Porównanie czynnego i biernego pobierania soli mineralnych i wody przez pszenicę, jęczmień i owies

*Comparison of active and passive uptake of mineral salts and water by wheat,
barley and oats*

A. STACHURSKA

WSTĘP

Pobieranie wody jest procesem w znacznym stopniu uzależnionym od transpiracji. Pobieranie wody, spowodowane przez siły powstające w transpirujących pędach, nazywane jest, według terminologii Rennera (Kramer 1949), absorpcją pasywną. Renner nazwał ten proces absorpcją pasywną dlatego, że zachodzi on również wtedy, gdy korzenie podda się anestezji, lub zabije, a nawet przy nieobecności korzeni. Rola korzeni wydaje się tu ograniczać do istnienia biernie absorbującej powierzchni.

Absorpcją aktywną natomiast nazywa Renner pobieranie wody spowodowane siłami tworzącymi się w korzeniu. Zachodzi ono na skutek sił osmotycznych zlokalizowanych w korzeniu oraz nieosmotycznych, transponowanych np. z oddychania, co stoi w ścisłym związku z ogólnym metabolizmem całej rośliny. Wynikiem absorpcji aktywnej jest tzw. parcie korzeniowe, wywołujące takie zjawiska, jak guttacja i płacz roślin.

Niektórzy badacze uważali, że transpiracja oddziałuje również w dużej mierze na pobieranie soli mineralnych. Sachs i Pfeffer (cyt. Sutcliffe 1962) sądzili, że prąd transpiracyjny może transportować sole mineralne ze środowiska wzdłuż całej swej długości. Zależność pobierania soli mineralnych od transpiracji wykazali również Freeland (1936, 1937), Wright (1939) oraz Hylmö (1953, 1955, 1958) i jego współpracownicy (Kylín, Hylmö 1957; Pettersson 1960, 1961; Kihlman-Falk 1961). Hylmö uważał, że pobieranie jonów jest wynikiem równoległe zachodzących procesów: aktywnego (niezależnego od przepływu wody) i pasywnego (zależnego od przepływu wody); procesowi biernemu przypisywał 75% pobierania jonów.

Inni badacze przychylali się raczej do teorii aktywnego pobierania jonów. Zaliczyć tu można np. Hoaglanda i Broyera (Hoagland i Broyer 1936; Broyer i Hoagland 1943; Hoagland 1944), Lundegårdha (Lundegårdh i Burström 1935; Lundegårdh 1945, 1958, 1960), Brouwera (1953, 1954, 1956), Russella

i Schorrocksa (1959). Nawet jednak i oni nie odmawiali transpiracji wpływu na pobieranie soli mineralnych, precyzowali jedynie ściśle warunki, w jakich transpiracja może oddziaływać na pobieranie jonów. Tak więc Hoagland uważał, że wzrost intensywności transpiracji zwiększa pobieranie jonów u roślin o wysokiej zawartości soli mineralnych w tkankach. Warunki te sprecyzowali jeszcze ściślej Russell i Schorrocksa (1959); według tych autorów intensywność transpiracji oddziaływa na pobieranie jonów wtedy, gdy stężenie danego jonu większe jest w prądzie transpiracyjnym niż w pożywce. Uważali oni, że jeżeli roślina znajduje się w takich warunkach, że zmiany intensywności transpiracji oddziałują na ilość pobieranych soli mineralnych, to możliwe jest podzielenie jonów dochodzących do łodygi na dwie części. Część pierwszą stanowią jony, które mogą dostać się do łodygi bez udziału transpiracji, część drugą — jony przenoszone do łodygi na skutek ruchu wody.

Celem niniejszej pracy było przebadanie wpływu intensywności transpiracji na pobieranie wody i jonów, podzielenie pobierania na czynne i bierne oraz porównanie pobierania czynnego i biernego przez pszenicę, owies i jęczmień.

Za czynne pobieranie soli przez roślinę przyjęto pobieranie niezależne od przepływu wody, natomiast za bierne uważano pobieranie uzależnione od transpiracji.

