

TEORETYCZNE ASPEKTY DOLISTNEGO DOKARMIANIA ROŚLIN

Z. Michałojć¹, C. Szewczuk²

¹Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Akademia Rolnicza
ul. Łeszczyńskiego 58, 20-068 Lublin; e-mail: ZENMI@consus.ar.lublin.pl

²Katedra Roślin Przemysłowych i Leczniczych, Akademia Rolnicza
ul. Akademicka 15, 20-095 Lublin; e-mail: ziolo@agros.ar.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e: W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące teoretycznych aspektów pozakorzeniowego dokarmiania roślin. Omówiono drogi i mechanizmy przenikania składników pokarmowych przez poszczególne warstwy blaszki liściowej. Ponadto omówiono sposoby pobierania składników pokarmowych przez nadziemne części roślin oraz niektóre czynniki mające wpływ na efektywność dokarmiania pozakorzeniowego.

S ł o w a k l u c z o w e: dokarmianie dolistne, mechanizm przenikania, składniki pokarmowe

WSTĘP

Podstawowym sposobem dostarczania roślinom składników pokarmowych jest nawożenie dokorzeniowe. W praktyce zdarza się jednak, że składniki pokarmowe mogą występować w środowisku glebowym w ilościach niedostatecznych lub w formie trudno dostępnej, co powoduje stres i zaburzenia w metabolizmie rośliny, a w konsekwencji spadek plonów i ich jakości. Powstaje więc potrzeba szybkiego dostarczenia brakujących składników. Najprostszym i najskuteczniejszym sposobem jest ich wniesienie bezpośrednio na liść, owoc, w postaci oprysku. W licznych badaniach wykazano, że nawożenie pozakorzeniowe będzie w przyszłości zabiegiem powszechnie stosowanym w uprawie roślin, ponieważ pozwoli na istotne zwiększenie plonowania roślin oraz polepszenie ich jakości [2,3,9,12]. Zatem znajomość mechanizmów przenikania składników mineralnych przez części nadziemne roślin jest podstawowym warunkiem racjonalnego stosowania dokarmiania pozakorzeniowego.

DROGI PRZENIKANIA SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH PRZEZ LIŚĆ

W nawożeniu tradycyjnym korzeń jest głównym organem odpowiedzialnym za pobieranie wody i składników pokarmowych, które dość łatwo wnikają przez skórę. Natomiast w dokarmianiu pozakorzeniowym to komórki naskórka liści, lodyg, kwiatów i owoców stanowią miejsce absorpcji składników pokarmowych rozpuszczonych w wodzie.

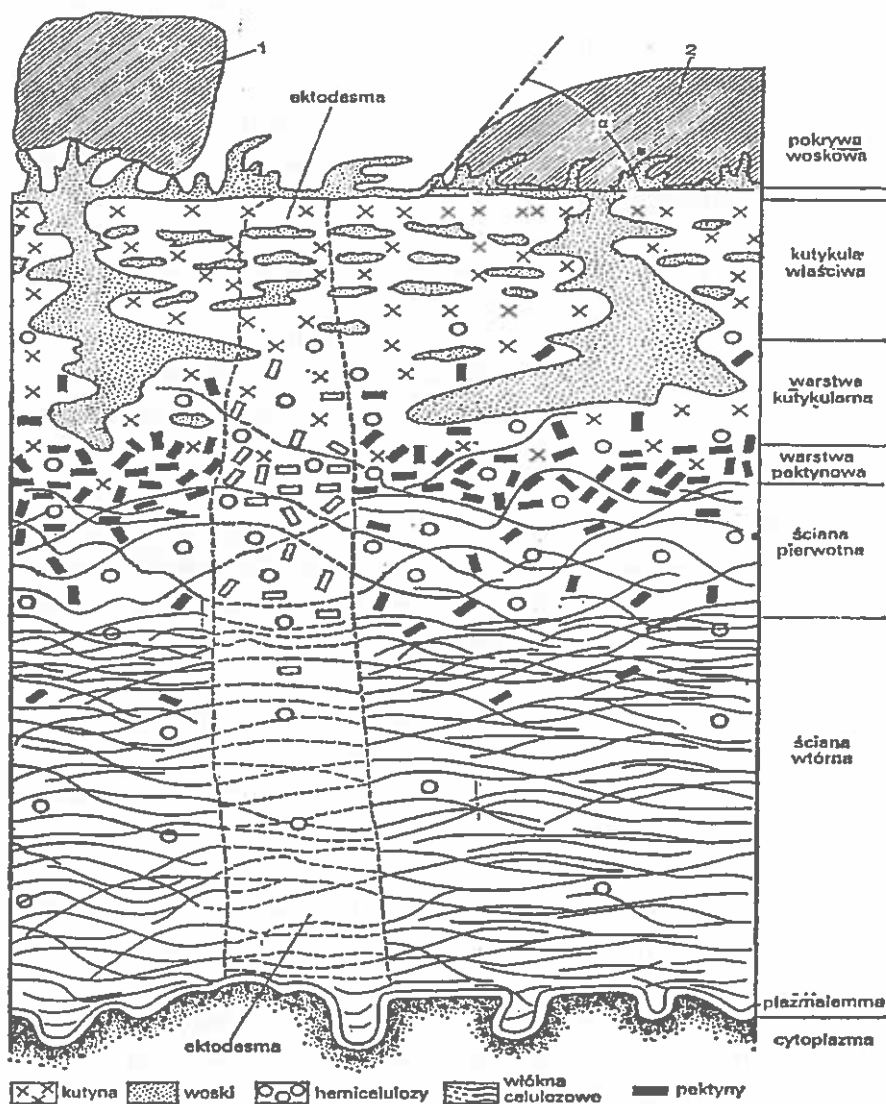
Zatem zastosowany na powierzchnię rośliny wodny roztwór składników pokarmowych musi przeniknąć przez: warstwę woskową, kutykulę właściwą, warstwę kutykularną, warstwę pektynową oraz przez ścianę komórkową i plazmolemę, aby znaleźć się we wnętrzu komórki (Rys. 1).

