

ZASTOSOWANIE METODY ADSORPCJI-DESORPCJI PARY WODNEJ DO BADAŃ POWIERZCHNI KORZENI

A. Szatanik-Kłoc

Instytut Agrofizyki im B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail Akloc@Demeter.IAPAN.Lublin.pl

Streszczenie. Przedmiotem niniejszej pracy jest przegląd metod stosowanych do określenia powierzchni właściwej korzeni. Głównym jej celem jest jednak pokazanie możliwości, jakie daje metoda pomiaru izoterm adsorpcji-desorpcji pary wodnej i nowe teorie obliczeniowe w zastosowaniu do badań materiału korzeniowego roślin.

Słowa kluczowe: korzeń, adsorpcja- desorpcja pary wodnej, powierzchnia właściwa.

WSTĘP

System korzeniowy pełni w roślinie dwie podstawowe funkcje. Przytwierdza roślinę do podłoża i utrzymuje ją w pozycji pionowej. Może pełnić tą funkcję, dzięki licznym rozgałęzieniom w glebie. Korzenie główne, boczne, przybyszowe, tworzą ogromny system korzeniowy, którego sumaryczna długość i całkowita powierzchnia znacznie przewyższają długość i powierzchnię systemu pędowego. Druga z fizjologicznego punktu, znacznie ważniejsza rola korzeni to pobieranie wody i substancji mineralnych oraz przewodzenie ich do części nadziemnych rośliny. Dla tych procesów szczególnie istotna jest wielkość powierzchni właściwej korzenia. Stosowana jest ona w większości modeli matematycznych opisujących pobór wody i składników pokarmowych przez roślinę [4,10].

PRZEGLĄD METOD STOSOWANYCH DO OKREŚLENIA POWIERZCHNI KORZENI

W literaturze powierzchnia właściwa korzenia najczęściej utożsamiana jest z jego zewnętrzną powierzchnią geometryczną (wynoszącą kilka centymetrów kwadratowych na gram materiału). Większość obecnie stosowanych metod nie

uwzględnia obecności włósników korzeniowych, których powierzchnia, nawet ta czysto geometryczna, jest bardzo duża. Poniżej przedstawiono krótki przegląd najpopularniejszych metod pomiaru powierzchni właściwej korzenia.

Metody adhezji cieczy. Korzenie roślin zanurza się w stężonym kwasie solnym, a następnie wyjmuje się je i odsącza. Pozostały po odsączeniu kwas solny opłukuje się w znanej ilości wody destylowanej i miareczkuje zasadą sodową. Względna powierzchnię korzenia podaje się w milirównoważnikach zasady sodowej potrzebnej do zobojętnienia odplukanego kwasu solnego. Suche korzenie zamiast w kwasie można zanurzyć w wodzie lub w roztworze soli oraz określić różnicę masy przed i po zanurzeniu korzeni roślin. Uznaje się, że masa zatrzymanego przez korzenie roztworu, jest wprost proporcjonalna do powierzchni korzenia [5]. Pewną modyfikacją tej metody jest pomiar oparty na zjawisku ekсклюzji anionów [1]. Korzenie zanurza się w rozcieńczonym roztworze azotanu IV sodu, odsącza nadmiar roztworu, po czym opłukuje w znanej ilości wody destylowanej. Ilość odmytych jonów azotanowych IV oznacza się kolorymetrycznie. W metodzie uznaje się, że jony azotanowe nie adsorbują się specyficznie na powierzchni korzenia z uwagi na jej ładunek ujemny, a ich ilość jest proporcjonalna do powierzchni korzenia.

Metody geometryczne. Powierzchnię właściwą korzenia określa się poprzez pomiar jego długości pod mikroskopem oraz objętości metodą piknometryczną w wodzie. Powierzchnię korzenia oblicza się ze stosunku objętości do długości [3]. W podobnej metodzie, korzenie tną się na cylindryczne kawałki i mierzy ich długość oraz średnicę. Powierzchnię korzenia oblicza się ze wzoru na powierzchnię cylindra.