Dokonano pomiarów pobierania przy silnej oraz przy zahamowanej transpiracji. Celem dokładniejszego rozdzielenia obu procesów zastosowano inhibitor fosforylacji oksydatywnej 2,4-dwunitrofenol (DNP), który hamuje pobieranie czynne.

Mierzono pobieranie jonów absorbowanych raczej w sposób czynny, tj. azotanów, potasu (Hylmö 1958), fosforanów (Robertson 1951, cyt. wg Nowotny-Mieczyskiej 1965), oraz pobieranego przede wszystkim biernie — litu (Michael 1959).

MATERIAŁ I METODY

Badania nad pobieraniem wody i soli mineralnych przeprowadzono na pszenicy odmiany 'Bajka', jęczmieniu 'Skrzeszowski' i owsie 'Udycz złoty', ze zbioru z 1963 r. z Zakładu Biologii i Przechowalnictwa Nasion IHAR we Wrocławiu.

Doświadczenia przeprowadzono w dwóch etapach: 1) przygotowanie materiału roślinnego, 2) właściwe doświadczenie z pobieraniem.

1. Przygotowania materiału roślinnego dokonano w szklarni w zmiennych warunkach temperatury (17—30°C), oświetlenia i wilgotności (wilgotność względna powietrza wynosiła w południe około 50%, wieczorem wzrastała, nad ranem dochodziła do 100% i przed południem stopniowo opadała).

Nasiona zbóż sterylizowano 0,1% roztworem „Ceresanu“ i poddawano kiełkowaniu na płycie gipsowej odkazanej perhydrolem. Siewki zbóż (5—6-dniowe) umieszczano po 48 szt. na słojach typu Wecka wypełnionych wodą wodociągową (Brouwer 1945), a następnie hodowano w kulturach wodnych do 17 dnia życia (Broyer i Hoagland 1943). Wyhodowane w ten sposób rośliny były zielone, posiadały trzy liście, korzenie jasne, dobrze rozwinięte i nie wykazywały żadnych objawów niedożywienia.

2. Właściwe doświadczenie (24-godzinne) z pobieraniem wody i jonów przeprowadzono w fotostacie w następujących warunkach: światło białe, 16 świetlówek po 40 W z góry, intensywność 3500—4000 luksów, temperatura 23—25°C, wilgotność względna powietrza około 45%.

Badano pobieranie wody i jonów przy silnej i zahamowanej transpiracji. Warunki silnej transpiracji otrzymano przez umieszczenie roślin w fotostacie. Zahamowanie transpiracji realizowano przez nakrycie roślin wysokimi zlewkami (poj. 800 ml) odwróconymi dnem do góry, co zwiększało wilgotność względną powietrza do około 100%. Po godzinie na ścianach zlewek pojawiały się krople wody, u roślin zaś występowała guttacja.

Użyto pożywki Broyera i Hoaglanda (1943) o składzie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — 5 mM, KNO_3 — 2,5 mM, KH_2PO_4 — 0,5 mM, woda 1000 ml; oraz roztworu Michaela (Michael i Wilberg 1951) o składzie: KNO_3 — 4 mM, LiNO_3 — 4 mM, woda 1000 ml. Oba roztwory sporządzono na wodzie destylowanej.

Do kalibrowanych zlewek o pojemności 250 ml odmierzano pipetą po 200 ml pożywki po czym na zlewkach umieszczano pokrywki z roślinami, których korzenie płukano uprzednio w wodzie destylowanej. Następnie uzupełniano płyn w zlewkach wodą destylowaną, do poziomu 250 ml.

Pobieranie wody określano z różnicy objętości pożywki przed i po doświadczeniu.

Pobieranie soli mineralnych mierzono metodą Pantanellego (1915); po skończeniu doświadczenia pożywkę przenoszono ilościowo do kolb miarowych, dopełniano do kreski, a następnie analizowano i oznaczano pobieranie jonów z różnicy stężeń w pożywce przed i po doświadczeniu.

Analiza pożywek: azotany i fosforany oznaczano kolorymetrycznie na fotometrze Pulfricha z przystawką Elpho — 2. Azotany oznaczano przy użyciu kwasu fenylodwusulfonowego, fosforany zaś z molibdenianem amonu (Babko, Pilipienko 1955). Potas i lit oznaczano fotometrycznie na fotometrze płomieniowym Zeissa.