Warstwa wosku, zbudowana jest z węglowodorów, kwasów tłuszczowych oraz alkoholi, ułożonych równolegle, co powoduje, że cząsteczki wody wraz z jonami z trudem ją pokonują. Następną warstwą to kutykula właściwa, składająca się z kutyny i hydrokys kwasów tłuszczowych, co powoduje, że ma ona właściwości hydrofobowe. Warstwa kutykularna leżąca bezpośrednio pod kutykulą zbudowana jest również z kutyny oraz z pektyn i hemicelulozy, co czyni ją bardziej polarną. Warstwa pektynowa znajdująca się poniżej warstwy kutykularnej zbudowana jest głównie z kwasu galakturonowego, mającego ujemnie naładowane reszty kwasowe. W wyniku tego łatwo sorbuje kationy, wodę oraz inne cząsteczki polarne [9,17].

Zatem absorpcja składników przez część nadziemną rośliny rozpoczyna się od przyłgnięcia kropli roztworu do jej powierzchni. Im dokładniej, tym łatwiejsza i szybsza będzie sorpcja poszczególnych składników. Zdolność przylegania kropli do powierzchni rośliny określa kąt przylegania, który zmniejszają, tzw. substancje powierzchniowo czynne: adiuwanty oraz surfaktanty, obniżające napięcie powierzchniowe pomiędzy cieczą a powierzchnią rośliny [7].

Składniki mineralne rozpuszczone w wodzie nie przenikają przez całą powierzchnię wosków, lecz przez miejsca, znajdujące się w tej warstwie zwane ektodesmami. Ektodesmy są to delikatne struktury o charakterze pasm, ich średnica wynosi mniej niż 2 nm. Sięgają one aż do ścian komórkowych epidermy i łączą protoplast z zewnętrznym środowiskiem liścia [4,5,8,10].

W ścianach komórek epidermy ektodesmy występują licznie we włoskach oraz komórkach, które je otaczają oraz w komórkach szparkowych i przyszparkowych. Obecność ich stwierdzono także nad i pod wiązkami przewodzącymi górnej i dolnej strony liścia. Zazwyczaj liczba ektodesm na górnej stronie liścia jest mniejsza niż na dolnej. Z tego powodu pobieranie składników mineralnych



Rys. 1. Schemat budowy powierzchniowych warstw liścia stanowiących barierę utrudniającą wnikanie składników mineralnych do wnętrza ich tkanek (wg. Frankego [4] oraz Norrisa i in. [8]). 1 – kropla oprysku bez zwiłzacza, 2 – kropla zawierająca zwiłzacz, α – kąt przylegania jaki tworzy kropla z powierzchnią kutykuli [6].

Fig. 1. The schema of the surficial layers structure of leaf. The barrier formed by the layers, makes it difficult to the mineral components to penetrate into the leaves tissues (Franké [4] and Norris & all. [8]). 1- drop of spray without moister, 2- drop including moister, α – an adherent angle formed by the drop and the cuticle surface [6].

