

LESZEK MALICKI

Katedra Ogólnej Uprawy Roli i Roślin WSR w Lublinie

WPLYW WILGOTNOŚCI GLEBY NA KORZENIE ROŚLIN

Korzenie pobierają z gleby pokarmy i wodę, które następnie przewodzą do pędów, mogą służyć jako organy zapasowe i wreszcie umacniają roślinę w glebie (22). Z rolniczego punktu widzenia należałoby dodać jeszcze dwie niezmiernie ważne funkcje: udział w procesach glebowych oraz zaopatrywanie gleby w materię organiczną (18, 19).

Gleba wpływa na roślinę głównie przez system korzeniowy (22), nie więc dziwnego, że o zachowaniu się części nadziemnych w wielu wypadkach decydują czynniki działające na wzrost, rozmieszczenie i aktywność korzeni, czyli na zdolność rośliny do pobierania związków mineralnych i wody (4). Czynniki te tworzą układ bardzo złożony, o nieograniczonej wprost liczbie możliwych kombinacji. Ponadto, jak twierdzi Szennikow (24), gleba, nadziemne części roślin i system korzeniowy znajdują się w nieustannie zmiennej współzależności. Dlatego interpretacja przyczyn powstania określonego systemu korzeniowego rośliny nie zawsze może być jednoznaczna. W dodatku bardzo trudno jest badać korzenie roślin w warunkach polowych (2, 11, 12, 16, 20). Wszystko to sprawia, że nasze wiadomości o związkach systemu korzeniowego z warunkami glebowymi nie są pełne. Zasadniczym czynnikiem, jak się wydaje, jest tu jednak wilgotność gleby (4, 6, 13, 22, 23, 24, 25), co nie oznacza oczywiście, aby wyodrębniając to zagadnienie można było nie doceniać innych warunków siedliska, zwłaszcza edaficznych.

W doświadczeniu H a r r i s a (4) ze wzrostem wilgotności gleby z 11 do 15% i z 15 do 20% zwiększała się masa korzeni siewek kukurydzy. Wynik ten pokrywa się z danymi otrzymanymi przez kilku innych badaczy krajów zachodnich, a także krajowych. Na przykład w doświadczeniach D z i e ż y c a i R o j k a (7) oraz T r y b a ł y (27) zwiększenie wilgotności gleby drogą deszczowania spowodowało znaczną zwyżkę masy korzeni buraków. T r y b a ł a (27) stwierdził silną dodatnią reakcję marchwi pastewnej na nawadnianie. Dawka 120 mm wody połączona z pojedynczą dawką nawozów (NPK) zwiększyła mianowicie masę korzeni o 25%, a z 3 NPK o 40%. W pracy W e r k i (28) nawadnianie deszczowniane podniosło plon marchwi jadalnej z 267 do 422 q/ha, niezależnie od poziomu nawożenia mineralnego. P a w ł o w s k i i M a l i c k i (21) zaobserwowali, że koniczyna czerwona w mieszance z trawami tworzyła

istotnie więcej korzeni w wilgotniejszych dolinach, niż na suchszych zboczach i wierzchowinach falistych terenów lessowych. Podobnie kształtowała się masa korzeni pszenicy ozimej, jednak w tym wypadku związek pomiędzy tą cechą a wilgotnością gleby był słabszy. W innych doświadczeniach (17) kukurydza pastewna uprawiana na glebie lessowej, której wilgotność starano się utrzymać na poziomie powyżej 70% polowej pojemności wodnej (największe sumaryczne dawki wody) wytworzyła więcej korzeni niż w naturalnych warunkach wilgotnościowych oraz deszcz-

Tabela

Masa korzeni kukurydzy (średnio w latach 1965–1967)