Metody sorpcyjne. Korzenie zanurza się w roztworach barwników organicznych (safranina, błękit metylenowy) i oznacza zasorbowaną ilość barwnika bądź po jego odmyciu, bądź z pomiaru zmian jego stężenia w roztworze [6]. Powierzchnię korzenia podaje się bądź w jednostkach względnych (ilość zasorbowana), bądź też podaje w jednostkach powierzchni na podstawie znajomości powierzchni siadania molekuly barwnika.

Do określania wielkości powierzchni właściwej wielu sorbentów naturalnych (gleb, minerałów ilastych, glebowej materii organicznej) stosowane są pomiary izoterm adsorpcji pary wodnej [7,11,12]. Ostatnio zastosowano je również do badań wielkości powierzchni materiału korzeniowego [13]. Zastosowanie tej metody ma dodatkowy aspekt praktyczny, gdyż pozwala na bezpośrednie odniesienie otrzymanych wyników do warunków glebowych (pobór wody, warunki więdnięcia).

METODA ADSORPCJI-DESORPCJI PARY WODNEJ

Pomiar izoterm adsorpcji-desorpcji pary wodnej (Polska Norma PN-Z-19010-) przeprowadza się w następujący sposób: badany materiał umieszcza się w szczelnych naczynkach wagowych, w komorze próżniowej, w temperaturze 293⁰K, nad roztworami kwasu siarkowego o kolejno malejącej, a następnie rosnącej gęstości (wzrost i spadek względnej prężności pary wodnej). Masę wilgotnych próbek określa się poprzez ważenie, natomiast względną prężność pary wodnej w komorze, p/p_0 , poprzez pomiary gęstości kwasu siarkowego. Ilość zaadsorbowanej pary wodnej przy danym p/p_0 oblicza się z różnicy masy próbki wilgotnej i suchej masy danej próbki. Suchą masę określa się po zakończeniu pomiarów, po 24 h suszeniu próbek w temperaturze 378 K. Do opisu teoretycznego danych doświadczalnych stosuje się standardowy model adsorpcji BET lub nowszy model adsorpcji Aranowicza [2], który (w formie liniowej) wyraża się równaniem:

$$x[a(1-x)^{1/2}]^{-1} = (a_m C)^{-1} + x(a_m)^{-1}, \quad (1)$$

gdzie: a [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$] jest ilością zaadsorbowanej pary przy $p/p_0 = x$, a_m [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$] statystyczną pojemnością monowarstwy, $C = \exp[(E_a - E_c)/RT]$, E_a [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$] energią adsorpcji, E_c [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$] energią kondensacji adsorbatu, R [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] uniwersalną stałą gazową, a T [K] temperaturą. Równanie Aranowicza wyprowadzone jest w oparciu o model adsorpcji zlokalizowanej na powierzchni homogenicznej, przy uwzględnieniu możliwości tworzenia wakatów w warstwie adsorpcyjnej. Najczęściej dotychczas używany model BET zakłada tworzenie się wielocząsteczkowych warstw adsorpcyjnych bez wakatów. Równanie Aranowicza obejmuje szerszy zakres względnych ciśnień adsorbatu (do 0,8) niż równanie BET (do 0,35). Na podstawie danych doświadczalnych adsorpcji z przedziału względnych ciśnień pomiędzy $0,05 < p/p_0 < 0,65$ oraz formuły (1) wyznaczano statystyczną pojemność monowarstwy, na podstawie której obliczono powierzchnię właściwą korzeni, S :

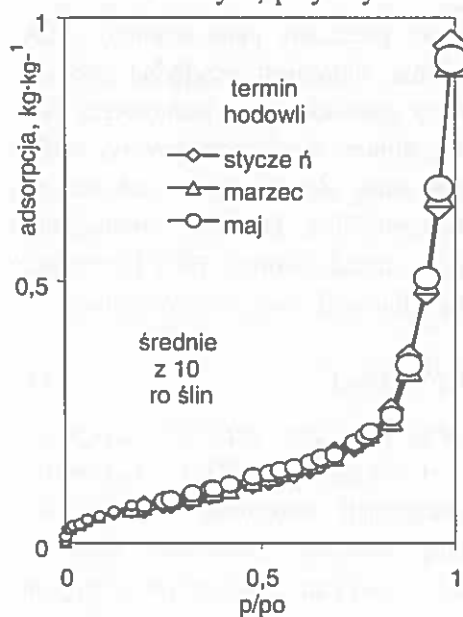
$$S = L\omega a_m / M, \quad (2)$$

gdzie:

$\omega = 10,8 \cdot 10^{-19} \text{m}^2$ jest powierzchnią zajmowaną przez pojedynczą molekułę wody, L [mol^{-1}] liczbą Avogadro, a M [$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$] masą cząsteczkową wody [13,8,9].

