ha<sup>-1</sup>. Oprócz bakterii brodawkowych wzbogacają glebę w azot bakterie wolno żyjące np. *Azotobacter* i *Clostridium* (Czuba 1986).

Czynnikiem decydującym o udostępnieniu roślinom wyższym azotu jest stosunek węgla do azotu w rozkładającej się materii organicznej (Czuba 1986). Rośliny pobierają azot przeważnie w formie jonu amonowego lub jonu azotanowego, a w szczególnych przypadkach jako cząsteczki mocznika. Pobieranie składników pokarmowych przez rośliny polega na ich wymiennej sorpcji przez korzenie roślin. Najczęściej jonami wymiennymi są jony wodorowe. Rośliny pobierając kationy – jony amonowe – wydzielają

do roztworu glebowego równoważne ilości jonów wodorowych. W przypadku pobierania anionów – azotanów – wydzielają równoważne ilości jonów wodorowęglanowych. Jony  $\text{HCO}_3^-$  przyczyniają się do gromadzenia jonów wodorotlenkowych, a więc do alkalizacji. Jeżeli rośliny w jednakowym stopniu pobierają kationy i aniony, to w roztworze glebowym występuje jednakowe stężenie jonów wodorowych i wodorotlenkowych, a odczyn gleby nie ulega zmianie. Gleba ulega zakwaszeniu jeżeli szybciej są pobierane kationy niż aniony. Z alkalizacją mamy do czynienia, kiedy szybciej pobierane są aniony. Prawie wszystkie nawozy azotowe powodują większe lub mniejsze zakwaszenie gleby, a stosowanie ich w wysokich dawkach powoduje silną degradację środowiska glebowego, wyrażającą się zakwaszeniem gleby oraz akumulacją toksycznych jonów Mn i Al (Rabikowska i Wilk 1991; Sadowski i in. 1988). Ponadto niekorzystne procesy wpływają ujemnie na pobieranie innych składników mineralnych z gleby, które to składniki również decydują o ilości i jakości plonu handlowego. Efektywność nawożenia sadów jabłoniowych nawozami azotowymi zależy zatem będzie od wielu czynników:

1. formy azotu w zastosowanym nawozie mineralnym,
2. terminu i sposobu aplikacji azotu,
3. właściwości gleby (pH, wilgotność),
4. zawartości w roztworze glebowym innych składników.

Preferencje roślin wyższych w stosunku do  $\text{NH}_4^+$  lub  $\text{NO}_3^-$  zależą od: gatunku rośliny, pH i temperatury gleby. Przy odczynie obojętnym drzewa lepiej pobierają jony amonowe, natomiast przy odczynie kwaśnym jony azotanowe (Lityński i Jurkowska 1982). Jony azotanowe, ponieważ nie są sorbowane przez kompleks sorpcyjny, mogą być wymywane. Zjawisko to obniża wykorzystanie nawozów azotowych przez drzewa owocowe, a także przyczynia się do skażenia wód, co z kolei prowadzi do ich eutrofizacji (Wrona 1998; Ystaas 1990). Azot amonowy na glebach zasadowych może przechodzić w wolny amoniak, toksyczny dla korzeni drzew.

W wyniku naturalnych procesów zachodzących w glebie wyzwala się duża ilość składników pokarmowych, w tym również przyswajalnego azotu. Na glebach odpowiednio pielęgnowanych, o dużej zawartości próchnicy, azot zawarty w glebie może całkowicie pokryć zapotrzebowanie drzew na ten składnik. Dane literaturowe mówią, że pod ugiem herbicydowym uwalnia się około  $50\text{--}60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Aasen 1986). Poza częścią azotu "odzyskaną" w wyniku procesu recyrkulacji, dodatkowym źródłem azotu jest koszona trawa, która w dużej części trafia na pasy herbicydowe. W wyniku jej rozkładu uwalniane są składniki pokarmowe.

Jadczyk (1990) w swych badaniach określiła ilość azotu przenoszonego wraz z trawą na powierzchnię pasów herbicydowych w kolejnych dwóch latach – 54 kg N·ha<sup>-1</sup> w 1986 r. i 145 kg N·ha<sup>-1</sup> w 1987 r. w przeliczeniu na 1 ha powierzchni pasów herbicydowych.

Wielu badaczy zadaje sobie pytanie, czy teza o niskim poziomie nawożenia azotowego jabłoni jest również aktualna dla nowych sadów zakładanych na podkładkach karłowych i gęsto sadzonych.