Deszczowanie	Sucha masa w q/ha	Stosunek korzeni do masy nadziemnej
Bez deszczowania	20,1	0,140
Ciągłe	23,0	0,157
W okresach krytycznych	19,4	0,124
Najmniejsza istotna różnica (p=0,05)	3,0	0,008

czowana tylko w okresach krytycznych (tab.). O takim układzie średnich wieloletnich zdecydował jednak tylko suchszy 1967 r., bowiem w latach 1965 i 1966 dawki wody, małe zresztą w stosunku do naturalnego opadu, nie wpływały na masę korzeni, bądź nawet, chociaż w sposób nieistotny, ją obniżały. Wpływ deszczowania na inne badane rośliny, to jest jęczmień jary, pszenicę ozimą i mieszanę roślin strączkowych, okazał się słabszy niż działanie kompleksu warunków sezonowych. Dodatni wpływ wilgotności gleby na korzenie kukurydzy uwidocznił się też wyraźnie w wazonowych badaniach Dzieżycy i współpracowników (8). A mianowicie zasuszanie w najwcześniejszych okresach powodowało przeważnie największe ograniczenie masy korzeni roślin, a w najpóźniejszych — najmniejsze, z tym jednak, że układ ten zależał również od lat i poziomu nawożenia. Doświadczenie to wykazuje znaczenie rozkładu wilgotności gleby w czasie.

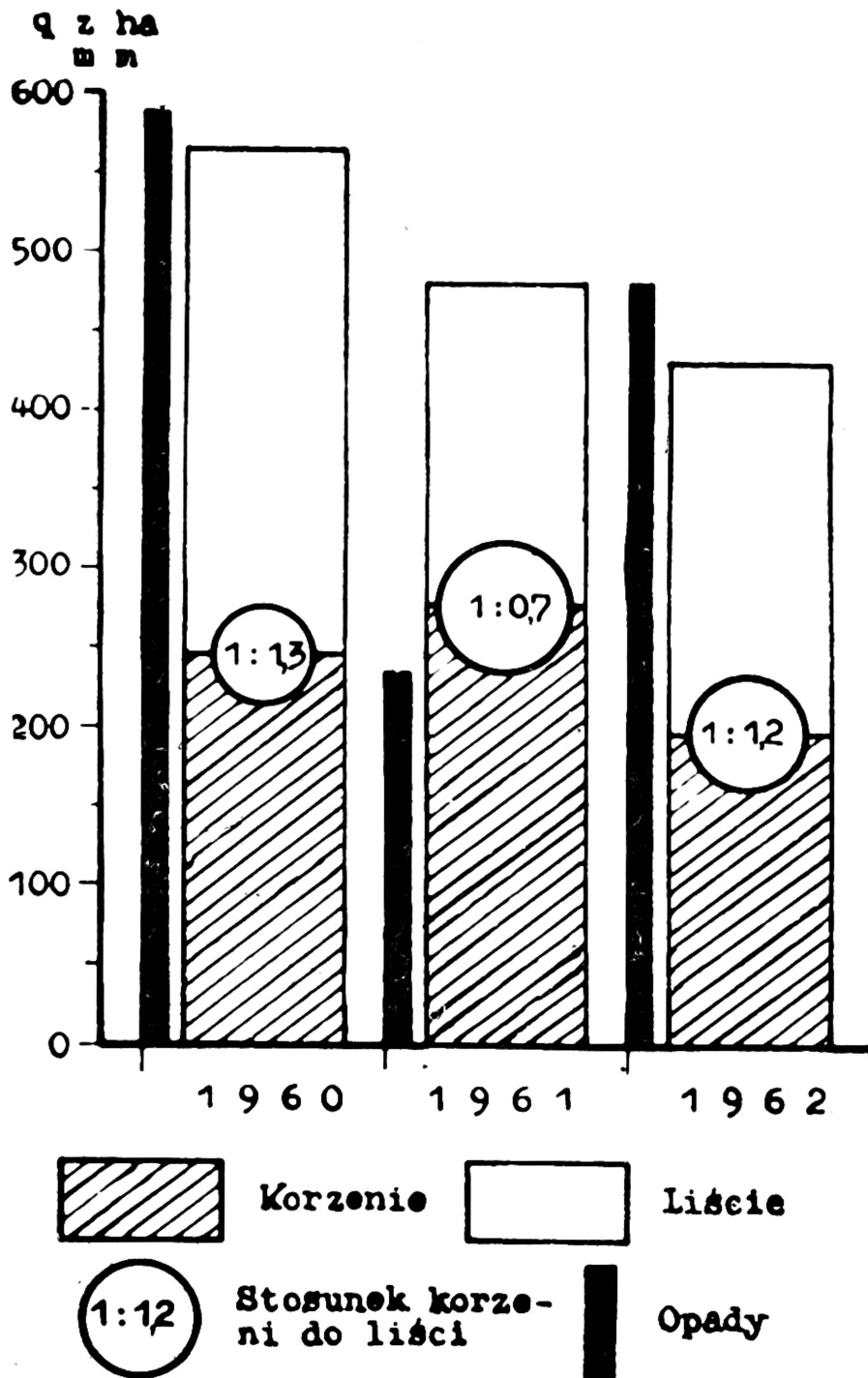
Należy dodać, iż dla charakterystyki systemu korzeniowego, oprócz ogólnej masy, ważna jest ilość korzeni drobnych (24, 25, 26), gdyż są one najczynniejsze w pobieraniu wody i związków mineralnych z gleby. Janus (9) uzyskał pod wpływem deszczowania wyraźny wzrost masy korzeni o średnicy mniejszej od 1 mm, w wierzchniej (0—10 cm) warstwie gleby. Wzrost ten był największy na trzykośnej łące, nawadnianej największą dawką wody (40 mm).