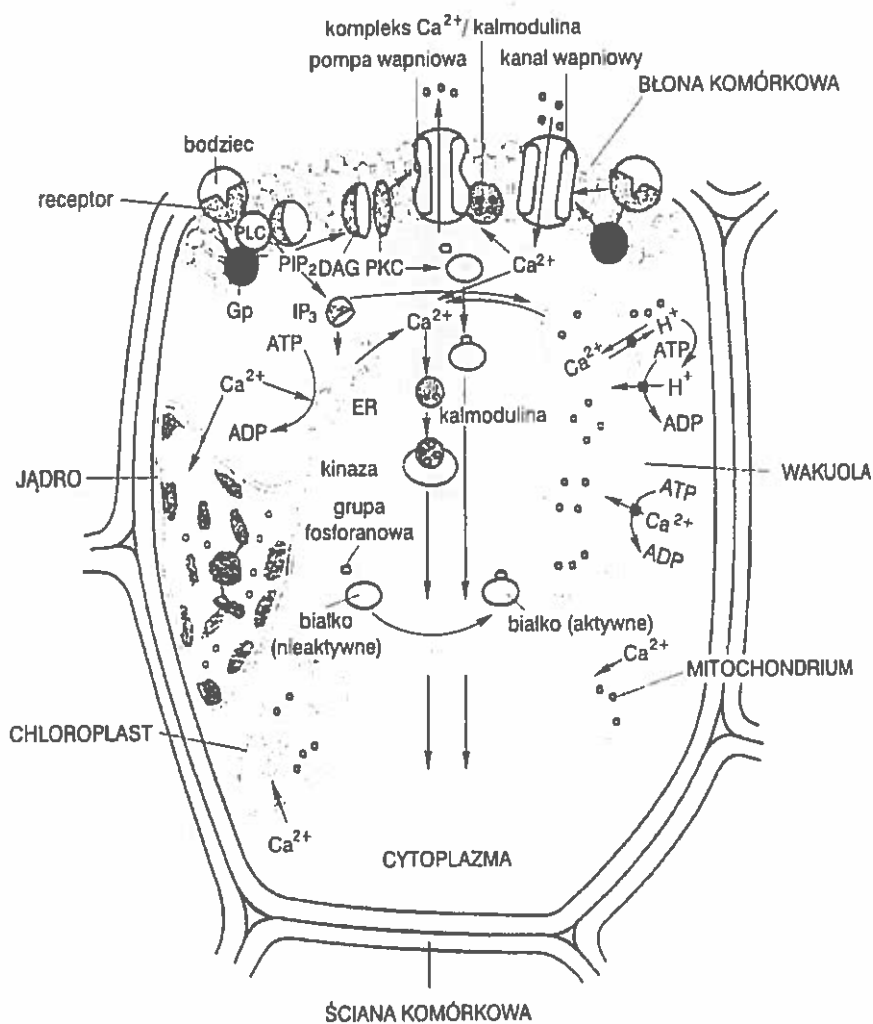
przez dolną stronę liścia jest bardziej intensywne [2,10]. Liczba ektodesm ulega dużym wahaniom pod wpływem warunków zewnętrznych i wieku liścia. Czynniki takie jak wysoka temperatura powietrza, silna operacja słoneczna, deficyt wody w glebie, infekcja przez patogeny, zmniejszają liczbę ektodesm w liściach. Reakcja ta jest procesem odwracalnym pod warunkiem, że czynnik powodujący zaburzenia nie jest zbyt silny i długotrwały [15].

SPOSOBY PRZENIKANIA SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH

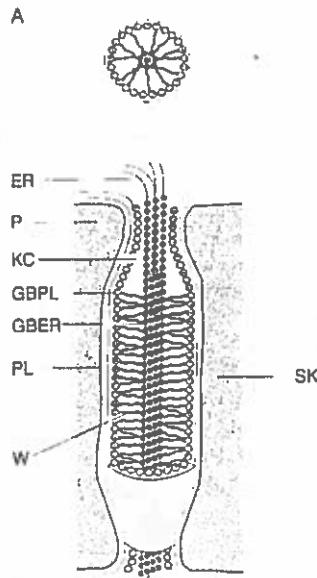
Składniki pokarmowe po przedostaniu się ektodesmami przez wierzchnią warstwę kutykularną napotykają ścianę komórkową. Właściwe pobieranie jonów odbywa się na granicy dwóch układów, gdzie substancja nieorganiczna (roztwór odżywczy) styka się z żywym układem – komórką roślinną (Rys. 2). Komórka otoczona jest ścianą komórkową, która zbudowana jest z niecelulozowych wielocukrów, niewielkiej ilości białka oraz celulozy. Celuloza stanowi najważniejszy, bo strukturalny składnik ściany i połączona jest w równoległe wiązki zwane mikrofibrylami. Mikrofibryle są ułożone w przestrzenną siatkę zwaną micelami, którą wypełniają przestrzenie międzymicelarne. To właśnie przez te obszary ściany komórkowej mogą przenikać jony i inne związki do wnętrza komórki [11].