### Wymagania pokarmowe jabłoni

Wymagania pokarmowe jabłoni w stosunku do azotu są niewielkie. Średnia zawartość azotu w jabłkach wynosi około 0,5% w stosunku do świeżej masy. W związku z tym tylko niewielkie ilości tego składnika są wywożone z sadu nawet przy wysokich plonach (tab.1). Poza tym drzewa zużywają azot do wytworzenia liści, kwiatów, zawiązków, nowych pędów i korzeni, jak również na wzrost starych gałęzi, konarów i korzeni. W racjonalnej gospodarce duża ilość składników pokarmowych wraca z powrotem do gleby. Następuje to w wyniku stopniowego rozkładu opadłych liści, zawiązków, rozdrobnionych pędów i jest ponownie pobierana przez korzenie drzew.

T a b e l a 1

Zużycie makroelementów w sadzie jabłoniowym, przy plonie około 45 t·ha<sup>-1</sup> (Batjer i in. 1952) – Consumption of macro-elements in an apple orchard with a fruit yield of about 45 t · ha<sup>-1</sup> (Batjer et al. 1952)

Wyszczególnienie – Particulars	N
Owoce (z nasionami) – Fruits (with seeds)	20,8
Przyrost organów zdrewniałych (pędów, gałęzi, pnia, korzeni) – Growth of woody organs (shoots, branches, trunk, roots)	18,4
<b>Suma pobranych składników netto A – Net sum of the elements taken up A</b>	<b>39,2</b>
Opadłe liście – Fallen leaves	47,6
Opadłe kwiaty i zawiązki (łącznie z zawiązkami oberwanymi podczas przeredzania) – Fallen flowers and fruitlets (including fruitlets removed during thinning)	11,9
Ścięte pędy – Cut-off shoots	11,8
<b>Suma składników wracających do gleby B – Sum of the elements returning to the soil B</b>	<b>71,3</b>
<b>Suma składników pobranych brutto A+B – Gross sum of the elements taken up A+B</b>	<b>110,5</b>

Batjer i inni (1952) stwierdzili, że przy plonie około  $45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  jabłonie zużywają w ciągu roku około  $110 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , z czego tylko  $39 \text{ kg}$  traci się bezpowrotnie, natomiast reszta, tj. około  $71 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  wraca do gleby. W porównaniu do roślin rolniczych drzewa owocowe mają dość niskie wymagania pokarmowe w stosunku do azotu. Dla porównania pszenica zużywa około  $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , kapusta około  $280 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a marchew około  $285 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Zasadniczą różnicę w wymaganiach pokarmowych jabłoni szczepionych na podkładkach słabo i silnie rosnących jest czas od posadzenia do wejścia w pełnię owocowania. Sady karłowe są gęsto sadzone i w porównaniu do sadów ekstensywnych pojedyncze drzewa w krótkim czasie zapełniają dostępną im przestrzeń. W wyniku zastosowania podkładek karłowych i obecnych metod formowania koron zużycie azotu na przyrost części zdrewniałych maleje w wyniku ograniczenia wzrostu wegetatywnego drzew. Jabłonie szczepione na podkładkach karłowych mają płytki system korzeniowy i większość korzeni znajduje się w niewielkiej objętości ziemi. W takich właśnie sadach uzasadnione jest dzielenie dawki azotu, szczególnie na glebach lekkich, gdyż azot może być łatwo wymywany (Wrona 1998).

### **Niedobór i nadmiar azotu na drzewach**

Azot należy do składników mineralnych bardzo silnie wpływających na wzrost i plonowanie roślin. Jego niedobór prowadzi do zaburzeń wielu procesów fizjologicznych, w których odgrywa on kluczową rolę. Wielkość plonu zależy od sprawnego przebiegu procesu fotosyntezy oraz transportu i dystrybucji asymilatów. W związku z tym dla większości gleb niedobór azotu jest głównym czynnikiem ograniczającym plony roślin. Niedostatek azotu, który powoduje zahamowanie syntezy białek i chlorofilu, prowadzi do tworzenia chloroplastów o niskiej wydajności fotosyntetycznej. Ponadto słabe zaopatrzenie drzew w azot powoduje spadek przewodności szparkowej, co dodatkowo hamuje intensywność procesu fotosyntezy (Von Caemmerer i Farquhor 1981). Przy deficycie azotu zmiany widoczne są na starych liściach, które stopniowo żółkną. Przy dłuższym niedoborze azotu dochodzi do zahamowania wzrostu pędów, słabego wiązania kwiatów i owoców. Owoce w tych warunkach z reguły są lepiej wybarwione i wcześniej dojrzewają. Liście jabłoni z niedoborem azotu transpirują średnio o  $1/3$  słabiej od liści z normalną zawartością tego składnika. Niedobór azotu w liściach można poprawić przez dokarmianie dolistne. W przypadku nadmiaru azotu liście przyjmują barwę ciemnozieloną, a dojrzewanie owoców jest opóźnione (Pieniążek 1976).