Przytoczone wyniki świadczą o korzystnym wpływie deszczowania na korzenie roślin. Jest to o tyle uzasadnione, że mogą one intensywnie rosnąć tylko w wilgotnej glebie, chociaż dotychczas mało wiemy o maksymalnej sile ssącej pozwalającej się im jeszcze rozwijać. Zwykle wzrost korzeni ustaje w glebie wysuszonej do punktu wędnięcia roślin, tj. gdy gleba utrzymuje wodę z siłą ssącą rzędu 7—10 atmosfer. R o d e r s (22) stwierdził jednak zahamowanie wzrostu korzeni jabłoni przy sile ssącej gleby równej pół atmosfery.

W przytoczonym już doświadczeniu H a r r i s a (4) podwyższanie zawartości wody w glebie z 20 do 30 i z 30 do 38% ograniczało wzrost korzeni w porównaniu z maksymalnym, stwierdzonym przy 20%. Również w doświadczeniu M a l i c k i e g o (17) wystąpiła bardzo wyraźna odwrotna zależność pomiędzy masą korzeni kukurydzy a wilgotnością gleby kształtowaną przez opady w okresie wegetacji. Silne uwilgocenie bowiem nie tylko nie stanowi bodźca, ale wręcz hamuje wzrost korzeni (4, 14, 22, 23, 24, 25), chociaż zjawisko to nie zostało właściwie wyjaśnione. Argument, że w tych warunkach rośliny nie potrzebują dużej powierzchni chłonnej dla zaopatrzenia pędów w wodę niczego nie wyjaśnia. Powodem może być fakt bujnego wzrostu pędów, przerywającego częściowo lub całkowicie dopływ cukrów do korzeni. Drugą przyczyną ujemnego wpływu wilgoci może być zwiększająca się ilość wody w glebie, która ogranicza objętość przestworów wypełnionych powietrzem, zmniejszając w ten sposób zaopatrzenie w tlen, co z kolei hamuje rozrost korzeni.

B a t a l i n (2) przytacza przykład silnego rozwoju korzeni spowodowanego małą ilością wody. Skutkiem jesiennej posuchy w 1951 r., sucha masa korzeni wyki kosmatej z żytem w 1952 r. na polach ZD Mochełek podniosła się w niektórych wypadkach do 110 q/ha, podczas gdy w poprzednich latach wynosiła najwyżej 30—40 q/ha. Natomiast w bardzo suchym roku 1959 tylko pewne gatunki roślin reagowały na brak wody zwykłą ilością masy korzeniowej. Również autor (15) stwierdził dodatni wpływ przesuszenia gleby, oczywiście tylko w pewnych granicach, na masę korzeni buraków cukrowych (rys.). Zgadza się to z poglądem K ö h n l e i n a i V e t t e r a (12), że niedobór wody w glebie wpływa na powstawanie obfitszego systemu korzeniowego.