Doświadczenia z zastosowaniem 2,4-dwunitrofenolu (DNP) przeprowadzono w podobny sposób, ale oprócz warunków transpiracji różnicowano także pożywkę przez dodanie 10^{-5} M DNP (Brouwer 1954).

Doświadczenia przeprowadzono w 5—6 powtórzeniach, przy statystycznym obliczaniu wyników posługiwano się metodą serii niezależnych, o jednej lub dwu zmiennych, dla doświadczeń wazonowych (Ulińska 1957) przy współczynniku ufności $P = 0,05$ wg Studenta i Snedecora.

Ponadto dokonano procentowych przeliczeń pobierania wody i jonów przy zahamowanej transpiracji, względnie przy zastosowaniu DNP, w stosunku do pobierania przy silnej transpiracji.

PRZEBIEG I WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

1. Pobieranie wody i jonów przy różnej intensywności transpiracji.

Doświadczenia przeprowadzono na siewkach pszenicy, owsa i jęczmienia, na pożywce Broyera i Hoaglanda oraz na roztworze Michaela, w warunkach silnej i zahamowanej transpiracji. Dokonano pomiarów pobierania wody (w ml), oraz azotanów, fosforanów, potasu i litu (w mM), co umożliwiało ilościowe porównanie pomiędzy poszczególnymi jonami. Następnie dokonano procentowych przeliczeń otrzymanych w ten sposób wyników pobierania wody i jonów przy zahamowanej transpiracji, w stosunku do pobierania przy silnej transpiracji; otrzymane dane przedstawiono na diagramach.

a. Doświadczenia na pożywce Broyera i Hoaglanda

Wyniki: woda oraz jony NO_3^- , PO_4^{3-} i K^+ były przez siewki zbóż pobierane w większych ilościach przy silnej transpiracji, niż przy zahamowanej. Analiza zmienności wykazała, że różnice te były istotne i przekraczały przedział ufności.

b. Doświadczenia na roztworze Michaela

Wyniki: woda oraz jony K^+ i Li^+ były przez siewki zbóż pobierane w większych ilościach przy silnej transpiracji, niż przy zahamowanej. Analiza zmienności wykazała, że różnice te były istotne i przekraczały przedział ufności.

Wyniki doświadczeń, przeliczone procentowo, przedstawiono na diagramie 1.

2. Wpływ DNP na pobieranie wody i jonów przy różnej intensywności transpiracji.

Doświadczenia przeprowadzono na siewkach pszenicy, owsa i jęczmienia na pożywce Broyera i Hoaglanda, w warunkach silnej i zahamowanej transpiracji, oraz z zastosowaniem DNP (zarówno w warunkach transpiracji silnej jak zahamowanej). Dokonano pomiarów pobierania wody, oraz jonów azotanowych i fosforanowych. Wyniki przeliczono w ten sam sposób jak w doświadczeniach poprzednich.

Fig. 1. Zależność pobierania wody i soli mineralnych od intensywności i transpiracji, w %

Pobieranie przy silnej transpiracji — 100; pobieranie przy zahamowanej transpiracji — X
A — pożywka Broyera i Hoaglanda; B — pożywka Michaela. 1 — pszenica; 2 — owies; 3 — jęczmień

Water and mineral salts uptake vs. transpiration intensity (%)

Uptake under intensive transpiration — 100; uptake during inhibited transpiration — X
A — Broyer and Hoagland's nutrient medium; B — Michael's nutrient medium. 1 — wheat; 2 — oats; 3 — barley

Fig. 2. Zależność pobierania wody i soli mineralnych od intensywności transpiracji i DNP, w %

Pobieranie przy silnej transpiracji bez DNP — 100; I — transpiracja zahamowana; II — transpiracja silna + DNP; III — transpiracja zahamowana + DNP
1 — pszenica; 2 — owies; 3 — jęczmień

Water and mineral salts uptake vs. transpiration intensity and DNP (%)

Uptake under intensive transpiration without DNP — 100; I — transpiration inhibited; II — transpiration intensive + DNP; III — transpiration inhibited + DNP
1 — wheat; 2 — oats; 3 — barley

Wyniki. Woda, oraz jony NO_3^- i PO_4^{3-} były pobierane przez siewki zbóż w większych ilościach przy silnej transpiracji niż przy zahamowanej, oraz w większej z pożywek bez DNP niż z DNP; różnice te były istotne i przekraczały przedział ufności. Analiza zmienności wykazała istotny wpływ intensywności transpiracji oraz dodatku DNP do pożywki na pobieranie tych substancji, nie zostało natomiast udowodnione współdziałanie obu tych czynników.