Cytoplazmę od ściany komórkowej oddziela zewnętrzna błona cytoplazmatyczna zwana plazmolemą. Większość komórek roślinnych połączona jest między sobą plazmodesmami (Rys. 3). Plazmodesmy są to cytoplazmatyczne połączenia międzykomórkowe, przechodzące w poprzek wspólnej ściany. Przez nie odbywa się transport jonów i związków małych cząsteczkowych (wirusy, białka i in.). Większość plazmodesm ma średnicę 25-50 nm. Należy podkreślić, że plazmodesmy są strukturami dynamicznymi, a ich drożność regulują jony wapnia. Po przekroczeniu jak się wydaje ostatniej bariery, składniki pokarmowe znajdują się we wnętrzu komórki i mogą być włączone w procesy przemian. Powszechnie wiadomo, że to błony cytoplazmatyczne, a nie ściana komórkowa stanowią właściwą barierę dla wszystkich jonów, bądź cząsteczek pochodzących ze środowiska zewnętrznego. Jednocześnie podkreśla się, że biologiczny transport przez błonę cytoplazmatyczną jest intensywniejszy w liściach roślin młodych, ponieważ zachodzi w nich intensywniejsza przemiana materii a kutykula jest cieńsza [1,2,15].

Proces absorpcji składników pokarmowych przez liść może przebiegać biernie bądź aktywnie. Przenikanie bierne składników przez kutykulę i ściany komórkowe polega na dyfuzji prostej, złożonej lub ułatwionej. Dyfuzja prosta zachodzi w kierunku od stężenia większego do mniejszego i ustaje w wyniku wyrównania



Rys. 2. Schemat budowy komórki roślinnej z widocznymi w górnej części kanałem i pompą wapniową, jako droga przenikania Ca przez plazmolemę do wnętrza komórki (zmodyfikowane) [13]
Fig. 2. The schema of a plant cell structure with calcium canal and pump in the upper part of a picture. This is the way of calcium penetrating through the plasmodesm into the cell's interior (modified) [13].



Rys. 3. Przekrój plazmodesmy A – poprzeczny (górną część rysunku) i podłużny (dolną część rysunku): ER – siateczka śródplazmatyczna, P – przewężenie "szyjka", KC – kanały cytoplazmatyczne, GBPL – globularne białka plazmolemy, GBER – globularne białka, PL – plazmolema, W – włókienka łączące GBER i GBPL, SK – ściana komórkowa (zmodyfikowane) [14]

Fig. 3. The cross-section of plazmodesm (A – the upper part of the schema) and the longitudinal section (the lower part of the schema). ER – reticulum endoplasmatic, P – constriction "neck", KC – cellular plasmatic canals, GBPL – globular plasmodesm proteins, GBER – globular proteins, PL – plasmodesm, W – fibrils connecting GBER & GBPL, SK – cell wall (modified) [14]

stężeń. W przypadku dyfuzji złożonej szybkość przenikania przez błony poza gradientem stężeń, zależy również od gradientu potencjału elektrycznego lub gradientu ciśnienia osmotycznego. W procesie dyfuzji ułatwionej uczestniczą struktury białkowe zwane przenośnikami, które wiążą określony jon po jednej stronie i przenoszą na stronę przeciwną [2, 14].