Jak z powyższych przykładów wynika, rezultaty doświadczeń są sprzeczne. Z jednej strony zwiększenie ilości wody do pewnego momentu powoduje lepszy wzrost korzeni, nadmierne zaś uwilgocenie, jak również zbyt daleko posunięty niedobór wody w glebie ograniczają ich rozwój. Z drugiej strony wyniki badań wskazują na korzystny wpływ niedoboru wody. Wnioski te są we wszystkich wypadkach zgodne z materiałem empirycznym. Sprzeczność można by tłumaczyć różnym minimum, optimum i maximum uwilgocenia gleby każdego gatunku (czy nawet odmiany) ro-



Rys. Plony buraków cukrowych na tle sumy opadów w okresie wegetacji

śliny, czemu jednak stoi na przeszkodzie fakt zróżnicowania reakcji tego samego gatunku (np. burak cukrowy).

Jedynym logicznym uzasadnieniem może być twierdzenie Listowskiego (13) o różnokierunkowym krytycznym oddziaływaniu na korzenie zarówno braku, jak i nadmiaru wody w różnych fazach ontogenezy. Niestety interpretacja wyników ściśle w myśl tego założenia jest bardzo złożona i nie zawsze możliwa. Jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę, że korzenie nie rozwijają się samoistnie, lecz w ścisłym związku z częścią nadziemną i będziemy rozpatrywali nie ich wzrost wyrażony w liczbach bezwzględnych, lecz w wielkościach względnych, odniesionych do całkowitej masy roślin lub części nadziemnych, wtedy ta pozorna sprzeczność zniknie.

Stosunek korzeni do nadziemnej masy kształtuje się różnie u różnych gatunków. U większości roślin uprawnych waha się na ogół od 10 do 1, a u ogórków i dyni spada do 0,05 (6). Zazwyczaj im wartość tego stosunku jest mniejsza, tym większą wrażliwość wykazuje roślina na niedobór wody w glebie. Wielkość wskaźnika zmienia się też u roślin tego samego gatunku zależnie od warunków wilgotnościowych — maleje w określonych granicach ze wzrostem wilgotności. Jak podają Curtis i Clark (4) wzrost wilgotności prawie zawsze zmniejsza względny wzrost korzeni, a zwiększa względny wzrost pędów, niezależnie od tego, czy rzeczywista masa korzeni zwiększa się czy maleje. Pogląd ten jest zgodny ze zdaniem Dzieżyca (6) i Strebeyki (23) oraz z rezultatami badań. Na przykład w jednym z doświadczeń (21) wraz ze zwiększającą się wilgotnością gleby malał stosunek masy korzeni do części nadziemnych mieszanki konicznej czerwonej z trawami. Podobne zjawisko, choć mniej wyraźnie, zachodziło u pszenicy ozimej. Analogiczne rezultaty u warzyw uzyskał Dufek (5). W doświadczeniach Malickiego (17, 18) wzrostowi wilgotności gleby wywołanemu opadami i deszczowaniem towarzyszyło zwięźnięcie się stosunku korzeni do masy nadziemnych części kukurydzy. Należy dodać, że decydująca w tym względzie była nie ilość, lecz rozkład opadów. Najmniej korzeni w stosunku do masy nadziemnej wytworzyła bowiem ta roślina deszczowana w okresach krytycznych, istotnie najwięcej w wariancie tzw. deszczowanym ciągle, tj. zawsze, ilekroć wilgotność warstwy uprawnej spadła poniżej 70% połowej pojemności wodnej (tab). Wg Batalina (1), w jednakowych warunkach cieplnych i dostatecznej zasobności gleby w składniki pokarmowe, na glebach w kulturze, rośliny uprawne wytwarzają w przybliżeniu jednakową ilość substancji organicznej i w zależności od warunków wilgotnościowych lokują ją w swych organach nad- lub podziemnych. Prawidłowość tę potwierdziły nasze doświadczenia (15) z burakami (rys.).

Omówiony związek pomiędzy masą korzeni i nadziemnych części roślin jest zrozumiały. W warunkach wilgotnej gleby, jak podaje Strebeyko (23), zaopatrzenie pędu w wodę nie napotyka trudności. Pęd może się szybko rozwijać, a przez to pochłania większe ilości produktów fotosyntezy, co z kolei powoduje pewne ograniczenie wzrostu korzeni. Stosunek masy korzeni do masy pędów maleje. Natomiast w glebie suchej, gdy roślina walczy o wodę, lepiej są w nią zaopatrzone korzenie niż pędy. Korzenie rosą więc szybciej i pochłaniają więcej produktów fotosyntezy, a wzrost pędów ogranicza niedostatek wody. W rezultacie stosunek korzeni do pędów wzrasta. Podobne stanowisko zajmują i inni autorzy (4, 22).