Wyniki doświadczeń, przeliczone procentowo, przedstawiono na diagramie 2.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że pobieranie wody i jonów przez pszenicę, owies i jęczmień zależne było od intensywności transpiracji, ale zależność ta nie była wprost proporcjonalna. Wniosek ten zgodny jest z poglądem Gumińskiego (1958), wyrażonym w pracy nad mechanizmem pobierania soli mineralnych przez korzenie roślin.

Ponieważ w warunkach, w jakich przeprowadzono doświadczenia, zmiany intensywności transpiracji oddziaływały na pobieranie, zaistniała możliwość (wg Russella i Schorrocksa 1959) podzielenia pobranej wody i jonów na dwie kategorie:

1. pobieranie niezależne od transpiracji — czynne (ilość pobrana przy zahamowanej transpiracji),
2. pobieranie na skutek transpiracji — bierne (można je wyliczyć przez odjęcie od ilości pobranej przy silnej transpiracji, ilości pobranej przy zahamowanej transpiracji).

Zależność pobierania wody i soli mineralnych od intensywności transpiracji przedstawiono na diagramie 1. Okazało się, że w pobieraniu wody, pobieranie czynne wynosiło od 15—22%, w pobieraniu jonów natomiast 39—85%. Wynika z tego, że w pobieraniu wody przeważa proces bierny, w pobieraniu zaś jonów podobny ilościowo udział biorą oba procesy.

Zależność pobierania wody i soli mineralnych od intensywności transpiracji i DNP przedstawiono na diagramie 2. Okazało się, że wyniki przedstawionych tu doświadczeń stanowią potwierdzenie wyników doświadczeń poprzednich. W pobieraniu wody przeważa proces bierny, gdyż zahamowanie transpiracji (czyli odcięcie procesu biernego) zmniejsza jej pobieranie do 13—20% w stosunku do pobierania przy silnej transpiracji, natomiast zastosowanie DNP (czyli odcięcie procesu czynnego) do 72—89%.

Wyniki te zgodne są z badaniami Gumińskiego, Badury i Buczka (1959), którzy na pomidorach i kukurydzy udowodnili, że pobieranie wody zależne jest od oddychania i może być częściowo zahamowane przez zastosowanie inhibitorów oddechowych, względnie fosfo-

Fig. 3. Stosunek jonów pobranych do wyliczonych (wg Michaela)

Pobieranie przy silnej transpiracji; pobieranie biernie 0—100; pobieranie czynne 100 —
Ilość jonów wyliczonych — 100%; ilość jonów pobranych — X. A — pożywka Broyera i Hoag-
landa; B — pożywka Michaela. 1 — pszenica; 2 — owies; 3 — jęczmień

Ions taken up vs. ions calculated (after Michael)

Uptake under intensive transpiration conditions; passive uptake 0—100; active uptake 100 →
Amount of ions calculated — 100%; amount of ions taken up — X

A — Broyer and Hoagland's nutrient medium; B — Michael's nutrient medium. #
1 — wheat; 2 — oats; 3 — barley

Fig. 4. Podział pobierania wody (ml) i jonów ($\mu\text{M} \times 10^{-3}$) na czynne i biernie

S — suma pobrania czynnego i biernego (w warunkach transpiracji silnej); A — pobe-
ranie czynne (w warunkach transpiracji zahamowanej); B — pobieranie biernie (w wa-
runkach transpiracji silnej + DNP); C — pobieranie jonów (w warunkach transpiracji za-
hamowanej + DNP). 1 — pszenica; 2 — owies; 3 — jęczmień