Przenikanie aktywne wymaga udziału energii metabolicznej. Wnikanie jonów przez błonę komórkową odbywa się za pomocą nośników i kanałów jonowych lub na drodze aktywnego przenoszenia jonów za pomocą pomp jonowych, które mogą transportować jony wbrew gradientowi stężeń. Na rysunku 2 przedstawiono mechanizm wnikania jonów wapnia do wnętrza komórki. Mechanizm zjawiska polega na tym, że zwiększa się przepuszczalność błony komórkowej oraz błon otaczających różne struktury wewnątrzkomórkowe (jądro, mitochondria, chloroplasty) dla jonów wapnia. Jony te przedostają się do cytoplazmy na skutek aktywacji

kanalów wapniowych. Wzrostowi stężenia Ca^{2+} w cytoplazmie towarzyszy aktywacja wielu procesów. Najnowsze badania wykazały, że ważną rolę w transporcie jonów wapnia spełnia białko (kalmodulina), które wiąże kation, a tym samym ułatwia jego przemieszczanie się wewnątrz komórki. Podtrzymywanie aktywnego transportu jonów oraz mało i wielocząsteczkowych związków organicznych przez błony biologiczne wymaga stałego dopływu energii metabolicznej. Energia ta wykorzystywana jest do polaryzacji elektrochemicznej błon i wytwarzania tzw. siły transportowej [13,14].

NIKTÓRE CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA EFEKTYWNOŚĆ DOLISTNEGO DOKARMIANIA ROŚLIN

Podstawowym kryterium efektywności pozakorzeniowego dokarmiania roślin jest tempo absorpcji i przemieszczania składników pokarmowych wewnątrz rośliny, czyli czas w którym zastosowane składniki zostaną włączone w metabolizm rośliny. Natomiast ich pobieranie jest zależne od wielu czynników, które niekiedy wzajemnie na siebie oddziałują, a mogą wiązać się z rośliną, środowiskiem czy techniką oprysku.

Składniki pokarmowe pobierane są przez rośliny przede wszystkim w postaci kationów oraz anionów. Duże znaczenie mają właściwości chemiczne jonów. Im pobierany jon charakteryzuje się wyższą wartością, tym jego penetracja do komórek jest wolniejsza. W grupie kationów o tej samej wartościowości szybkość przenikania do komórek epidermy maleje wraz ze średnicą uwodnionego jonu. Zatem szybkość wnikania poszczególnych kationów przez membranę kutykularną będzie malała w następującym kierunku: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+}$ [2,15]. Według Frankego [5] sorpcja kationów przez warstwę kutykularną jest większa niż anionów, ze względu na występowanie ujemnych ładunków w membranie kutykularnej. Oceniono, że zdolność sorbowania kationów może być nawet 1000 razy większa niż anionów.

Szybkość pobierania zależy ponadto od pierwiastka i formy w jakiej został podany. W badaniach Wittwera i in. [16] wykazano, że czas przenikania poszczególnych składników pokarmowych jest bardzo zróżnicowany (Tabela 1).

Najszybciej pobierany jest azot, magnez i sód, a znaczne wolniej fosfor siarka i żelazo.

Przy podawaniu składników w formie soli istotne znaczenie odgrywa fitotoksyczność, która może występować już przy stosunkowo niskich stężeniach. Ponadto podane na liść składniki w formie soli wymagają w roślinie obecności

T a b e l a 1. Szybkość pobrania 50% poszczególnych składników pokarmowych na przykładzie liści fasoli [16]

T a b l e 1. Velocity of an intake of 50% separate nutrition components on the example of bean leaf [16]

Składnik	N*	P	K	S	Ca	Mg	Na	Mn	Zn	Fe
Czas pobrania w h	1-4	30-120	24-80	184	100	5	5	48	24	240

*mocznik

nośników, którymi najczęściej są białka, aminokwasy czy inne związki organiczne ułatwiające transport jonu do komórki i wewnątrz niej [14,15]

Stąd też zrodził się pomysł stosowania mineralnych składników odżywczych w formie chelatów. Są to związki kompleksowe, które składają się z centralnego atomu metalu połączonego kilkoma wiązaniami koordynacyjnymi ze związkiem organicznym – chelatorem, mające budowę pierścieniową. Dzięki wiązaniom koordynacyjnym, zostają wysycane wolne elektrony i metal traci tendencję do łączenia się z innymi jonami. Zdolność metalu do tworzenia chelatów zmniejsza się wraz z obniżeniem stosunku ładunku elektrycznego do promienia jonowego według następującej kolejności: $Fe^{3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$. Stosowanie chelatów w dokarmianiu pozakorzeniowym roślin nie zwiększa pobierania zastosowanego składnika przez części nadziemne roślin w porównaniu z pobieraniem tych składników w formie soli mineralnych. Jednak chelaty ułatwiają przemieszczanie się zastosowanych składników pokarmowych w roślinie, zapewniają szybką absorpcję i sprzyjają metabolizmowi [15].