OPIS WSTĘPNYCH WYNIKÓW ADSORPCJI PARY WODNEJ NA MATERIALE KORZENIOWYM

Na Rys. 1 zilustrowano izotermę desorpcji pary wodnej na materiale korzeniowym pszenicy jarej Omega, uprawianej w trzech niezależnych cyklach w kulturach wodnych, przy czym w każdym cyklu stosowano dziesięć powtórzeń.



Rys. 1. Izotermę desorpcji pary wodnej, uzyskane w trzech niezależnych cyklach doświadczalnych. Wielkość znaczników punktów odpowiada błędom pomiaru.

Fig. 1. Water vapor adsorption isotherms on the roots grown in 3 independent experimental cycles. Size of points corresponds to the experimental error.

doświadczalnym. Powtarzalność wielkości powierzchni korzeni dla roślin pochodzących z tego samego cyklu jest zadowalająca (Rys. 2).

Materiał korzeniowy pobrano z roślin w fazie strzelania w źdźbło, uprawianych w styczniu, marcu i maju. W każdym przypadku, procedura pomiarowa była powtórzona identycznie.

Wielkości powierzchni korzeni S (\pm ufność 95%), uzyskanych w kolejnych uprawach, obliczone z izotermę Aranowicza przedstawiono w Tabeli 1. Współczynnik korelacji danych doświadczalnych i stosowanej w obliczeniach liniowej formy równania Aranowicza w zakresie ciśnień względnych $p/p_0 \in \langle 0,06-0,55 \rangle$ wyniósł 0,97-0,99.

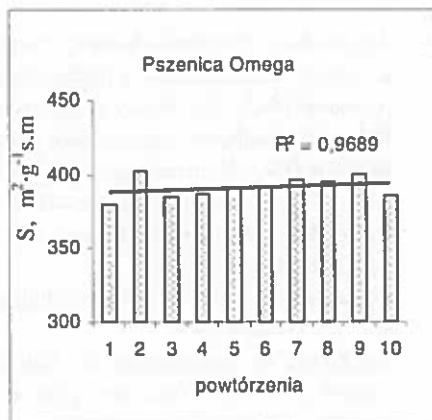
Wielkość powierzchni materiału korzeniowego uzyskana w maju różni się od pozostałych, co jest prawdopodobnie związane z dodatkowymi, niekontrolowanymi czynnikami wzrostu roślin. Wynika stąd, że uprawę roślin do badań porównawczych należy prowadzić w tym samym cyklu

Tabela 1. Powierzchnia właściwa (S) materiału korzeniowego uzyskana w trzech niezależnych cyklach doświadczalnych

Table 1. Surface area of roots grown in 3 independent experimental cycles

Termin uprawy	Styczeń	Marzec	Maj
$S, m^2 \cdot g^{-1}$	$394 \pm 5,6$	$393 \pm 6,1$	$431 \pm 7,3$

Obliczone na podstawie izoterm desorpcji pary wodnej wielkości powierzchni właściwej korzeni mają wyraźny związek z ich powierzchnią rzeczywistą. Całkowita powierzchnia zewnętrzna korzeni (wraz z włosnikami), jest bardzo duża i sięga, według obliczeń Dittmera cytowanych w „Biologii” Vilego [14], 765 metrów kwadratowych na pojedynczą roślinę żyta, w czym 480 m² przypada na same włosniki. Cytowana wielkość szacowana jest dla roślin rosnących w warunkach wazonowych. Rośliny takie wykształcają więcej włosników niż rośliny rosnące w pożywkach hydroponicznych. Otrzymane w przeprowadzonym doświadczeniu hydroponicznym wielkości powierzchni rzędu 400 metrów kwadra-