Active and passive water (ml) and ions ($\mu\text{M} \times 10^{-3}$) uptake

S — sum of active and passive uptake (in intensive transpiration conditions), A — active
uptake (in inhibited transpiration conditions), B — passive uptake (in intensive transpiration
+ DNP conditions), C — ions uptake (in inhibited transpiration + DNP conditions). 1 — whaet;
2 — oats; 3 — barley

rylacyjnych (np. KCN, DIECA, DNP). Jony pobierane są zarówno w sposób czynny, jak bierny, gdyż zahamowanie transpiracji zmniejszało ich pobieranie do 42—83%, zaś zastosowanie DNP do 61—72% w stosunku do pobierania przy silnej transpiracji bez DNP.

Dodatkowo sporządzono diagram 3 przedstawiający wyliczenie czynnego i biernego pobierania jonów wg Michaela (1959). Michael uważał, że roślina pobiera w sposób bierny te jony, które wciąga wraz z pobranym przez siebie roztworem. Znając więc objętość pobranej przez rośliny pożywki, oraz stężenie rozpuszczonych w niej jonów, wyliczał ilość jonów pobranych biernie. Następnie porównywał on ilość jonów wyliczonych (pobranych biernie) z tą ilością jonów, jaką rośliny pobrały w rzeczywistości (obliczoną z różnicy zawartości jonów w pożywce przed i po doświadczeniu z pobieraniem). Jeżeli ilość jonów pobranych przez roślinę była równa, lub mniejsza od ilości wyliczonej, Michael uważał jon za pobierany biernie. Jeżeli natomiast ilość jonów pobranych była większa od wyliczonej, to wnioskował, że jon pobierany jest czynnie.

Z danych przedstawionych na diagramie 3 wynika, że potas, azotany i fosforany pobierane są czynnie, lit natomiast biernie, co jest zgodne z badaniami Hylmö (1958), Michaela (1959) i Nowotny-Mieczyskiej (1965).

Podział pobierania wody i jonów na czynne i biernie przedstawiono na diagramie 4 przy pomocy następującego równania:

$$S = (A + B) - C$$

S — suma pobierania czynnego i biernego, czyli pobieranie przy silnej transpiracji.

A — pobieranie czynne, czyli pobieranie przy zahamowanej transpiracji, gdyż ograniczenie transpiracji odcina pobieranie biernie.

B — pobieranie biernie, czyli przy silnej transpiracji przy zastosowaniu DNP, który odcina pobieranie czynne związane z fosforylacją oksydacyjną, którą DNP rozkojarza, pozostaje zaś pobieranie biernie.

C — pobieranie, którego nie udało się wyłączyć, ani przez ograniczenie transpiracji, ani przez zastosowanie DNP (przy zahamowanej transpiracji + DNP).

Wielkość C jest wynikiem tego, że pobieranie wody i jonów przy zahamowanej transpiracji + DNP, jednak istniało. Nie wyłączono bowiem całkowicie pobierania: (1) biernego, ponieważ pomiarów dokonywano przy transpiracji zahamowanej, nie zaś przy braku transpiracji, ani (2) czynnego, ponieważ pomiarów dokonywano przy dawce DNP 10^{-5} mola, która jedynie hamowała pobieranie czynne, nie eliminując go całkowicie, gdyż nie była dawką letalną. Jak wynika z danych przedstawio-

nych na diagramie 4, suma ($A + B$) jest prawie zawsze większa od S . Nie obserwuje się tego jedynie przy pobieraniu wody przez jęczmień, ale różnica jest nieznaczna (4 ml). Wielkości ($A + B$) — C zbliżone są do wielkości S , co potwierdza zgodność wyników doświadczeń z przedstawioną powyżej koncepcją.

Porównanie pobierania wody przez poszczególne zboża

Jak wynika z danych przedstawionych na diagramie 2 czynne pobieranie wody wynosiło dla pszenicy 13%, dla owsa zaś i jęczmienia 20%. Natomiast pobieranie biernie wynosiło dla jęczmienia 72%, dla pszenicy zaś i owsa 89%. Nie stwierdzono więc istotnych różnic pomiędzy czynnym i biernym pobieraniem wody przez siewki poszczególnych zbóż.