Jak wykazały liczne prace (2, 10, 12, 16, 17, 25, 26), główna masa korzeni roślin uprawnych, bo od 75 do 95% gromadzi się w warstwie gleby od 0 do 20—25 cm. Wielu badaczy przyjmuje, że jest to najbardziej czyn-

na część korzeni, umożliwiającą w maksymalnym stopniu zaopatrzenie roślin w wodę i związki odżywcze. Na rozmieszczenie korzeni w profilu glebowym wpływają takie czynniki, jak tekstura, stosunki powietrzne, uprawa itp., ale decydującą rolę, tak jak i w przypadku ogólnej masy, odgrywa wilgotność gleby. Nieznaczna głębokość przenikania korzeni w głąb, pomijając fizyczne warunki podglebia czy skały macierzystej (zbitość, rudawiec itp.) wywołana jest przede wszystkim suchością warstw głębszych. Maksimow (14) i Russel (22) twierdzą, że charakter rozwoju korzeni odzwierciedla stosunki wilgotnościowe gleby. Rozrost korzeni w głąb i wszczep reguluje rozmieszczenie wody w glebie. Rośliny rosnące w wilgotnej, żyznej glebie mają zwykle płytki system korzeniowy, ponieważ pędy zużywają większość asymilatów. Natomiast susza następująca po zakorzenieniu się rośliny przyczynia się do rozwoju głębokiego systemu korzeniowego, gdyż pierwszą reakcją rośliny na niedobór wody w glebie jest zahamowanie wzrostu części nadziemnych. Weaver (22) zaobserwował, że w miarę zmniejszania się opadów deszczowych z 650 do 400—475 mm korzenie pszenicy spłycały swój zasięg z około 150 cm do 60 cm. Zwiększanie się ilości opadów, począwszy od 800 mm, pociągało za sobą także spłykanie systemu korzeniowego, ponieważ wierzchnie warstwy gleby zabezpieczały roślinom wystarczający zapas wody. Także i w naszych badaniach (21) wzrostowi wilgoci gleby towarzyszyło pewne spłykanie systemu korzeniowego mieszanki koniczyny czerwonej z trawami, polegające na zgromadzeniu większego niż w suchszych stanowiskach odsetka korzeni w warstwie powierzchniowej (0—10 cm). Prawidłowości takiej nie zauważyliśmy u pszenicy.

O intensywności rozwoju i rozmieszczeniu korzeni, wg Dzieżycy (6) i Listowskiego (13), decyduje między innymi wilgoć nagromadzona zimą i rozkład opadów na wiosnę. Gdy wiosna jest sucha, a powierzchniowa warstwa gleby przesuszona, korzenie rosną głębiej. Późniejszą suszę roślina potrafi lepiej przetrzymać, gdyż czerpie wodę z głębszych warstw gleby. Jeśli natomiast wiosną wody jest pod dostatkiem, roślina korzeni się szybciej i bujniej, ale płytko i staje się mniej odporna na późniejszą posuchę.

Oto jak Szklarz (25) reasumuje wyniki badań różnych autorów. Nieznaczna głębokość przenikania korzeni w głąb gruntu może być wynikiem silnego uwilgotnienia tylko wierzchniej warstwy gleby, która sprawia silny rozwój korzeni w tej warstwie i zanikanie ich w suchszych warstwach głębszych. Mała głębokość przenikania korzeni może też być wynikiem częstego przesychania wierzchniej warstwy gleby. Zahamowanie wzrostu korzeni do głębszych warstw ogranicza wykorzystanie głębokiego miąższu gleby, wskutek czego ogranicza pobieranie wody i związków od-

żywczych. Nic więc dziwnego, że plonowanie roślin jest skorelowane z rozwojem korzeni (3).