Ponadto drzewa z dużym zasobem azotu w tkance później wchodzi w stan spoczynku i mogą łatwo ulegać przemarzaniu. Duże dawki azotu sprzyjają wystąpieniu objawów niedoboru innych pierwiastków między innymi dlatego, że stymulacja wzrostu i owocowania spowodowana przez azot zwiększa zapotrzebowanie na inne składniki pokarmowe. U drzew silnie nawożonych azotem może wystąpić chloroza żelazowa. W wielu doniesieniach dominuje pogląd, że wzrastającym dawkom nawozów azotowych towarzyszy zwiększona podatność jabłek na choroby przechowalnicze (Bramlage i in. 1980; Pering 1984).

### **Wpływ nawożenia azotem na wzrost drzew**

Badania nad wpływem nawożenia azotowego na jabłonie prowadzone są w Polsce i na świecie od wielu lat: Kulesza i inni (1987), Szewcowa i inni (1991), Wrona (1998), Bramlage i inni (1980), Pering (1984), Rozetto (1984), Scholz i Helm (2000). Dane dotyczące wpływu nawożenia azotem na wzrost i plonowanie jabłoni są często sprzeczne. Mnożone są przykłady zarówno wzrostu drzew pod wpływem wzrastających dawek azotu, jak również braku takich zależności. Stosowanie wysokich dawek nawozów azotowych, przekraczających  $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie jest konieczne, aby otrzymać obfite plony owoców o odpowiednio wysokiej jakości. Jednakże do niedawna panował taki pogląd jeszcze wśród sadowników. Wielu badaczy Sadowski i Kępka (1974), Pacholak (1990), Mochecki i inni (1987), Scholz i Helm (2000) zajmujących się nawożeniem sadów uważa, że stosowanie azotu tylko w umiarkowanych dawkach dodatnio wpływa na wzrost i owocowanie jabłoni. W nielicznych badaniach (Lipecki 1990) stwierdzono, że najwyższy plon owoców odmiany 'Jonatan' szczepionej na M 4, a także silny wzrost drzew uzyskano stosując wysokie dawki azotu  $100\text{-}150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wieloletnie badania Kleina i innych (1989) również potwierdzają stymulację wzrostu wegetatywnego drzew wraz ze wzrostem zastosowanej dawki nawożenia azotowego. Jednak w większości doświadczeń zastosowane nawożenie azotowe nie miało istotnego wpływu na wzrost drzew mierzony przyrostem pola poprzecznego przekroju pnia i długością pędów jednorocznych. Siła wzrostu drzew zależy bardziej od zastosowanej podkładki i wstawki. Wyniki takie potwierdziły badania Pacholaka i innych (1998), Wrony (1998), Scholza i Helma (2001).

Do intensywnego wzrostu drzew w pierwszych latach po posadzeniu za najbardziej uzasadnioną naukowo i godną polecenia w praktyce uważa się dawkę  $50\text{-}60 \text{ kg}$  azotu na hektar (Rozetto 1984; Wrona 1998; Ystaas 1990).

### **Wpływ nawożenia azotowego na skład mineralny liści**

W większości przeprowadzonych badań nawożenie azotem istotnie wpływało na zawartość azotu w liściach. Najwyższą zawartość tego składnika miały liście drzew, które nawożono najwyższą dawką, 100-120 kg N·ha<sup>-1</sup>. Należy podkreślić, że zawartość azotu w tych liściach mieściła się w zakresie optymalnym bądź wysokim. Takie wyniki uzyskali także Błaszczyk i Ben (1997), Komosa i Pacholak (1995), Wrona (1998). Wahania sezonowe w większym stopniu wpływały na zawartość azotu w liściach niż nawożenie tym składnikiem.

Nawożenie azotowe wywierało bardzo zróżnicowany wpływ na zawartości poszczególnych składników mineralnych w liściach drzew, jednakże wielkość tych zmian zależała od dawki i formy nawozu azotowego oraz od innych czynników: odmiany, wilgotności i pH gleby. Wyniki badań Komosa i Pacholaka (1995) potwierdzają spadek zawartości potasu i magnezu w liściach pod wpływem nawożenia azotem, jednak reakcja ta w dużym stopniu zależała od odmiany. Cytowani autorzy nie stwierdzili wpływu nawożenia azotowego na zawartość wapnia w liściach jabłoni.