Porównanie pobierania jonów przez poszczególne zboża

Ponieważ bezpośrednio porównanie pobierania jonów daje słaby obraz różnic pomiędzy poszczególnymi zbożami, wyliczono więc (przez podzielenie) stosunek procentu czynnego i biernego pobierania jonów (dane z diagramów 1 i 2) do ilości wody pobranej przez rośliny przy silnej transpiracji.

Tabela 1

Przeliczenie procentu czynnego pobierania jonów na ilość pobranej wody

The calculated percent of active ion uptake from the amount of water absorbed

Jon Ion	Termin doświadczenia Time of expt.	Pszenica Wheat	Owies Oats	Jęczmień Barley
NO ₃ ⁻	1964	0,71	1,19	1,48
	1965	0,53	0,95	1,46
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	1964	0,86	1,13	1,04
	1965	0,63	1,48	1,64
K ⁺	1964	0,81	1,21	1,54
Li ⁺	1964	0,51	0,72	0,55

Wyniki tych przeliczeń przedstawiono w tabeli 1 i 2. Z danych przedstawionych w tabelach 1 i 2 wynika, że stosunek zarówno czynnego, jak i biernego pobierania jonów azotanowych, fosforanów i potasu do ilości pobranej wody, inny był u pszenicy, aniżeli u dwóch pozostałych

Tabela 2

Przeliczenie procentu biernego pobierania jonów na ilość pobranej wody

The calculated percent of passive ion uptake from the amount of water absorbed

Jon Ion	Termin doświadcz- nia Time of expt.	Pszenica Wheat	Owies Oats	Jęczmień Barley
NO ₃ ⁻	1965	0,84	1,29	1,42
PO ₄ ⁻⁻⁻	1965	0,86	1,09	1,24

zbóż. U pszenicy stosunek ten był mniejszy od jedności (wahał się w granicach 0,53—0,86), u owsa zaś i jęczmienia około jedności, lub większy (0,95—1,64).

Natomiast przy pobieraniu litu stosunek ten był u wszystkich badanych zbóż podobny (0,51—0,72).

Katedra Fizjologii Roślin
Wyższej Szkoły Rolniczej
we Wrocławiu

(Wpłynęło: 17.II.1967 r.)

SUMMARY

Water, nitrates, phosphates, potassium and lithium uptake by 17-day-old wheat (*Triticum vulgare*), oat (*Avena sativa*) and barley (*Hordeum vulgare*) seedlings was investigated under conditions of intensive and of inhibited transpiration (45 and 100% relative air humidity, respectively).

Active (independent of water movement) and passive (dependent on transpiration) water uptake were distinguished. In order to separate more precisely both these processes, an oxydative phosphorylation inhibitor, 2,4-dinitrophenol, inhibiting active uptake was used.

The following conclusions may be advanced on the basis of the experiments performed:

1. Water and ions uptake by wheat, oats and barley were dependent on the intensity of transpiration, but not directly proportional to it.

2. Water uptake proved to be in most cases (72—89%) a passive process as compared to 13—20 percent of active cases.

3. In ions uptake the share of the active (39—85%) and passive process (61—72%) was similar.

4. Comparison of the ions uptake by the particular cereals proved that the ratio of active and passive ions uptake to the amount of water consumed simultaneously by the plants (mM/ml) was for nitrates, phosphates and potassium always smaller than unity (0.53—0.86); for wheat; for oats and barley it amounted to about one or more (0.95—1.64). The ratio of lithium uptake to water uptake was similar for all the three cereals examined (0.51—0.72).