Rys. 2. Powierzchnie właściwe, uzyskane w tym samym cyklu doświadczalnym (marzec).
Fig. 2. Replicates of surface area value for roots grown in one experimental cycle (march).

towych na gram korzeni wydają się więc całkiem realne. Prowadzone do tej pory badania nad zastosowaniem metody adsorpcji-desorpcji pary wodnej do obliczenia powierzchni dla korzeni, ograniczały się do wąskiej grupy roślin jednoliściennych – zbóż, dla których wielkości powierzchni właściwej były podobne i wahały się w granicach od 320 m²·g⁻¹ dla jęczmienia Ars do 393 m²·g⁻¹ dla pszenicy Omega. Celowe wydaje się rozszerzenie materiału badawczego o inne rośliny, zarówno jednoliścienne jak i dwuliścienne, których właściwości od strony anatomicznej, fizjologicznej, a także fizykochemicznej znacznie się różnią.

WNIOSKI

1. Otrzymane z izoterm desorpcji pary wodnej, powierzchnie są zbliżone do wielkości powierzchni korzeni cytowanych w literaturze.
2. Uprawę roślin do badań porównawczych powierzchni należy prowadzić w tym samym cyklu pomiarowym.
3. Szersze zastosowanie omawianej metody dla materiały korzeniowego, wymaga badań na bardziej zróżnicowanym, ilościowo i jakościowo materiale roślinnym.

PIŚMIENICTWO

1. **Ansari S.A., Pramond Kumar, Gupta B.N.:** Root surface area measurements based on adsorption and desorption of nitrite. *Plant and Soil*, 171, 133-137, 1995.
2. **Aranovich G.L.:** The theory of polymolecular adsorption. *Langmuir*, 3, 736-739, 1992.
3. **Bohm W.:** Method of studying root system. Springer Verlag, Berlin, 1979.
4. **Bouldin D.R.:** Mathematical description of the diffusion processes in the soil-plant system. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25, 476-479, 1961.
5. **Carley H.E., Watson R.D.:** A new gravimetric method for estimating root-surface areas. *Soil Sci.*, 102, 289-291, 1966.
6. **Dunham C.W.:** Use of methylene blue to evaluate rooting of cuttings. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 72, 450-453, 1958.
7. **Józefaciuk G., Sokółowska Z., Sokółowski S., Alekseev A, Alekseeva T.:** Changes of mineralogical and surface properties of water dispersible clay after acid treatment of soils. *Clay Minerals*, 28, 145-148, 1993.
8. **Józefaciuk G., Szatanik-Kloc A.:** Aluminium-induced changes in the surface and micropore properties of wheat roots: a study using the water vapor adsorption-desorption technique. *Plant and Soil*, 233, 95-108, 2001.
9. **Ościak J.:** Adsorpcja. PWN Warszawa, 1979.
10. **Rinkis G.J., Nollendorf W.F.:** Sbalansirowanoje pitanie rastenij makro- i mikroelie-mientami. Wyd. Zinatne, Ryga, 1982.
11. **Sokolowska Z.:** Rola niejednorodności powierzchni w procesach adsorpcji zachodzących na glebach. *Problemy Agrofizyki*, 58, 1989.
12. **Sokolowska Z., Matyka-Sarzyńska D.:** Metodyczne aspekty wyznaczania powierzchni właściwej utworów murszowych metodą adsorpcji-desorpcji pary wodnej. *Acta Agrophysica*, 68, 205-214, 2002.
13. **Szatanik-Kloc A., Józefaciuk G.:** Effect of pH and aluminum on surface properties of barley roots as determined from water vapor adsorption. *Acta Physiologiae Plantarum*, 19, 327-332, 1997.
14. **Vilce C.A.:** Biologia. PWRiL, Warszawa, 1978.

DETERMINATION OF SURFACE AREA OF PLANT ROOTS USING WATER VAPOR ADSORPTION-DESORPTION METHOD

A. Szatanik-Kloc

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: akloc@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. Various methods of estimation of surface area of plant roots are described. Special emphasis is placed upon an application of water vapor adsorption-desorption isotherms, which is relatively new way to determine root surface area.

Keywords: roots, water vapor adsorption-desorption, surface area.