### **Nawożenie azotem a wielkość i jakość plonu**

Powszechne są poglądy, że w wyniku stosowania nawozów azotowych uzyskuje się wzrost plonu, tzn. im wyższe nawożenie tym większa zwyżka plonu. Dane w literaturze dotyczące wpływu różnych dawek nawożenia azotem na wielkość i jakość plonu są rozbieżne. W doświadczeniach, w których uzyskiwano pozytywne efekty nawożenia azotem, istotna zwyżka plonu występowała przeważnie tylko przy stosowaniu 80-100 kg N·ha<sup>-1</sup> (Piątkowski i Kłossowski 1973). Jedynie w badaniach Lipeckiego (1990) potwierdzono korzystne działanie dawek wynoszących 100-150 kg N·ha<sup>-1</sup>, lecz były one stosowane łącznie z potasem i fosforem. W większości badań nie wykazano istotnego wpływu wysokiego nawożenia azotem na wielkość plonu ani na wielkość owoców (Pacholak i in. 1998; Wrona 1998; Wrona 2000). Jedynie umiarkowane dawki, tj 50-60 kg N·ha<sup>-1</sup> wpływały dodatnio na wielkość plonu (Sadowski i Kępka 1974; Mochecki i in. 1987; Scholz i Helm 2000). Nie stwierdzono wpływu nawożenia azotowego na intensywność kwitnienia i zawiązywania owoców (Pacholak i Komosa 1995).

Nawożenie azotowe wpływa nie tylko na wysokość plonu, ale także na jego jakość. W wielu doniesieniach naukowych pojawiają się informacje o ujemnych skutkach zbyt wysokiego nawożenia azotowego. Według Kłossowskiego (1972) owoce przekarmione azotem są duże, miękkie

i delikatniejsze oraz bardziej podatne na uszkodzenia i gnicie. W nadmiernie wyrosniętych owocach stwierdzono przyspieszenie procesów metabolicznych objawiające się szybkim ich starzeniem, jak również zaburzenia w zawartości składników mineralnych, co w konsekwencji stymulowało podatność jabłek na choroby fizjologiczne w czasie przechowywania (Bramlage i in. 1980; Pering i in. 1985). Wysokie dawki nawożenia azotowego wpływały na zmianę koncentracji niektórych składników mineralnych w owocach, a tym samym przyczyniały się do występowania objawów gorzkiej plamistości podskórnej w okresie przechowywania (Błaszczuk i Ben 1997; Zydlik i Pacholak 2000). Z reguły ulegały jej owoce o niskiej zawartości wapnia i wysokiej potasu.

Jędrność jabłek i zawartość w nich ekstraktu to kolejne wskaźniki oceny jakości owoców. Wyniki badań dotyczące wpływu nawożenia azotem na te cechy są rozbieżne. Wielu autorów stwierdza wyraźny spadek jędrności miąższu i poziomu ekstraktu wraz ze wzrostem dawek nawożenia azotowego, jednakże spadki wartości tych wskaźników nie są uznane jako istotne (Błaszczuk i Ben 1997; Bramlage i in. 1980; Szwedo i Lipecki 1991; Zydlik i Pacholak 2000). O braku tych zależności donoszą Noe' i inni (1995). Według badań Błaszczuka i Bena (1996) tylko dawka wysoka – 120 kg N/ha istotnie zmniejszyła jędrność jabłek w okresie zbioru. Nawożenie azotem nie wpływało na zawartość kwasów w jabłkach, jak również na ubytki masy owoców w czasie przechowywania (Mochecki i in. 1987).

Wzrost nawożenia azotowego powodował jednoznacznie, w większości wypadków istotne, pogorszenie intensywności rumieńca na owocach, poprzez ograniczenie produkcji antocyjanów w skórce (Szwedo i Lipecki 1991). Wielkość powierzchni owoców pokrytej rumieńcem zależała także od właściwości genetycznych odmiany ('Jonagold' - 'Gala Must') oraz od przebiegu warunków pogodowych w danym roku (Błaszczuk i Ben 1997; Pacholak i in. 1998; Wrona 1998).