LITERATURA

- Babko A. K., Pilipienko A. T. 1955, Analiza kolorymetryczna. Warszawa. PWT: 340.
- Brouwer R., 1953, Transpiration and anion uptake. Proc. Kon. Nederl. Ak. Wetensch. C 56:639—649.
- Brouwer R., 1954, The regulating influence of transpiration and suction tension on the water and salt uptake by the roots of intact *Vicia faba* plants. Acta Bot. Néerl. 3:264—312.
- Brouwer R., 1956, Investigations into the occurrence of active and passive components in the ion uptake by *Vicia faba*, Acta Bot. Néerl. 5(4):287—314.
- Broyer T. C., Hoagland D. R., 1943, Metabolic activities of roots and their bearing on the relation of upward movement of salt and water in plants., Amer. Journ. Bot., 30:261—273.
- Freeland R. O., 1936, Effect of transpiration upon the absorption and distribution of mineral salt in plants, Amer. J. Bot. 23:355—362.
- Freeland R. O., 1937, Effect of transpiration upon the absorption of mineral salts, Amer. J. Bot. 24:373—376.
- Gumiński S., 1958, O mechanizmie pobierania soli mineralnych przez korzenie roślin, Postępy Biochemii. IV. 3:301—312.
- Gumiński S., Badura L., Buczek J., 1959, Studium porównawcze oddychania korzeni kukurydzy i pomidorów, Acta Soc. Bot. Pol. 28, 4:705—726.
- Hoagland D. R., 1944, Lectures on the inorganic nutrition of plants, Chronica Bot. Comp. Waltham, Mass.
- Hoagland D. R., Broyer T. C., 1936, General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods, Plants Physiol. 11:471—507.
- Hylmö B., 1953, Transpiration and ion absorption, Physiol. Plantarum. 6:333—405.
- Hylmö B., 1955, Passive components in the ion absorption of the plant. I. The zonal ion and water absorption in Brouwer's experiments, Physiol. Plantarum. 8:433—449.
- Hylmö B., 1958, Passive components in the ion absorption of the plant. II. The zonal water flow, ion passage, and pore size in roots of *Vicia faba*, Physiol. Plantarum 11:382—398.
- Kihlman-Falk E., 1961, Components in the uptake and transport of high accumulative ions in wheat, Physiol. Plantarum. 14:417—438.
- Kramer P. J., 1949, Plant and soil water relationships. Mc Graw-Hill Book Company, INC, New York, Toronto, London. 347.
- Kylin A., Hylmö B., 1957, Uptake and transport of sulphate in wheat. Active and passive components, Physiol. Plantarum. 10:467—484.
- Lundegårdh H., 1945, Absorption, transport and exudation of inorganic ions by the roots, Ark. f. Bot., 32A:1—139.
- Lundegårdh H., 1958, Investigations the mechanism of absorption and accumulation of salts, Physiol. Plantarum, 11:332—346.
- Lundegårdh H., 1960, Anion respiration. Encyclopedia of plant physiology Ruhland. XII/2:185—233.
- Lundegårdh H., Burström, 1935, Biochem. Zeschr. 277:223—249.
- Michael G., 1959, Über das Wahlvermögen der Pflanzen bei der Mineralstoffaufnahme. Deutsch. Acad. d. Landwirt, Berlin. 8. z IV.
- Michael G., Wielberg E., 1951, Untersuchungen über die Stoffaufnahme der höheren Pflanze. II Die Lithiumaufnahme bei Roggenkeimpflanzen. Z. Pflanzenernähr., 52:242—258.

- Nowotny-Mieczyska A., 1965, Fizjologia mineralnego żywienia roślin. PWR i L. Warszawa: 601.
- Pantanelli E., 1915, Über Ionenaufnahme. Jb. Wiss. Bot. 59:689—733.
- Pettersson S., 1960, Ion absorption in young sunflower plants I. Uptake and transport mechanism for sulphate. *Physiol. Plantarum*, 13:133—147.
- Pettersson S., 1961, Ion absorption in young sunflower plants. II. The sulphate uptake in the Apparent Free Space. *Physiol. Plantarum*. 14:124—132.
- Russell R. S., Shorrocks v. 1959, The relationship between transpiration and the absorption of inorganic ions by intact plants. *Journ. Exper. Bot.*, 10:301—316.
- Sutcliffe J. F., 1962, Mineral salt absorption in plants. Pergamon Press. Oxford, London, New York, Paris.: 194.
- Ulińska M., 1957, Technika obliczeń przy opracowywaniu wyników doświadczeń rolniczych. PWR i L. Warszawa.: 103.
- Wright K. E., 1939, Transpiration and absorption of mineral salts. *Plant Physiol.* 14:171—174.