Skłonność do głębszego zakorzeniania przejawia się tylko w sprzyjających warunkach. Jeśli uwilgocenie jest stałe — wszystkie rośliny korzenia się płytko, a ich systemy korzeniowe lokalizują się w wierzchniej warstwie gleby. Gdy jednak warunki stają się coraz lepsze dla głębokiego zakorzeniania się, wtedy gatunki płytko się korzeniające ograniczają zasięg do wierzchnich warstw, korzeniające się zaś głębiej, rozwijają systemy korzeniowe w coraz to głębszych warstwach, aż do charakterystycznego dla siebie zasięgu (22).

Plastyczność systemu korzeniowego jest szczególnie dobrze widoczna przy nawadnianiu. W doświadczeniu S z k l a r z a (26) wielkość dawki wody deszczownianej różnicowała głębokość uwilgotnienia gleby i rozdział masy korzeniowej roślin łąkowych w profilu glebowym. Małe dawki wody, nawilżające tylko wierzchnią warstwę, powodowały w niej silny rozwój korzeni, hamowały zaś przenikanie ich do warstw głębszych. Większe dawki wody, równomierniej nawilgacające cały profil gleby, stwarzały w nim lepsze warunki rozwoju systemu korzeniowego. Przez obfite, lecz rzadkie nawadnianie, zwłaszcza w początkach okresu wegetacji, można zatem powodować głębsze zakorzenianie się roślin, w następstwie czego eksploatują one większą objętość gleby (22, 25, 26).

Na koniec należy dodać, że warunki wilgotnościowe zmieniają nie tylko masę i rozmieszczenie, lecz także skład chemiczny korzeni. Na przykład S z k l a r z (26) stwierdził, że zwiększenie dawki wody deszczownianej obniżało ilość azotu w korzeniach roślin łąkowych, co tłumaczy zmniejszonym odkładaniem substancji zapasowych. M a l i c k i (17) zaobserwował spadek zawartości fosforu w korzeniach deszczowanej pszenicy. Powszechnie jest znany wpływ nawadniania na jakość roślin korzeniowych — buraków i marchwi. Zmiany te są ważne nie tylko ze względu na bezpośredni wpływ na roślinę jako całość, lecz także i z powodu zmian jakości resztek poźniwnych — głównego źródła materii organicznej gleby (19).

Wnioski

1. Wzrost wilgotności gleby wywołany naturalnymi opadami, jak też i deszczowaniem, zmniejsza względną ilość korzeni, to jest ich udział w całkowitej masie produkowanej przez rośliny. Natomiast zmiany bezwzględnej masy korzeni mogą być różnokierunkowe, w zależności od gatunku roślin i układu pozostałych czynników siedliska.
2. Istnieje możliwość kierowania w pewnym stopniu rozwojem korzeni, a w efekcie rozwojem całej rośliny i jej plonowaniem poprzez two-

zenie odpowiednich warunków wilgotnościowych drogą nawadniania upraw.

3. Wpływ nawadniania na korzenie poszczególnych gatunków roślin wymaga baczniejszej niż dotychczas uwagi, gdyż obecny stan wiedzy krajowej nie pozwala na pełne wyjaśnienie wszystkich problemów i przewidywanie skutków tego zabiegu, a przenoszenie wyników doświadczeń obcych nie zawsze jest możliwe ze względu na odmienne warunki klimatyczno-glebowe.