## PODSUMOWANIE

Wysokie nawożenie azotem wzbudza wiele dyskusji. Podawane są przykłady zarówno wzrostu plonowania drzew w wyniku wzrastających dawek (przekraczających 100 kg N·ha<sup>-1</sup>), jak również braku efektywności tak wysokiego poziomu nawożenia. Niektóre doniesienia mówią nawet o szkodliwości stosowania wysokich dawek nawozów azotowych. Wszystko wskazuje na to, że na dobrej glebie właściwie przygotowanej



przed założeniem sadu i właściwie pielęgnowanej w kolejnych latach wzrostu drzew nawożenie azotem może być zbędne, a dawka 50-60 kg N·ha<sup>-1</sup> jest w pełni wystarczająca nawet na glebach lżejszych. Wzrost i plonowanie drzew zależą w większym stopniu od sposobu utrzymywania gleby i właściwej agrotechniki niż od nawożenia azotem. Teza mówiąca, że w miarę wzrostu intensyfikacji sadów wzrasta zapotrzebowanie drzew na azot nie ma racji bytu, a dawki powyżej 100 kg N·ha<sup>-1</sup> są bezcelowe, ponieważ zakwaszają glebę, powodują niebezpieczeństwo skażenia wód gruntowych, jak również obniżają jakość owoców.

Różnice w poglądach na temat nawożenia azotowego świadczą o tym, iż na jakość i zdolność przechowalniczą owoców, oprócz nawożenia tym składnikiem, duży wpływ wywierają również inne czynniki, takie jak: cechy genetyczne odmiany, warunki klimatyczne, właściwa agrotechnika, jak również stan fizjologiczny zbieranych owoców.

#### LITERATURA

- Aasen J. 1986. Mangelsjukdomar og andre ernærings-forsyringer hos kulturplaner. Landbruksforlaget, Oslo: 20-21.
- Batjer L.P., Roger B.L., Thompson A.H. 1952. Fertilizer application as related to nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium utilization by apple trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **60**: 1-6.
- Błaszczak J., Ben J. 1996. Wpływ wzrastających dawek azotu na niektóre właściwości jabłek odmiany Jonagold przed i po przechowywaniu. XXXIV Ogólnopolska Nauk. Konf. Sad. ISK, Skierniewice.
- Błaszczak J., Ben J. 1997. Wpływ nawożenia azotem na niektóre właściwości jabłek odmiany Red Boskoop. Cz. I. Wpływ azotu na koncentrację składników mineralnych w jabłkach oraz ich podatność na gorzką plamistość podskórną. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ogrodnictwo nr 23: 29-38.
- Błaszczak J., Ben J. 1997. Wpływ nawożenia azotem na niektóre właściwości jabłek odmiany Red Boskoop. Cz. II. Wpływ azotu na jakość jabłek po zbiorze i po przechowywaniu. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ogrodnictwo nr 23: 39-45.
- Bramlage W. J., Drake M., Lord W.J. 1980. The influence of mineral nutrition on the quality and storage performance of pome fruits grown in North America. Butterworths, Sevenoaks, UK, 29-39.
- Czuba R. 1986. Nawożenie. PWRiL, Warszawa.
- Jadczuk E. 1990. Transport of mineral elements from grassed alleyways to herbicide strips as a result of grass mowing. Acta Hort. **274**: 201-205.
- Klein L., Lewin I., Bar-Yosef B., Assaf R., Berkovitz A. 1989. Drip nitrogen fertigation of Starking Delicious apple tree. Plant and Soil **2**: 305-314.
- Kłossowski W. 1972. Nawożenie roślin sadowniczych. PWRiL, Warszawa.