Wymienione wyżej czynniki mogą w znacznym stopniu modyfikować przenikanie składników pokarmowych. Poza tym istnieje szereg czynników związanych z biologią uprawianej rośliny i warunkami siedliskowymi, które również powodują zmienności w pobieraniu poszczególnych składników pokarmowych. Faktem tym należy tłumaczyć zróżnicowaną reakcję roślin na dokarmianie dolistne. W związku z tym wyniki doświadczeń nie zawsze są jednoznaczne pod względem wysokości jak i jakości plonu, dlatego nadal istnieje potrzeba kontynuowania badań dotyczących pobierania składników pokarmowych przez nadziemne części roślin.

PIŚMIENNICTWO

1. Błaszczuk-Ostrowska D., Fiuczek M.: Zagadnienie przenikania przez liście składników pokarmowych i innych związków chemicznych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 143, 43-55, 1974.
2. Byszewski W., Sadowska A.: Piśmiennictwo dotyczące dolistnego dokarmiania roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 143, 15-41, 1974.

3. Deoring H. W., Gericke R. The efficiency of foliar fertilization in arid and semi-arid regions. Proc. First INT. Symp. Foliar Fert. Schering, 29-35, 1986.
4. Franke W.: Mechanism of foliar penetration of solution. Ann. Rev. Plant Physiol., 18, 281-300, 1967.
5. Franke W.: The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanisms. Proc. First Int. Symp. Foliar Fert. Schering, 102-123, 1986.
6. Jankiewicz L. S.: Fizjologia roślin sadowniczych, Pr. zbiorowa, PWN, Warszawa, 1979.
7. Komosa A.: Wpływ niektórych właściwości chemicznych roztworów oraz stanu odżywienia roślin na skuteczność nawożenia dolistnego pomidora szklarniowego. Wyd. AR Poznań, Rozp. Nauk., 210, 1990.
8. Norris R. F., Bukovac M. J.: Structure of the pear leaf cuticle with special reference to cuticle penetration. Amer. J. Bot. 55, 975-983, 1968.
9. Reilly M.L.: Foliar nutrition of cereal crops. Proc. VI-th Inter. Coll. "The optimalization of plant nutrition. Montpellier-France, 2, 499-506, 1984.
10. Schönherr J., Bukovac M. J: Foliar penetration of succinet acid-2,2-dimethylhydrazide: mechanism and rate limiting step. Physiol. Plant. 42(2), 243-251, 1978.
11. Szweykowska A., Szweykowski J.: Botanika, PWN Warszawa, 1992.
12. Tukey H.B., Marczyński S.: Foliar nutrition-old ideas rediscovered. Acta Hort., 145, 205-212, 1984.
13. Tretyn A.: Błona komórkowa. W: Podstawy biologii komórki roślinnej (Red.: A. Woźny i in.), L. Wyd. Nauk. UAM Poznań, 17-44, 2000.
14. Tretyn A.: Podstawy strukturalno-funkcjonalne komórki roślinnej. W: Fizjologia roślin (Red.: L. Kopcewicz, S. Lewak). PWN Warszawa, 22-87, 2002
15. Warcholowa M.: Fizjologiczne podstawy dolistnego dokarmiania roślin. Mat. Sem. Nauk. Dolistne dokarmianie roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej. Wyd. IUNG Puławy, 5-23, 1988.
16. Wittwer S. H., Teubner F.G. Foliar absorption of mineral nutrients. Ann. Rev. Plant. Pysiol., 10, 13-27. 1959.
17. Wójcik P.: Pobieranie składników mineralnych przez części nadziemne roślin z nawożenia pozakorzeniowego. Post. Nauk Roln., 1,49-64.1998.

TEORETICAL ASPECTS OF FOLIAR NUTRITION

Z. Michalajć¹, Cz. Szewczuk²

¹Department of Soil Cultivation and Fertilization of Horticultural Plants, University of Agriculture Leszczyńskiego 58 str., 20-068 Lublin, Poland; e-mail: ZENMI@consus.ar.lublin.pl.

²Department of Industrial and Medical Plant, University of Agriculture Akademicka 15 str., 20-095 Lublin, Poland; e-mail: ziolo@agros.ar.lublin.pl

S u m m a r y: The present study deals with problems connected with theoretic aspects of foliar nutrition. The ways and mechanism of nutrient components penetration through individual layers were also discussed. Moreover, the ways of nutrient intake by the over ground plant parts were studied together with some factors influencing foliar nutrition efficiency.

K e y w o r d s: foliar nutrition, the penetration mechanism, nutrient components