LITERATURA

1. Batalin M.: Głębokość orki pod poplon ścierniskowy na suchych glebach piaszczystych. Pamiętnik Puławski — Prace IUNG, z. 2, 1961: 3—16.
2. Batalin M.: Studium nad resztkami późniejszymi roślin uprawnych w łanie. RNR. t. 98 — D, 1962: 1—154.
3. Bergmann W.: Über den Einfluss von Umweltfaktoren auf Wurzelwachstum und Ernteertrag. Die Dtsch. Landwirtschaft, 1954: 259—264.
4. Curtis O. F., Clark D. G.: Wstęp do fizjologii roślin. PWRiL, Warszawa 1958.
5. Dufek J.: Vliv vlhkosti půdy na kořenový systém některých druhů zelenin. Sbornik Vysoké Školy Zemědělské v Praze. Ročník 1964.
6. Dzieżyc J.: Deszczowanie roślin. PWRiL, Warszawa 1967.
7. Dzieżyc J., Rojek S.: Wyniki doświadczeń z deszczowaniem roślin okopowych i zbożowych w RZD Samotwór w latach 1962 i 1963. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, nr 4, 1964.
8. Dzieżyc J., Trybała M., Łoziuk W.: Wpływ okresowego zaszuszenia w różnych fazach rozwojowych na plonowanie kukurydzy w wazonach. Z. Problem. Post. Nauk Roln., z. 88, 1968: 163—169.
9. Janus E.: Wstępne wyniki badań wpływu deszczowania i nawożenia na rozwój masy korzeniowej i plonowanie łąki w 1966 r. (Komunikat). Z. Problem. Post. Nauk Roln., z. 88, 1968: 227—235.
10. Knoch H. G., Halfmann H. H., Sievers A.: Jahreszeitliche Entwicklung der Wurzelmasse unter einer Weide in der Kölner Bucht. Z. für Acker und Pflanzenbau. B. 105. H. 2, 1958: 121—144.
11. Kortańska M.: Terenowe metody badania organów podziemnych roślin. Ekologia Polska, seria B, t. XIII, z. 3, 1967: 249—264.
12. Köhnlein J., Vetter H.: Ernterückstände und Wurzelbild. Paul Pary, Hamburg und Berlin 1953: 1—138.
13. Listowski A.: Okresy krytyczne w gospodarce wodnej roślin. Z. Problem. Nauki Polskiej, z. III, Gosp. Wodna Roślin, 1955.
14. Maksimow N. A.: Izobraznyje raboty po zasuchoustojczivosti i zimostojkosti rastienij. Tom I. Moskwa 1952.
15. Malicki L.: Wartość okryw roślinnych w uprawie buraków cukrowych na glebie wytworzonej z lessów. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E, vol. XX, 1965: 133—172.
16. Malicki L.: Oznaczanie masy korzeniowej roślin w warunkach polowych. Z. Problem. Post. Nauk Roln., z. 88, 1968: 17—31.
17. Malicki L.: Masa korzeni niektórych roślin uprawianych na glebie lessowej w warunkach intensywnego nawożenia i deszczowania. W druku w Z. Problem. Post. Nauk Roln.

18. Malicki L.: Wpływ intensywnego nawożenia i deszczowania na niektóre rośliny uprawiane na glebie wytworzonej z lessów. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E. wol. XXIII. 1968: 123—149.*
19. Malicki L.: Nawożenie organiczne a intensyfikacja nawożenia mineralnego. *Post. Nauk Roln., nr 3/4 (117), 1969: 3—9.*
20. Pasela E.: O metodach badania systemu korzeniowego roślin uprawnych. *Post. Nauk Roln., nr 1 (55), 1959: 25—32.*
21. Pawłowski F., Malicki L.: Wilgotność gleby w falistym terenie lessowym a plon i masa korzeniowa pszenicy ozimej oraz mieszanki koniczyny czerwonej z trawami. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E, Vol. XIX, 1964: 263—278.*
22. Russel E. J.: Warunki glebowe a wzrost roślin. PWRiL, Warszawa 1958.
23. Strebeyko P.: Woda jako czynnik kształtujący roślinę. *Z. Problem. Nauki Polskiej, z. III, Gosp. Wodna Roślin, 1955: 33—44.*
24. Szennikow A.: Ekologia roślin. PWRiL, Warszawa 1952.
25. Szklarz W.: Rozwój korzeni w związku z uwilgoceniem gleby. *Post. Nauk Roln., nr 1 (37), 1956: 35—44.*
26. Szklarz W.: Wpływ deszczowania na rozwój korzeni darni łąkowej. *RNR, 73 — F — 2, 1959: 333—359.*
27. Trybała M.: Wpływ różnych dawek wody i nawozów na wysokość i jakość plonów niektórych roślin uprawnych na glebie piaszczystej. *Z. Naukowe WSR we Wrocławiu, Melioracje X, nr 61, 1965: 267—284.*
28. Werka T.: Wpływ orki melioracyjnej, wysokich dawek nawozowych oraz nawodnień deszczownianych na plonowanie ziemniaków i marchwi na glebie piaszczystej. (Komunikat). *Z. Problem. Post. Nauk Roln., z. 88, 1968: 195—203.*