- Komosa A., Pacholak E. 1995. Wpływ ośmioletniego nawożenia azotowego na zawartość składników pokarmowych w glebie i liściach jabłoni. *Prace Komisji Nauk Rol. i Komisji Nauk Leśnych*, 79: 187-193.
- Kulesza W., Szafranek R. C., Zielenkiewicz J. 1987. Wstępne wyniki z nawożeniem jabłoni azotem. *Pr. Inst. Sad., Ser. C*, 1-4: 87-88.
- Lipecki J. 1990. The use of growing doses on NPK in different localisations in apple orchard. *Acta Hort.* 274: 289-296.
- Lityński T., Jurkowska H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN, Warszawa.
- Mochecki J., Kłossowski W., Piątkowski M. 1987. Efekty nawożenia sadu jabłoniowego w pełni owocowania. *Pr. Inst. Sad.* 27: 39-46.
- Noe N., Eccher T., Stainer R., Porro D. 1995. Influence of nitrogen, potassium and magnesium fertilization on fruit quality storability of Golden Delicious apples. *Acta Hort.*, 383: 439-446.
- Pacholak E. 1990. Nawożenie i nawadnianie w intensywnym sadzie jabłoniowym a wzrost i plonowanie odmiany James Grive. *Prace Komisji Nauk Roln. i Leśnych PTPN*, 69: 87-100.
- Pacholak E., Komosa A. 1995. Nawożenie azotem a wzrost i plonowanie jabłoni. *Prace Komisji Nauk Rol. i Komisji Nauk Leśnych*, 79: 203-207.
- Pacholak E., Zydlik Z., Cwynar M. 1998. Zróżnicowane nawożenie azotem a właściwości biologiczne drzew odmiany Szampion w pierwszych latach po posadzeniu. *Prace Komisji Nauk Rol. i Komisji Nauk Leśnych*, 85: 129-135.
- Perring M.A. 1984. Effects of area herbicide and grass sward treatments and amount of nitrogen fertilizer on the mineral composition of Cox's Orange Pippin apple fruit. *J. Hort. Sci.*, 59: 63-70.
- Perring M.A., Pearson K., Martin K.J. 1985. The distribution of calcium in apples with senescent breakdown. *J. Sci. Food Agric.*, 36: 1035-1038.
- Piåtkowski M., Kłossowski W. 1973. Wpływ różnych dawek nawozów azotowych oraz nawożenia fosforowo-potasowego na zapas na wzrost i owocowanie jabłoni. *Pr. Inst. Sad. ser. E*, 1: 94-96.
- Pieniåzek S. A., 1976. Sadownictwo. Wyd. VI. PWRiL, Warszawa.
- Rabikowska B., Wilk K. 1991. Wpływ wieloletniego nawożenia obornikiem i azotem na właściwości gleby gliniastej. Cz. I. Odczyn gleby a zawartość węgla i azotu. *Rocz. Gleboznawcze*, XLII 3/4: 27-35.
- Rozetto B.C. 1984. Nitrogen and potassium rate in apple trees. V Inter. Coll: for Optymalization of Plant Nutrition. *Proceedings*. 2: 491-497.
- Rupp D. 1995. Nitrogen fertilization in apple orchards- relationships between available nitrogen in soil samples, nitrates in water and leaching of nitrogen. *Acta Hort.* 383: 401-409.
- Sadowski A., Kępką M. 1974. Results of nine-year N and K fertilizer trial on Yellow Transparent apple trees. *Proc. XIX Inter. Hort. Congr.* 1A: 391.

- Sadowski A., Ścibisz K., Tomala K., Kozanecka T., Kępką M. 1988. Negative effects of excessive nitrogen and potassium fertilization in a replanted apple orchards. *Acta Hort.* **233**: 85-94.
- Scholz K. P., Helm H. U. 2000. N- nutrition of apple, part 1: principles of N-supply. *Erwerbsobstbau* 42: 6, 192-200; Many ref.
- Scholz K. P., Helm H. U. 2001. N- nutrition of apple, part 2: nutrient status and fertilizing methods. *Erwerbsobstbau* 43: 1, 7-14; 48 ref.
- Szwedo J., Lipecki J. 1991. Wpływ nawożenia na niektóre wskaźniki jakości i zdolności przechowalniczej jabłek. *Konf. PAN, Warszawa.*
- Szwedo J., Lipecki J., Żmuda E. 1991. Wpływ nawożenia na niektóre wskaźniki jakości i zdolności przechowalniczej. [W:] *Konf. PAN: Odżywianie mineralne i zdolność przechowalnicza owoców. 1*: 18-21.
- Von Caemmerer S., Farquhar G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* **153**: 376-387.
- Wrona D. 1998. Efekty nawożenia azotem w młodym sadzie jabłoniowym. *Praca doktorska. SGGW, Warszawa.*
- Wrona D. 2000. Wpływ nawożenia azotem na wzrost, owocowanie i zawartość N w liściach jabłoni odmiany Szampion. *Zesz. Nauk. Inst. Sadow. Kwiac.* **8**: 9-14.
- Ystaas J. 1990. Yield and fruit quality of apples as affected by different nitrogen and potassium applications. *Abs. XXIII Inter. Hort. Congr., Italy.*
- Zydlik Z., Pacholak E. 2000. Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na jakość oraz zdolność przechowalniczą jabłek odmiany Szampion. *Zesz. Nauk. Inst. Sadow. Kwiac.* **8**: 327-332.