

WPLYW TEMPERATURY WSTĘPNEGO SUSZENIA KORZENI ŻYTA  
NA POWIERZCHNIĘ WŁAŚCIWĄ  
WYZNACZANĄ Z METOD ADSORPCYJNYCH

*Alicja Szatanik-Kloc, Dawid Wiater*

Instytut Agrofizyki PAN im. Bohdana Dobrzańskiego, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

**Streszczenie.** W badaniach wykorzystano korzenie żyta ozimego odmiany Rostockie. Wzrost i rozwój roślin odbywał się w kulturach wodnych o pH = 7, przy ściśle kontrolowanym składzie pożywki Hoaglanda, w cyklu dobowym 16 h nocy / 8 h dnia, w temperaturze 296 K (dzień) i 289 K (noc). Izotermy adsorpcji-desorpcji wyznaczano dwoma adsorbatami; parą wodną i azotem. Wielkość powierzchni właściwej korzeni wyznaczano w oparciu o teorię adsorpcji BET. Wielkość powierzchni właściwych badanych korzeni wyznaczane niepolarnym adsorbentem – azotem były mniejsze od wielkości powierzchni właściwych oznaczanych parą wodną – polarnym adsorbentem. Nie odnotowano istotnego wpływu stopnia rozdrobnienia materiału korzeniowego na wielkość powierzchni właściwej. Wielkości powierzchni właściwej korzeni wstępnie suszonych w 378 K były mniejsze niż wielkości powierzchni właściwej korzeni suszonych w 303 K.

**Słowa kluczowe:** powierzchnia właściwa pozorna (para wodna) i swobodna (azot), korzenie, temperatura

WSTĘP

Transport wody i jonów w korzeniu, od strony fizykochemicznej opisują dwie wielkości: pojemność kationowymienna oraz powierzchnia właściwa. Powierzchnia właściwa jest wielkością znacznie rzadziej stosowaną w fizjologii roślin. Niemniej jednak jest również wykorzystywana w wielu modelach matematycznych opisujących pobieranie wody i jonów soli mineralnych przez roślinę (Nye i Tinker 1977, Buffle i in.1990, Ansari i in. 1995). Metoda adsorpcji-desorpcji z wykorzystaniem polarnego (para wodna) oraz niepolarnego (azot) adsorbatów, jest dość często stosowana do badań wielu procesów i zmian zachodzących w fazie stałej, różnych sorbentów naturalnych. Metody adsorpcji-desorpcji pary wodnej i azotu znalazły szerokie zastosowanie w badaniach gleb, minerałów,

materii organicznej, kwasów humusowych, a także tkanek roślinnych (Józefaciuk i in. 1993, Sokołowska i in. 1999, Matyka-Sarzyńska i Sokołowska 2005, Chiou i in., 1990). Jednym z wymogów metody adsorpcji-desorpcji jest usunięcie wody związanej fizycznie na powierzchni adsorbentów, co osiąga się najczęściej w procesie wstępnego suszenia adsorbentów w temperaturze 378 K przez 24 godziny, jest to również temperatura, przy której w fizjologii roślin uzyskuje się tzw. suchą masę (Zurzycki i Michniewicz 1990). Wykazano jednak, że dla materiałów organicznych, do których zaliczamy również korzenie roślin, intensywny proces suszenia może prowadzić do nieodwracalnych zmian powierzchniowych (między innymi może dojść do hydrofobizacji powierzchni). Ma to istotne znaczenie dla prawidłowej interpretacji wyników fizykochemicznych charakterystyk takich materiałów (Matyka-Sarzyńska i Sokołowska 2005, Chiou i in., 1990, Szatanik-Kloc 2000). W badaniach, których wyniki umieszczono w niniejszej pracy, wykorzystano korzenie żyta (w różnym stopniu rozdrobnienia) suszone w temperaturze 303 K i w 378 K.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu temperatury wstępnego wysuszenia materiału korzeniowego na wielkość powierzchni właściwej.

#### **Teoria wyznaczania powierzchni właściwej z metody adsorpcji-desorpcji**

W niniejszej pracy do opisu danych doświadczalnych adsorpcji-desorpcji zastosowano najczęściej używany model równania BET (Ościk, 1983). Model ten zakłada tworzenie się wielocząsteczkowych warstw adsorpcyjnych bez wakansów i w postaci liniowej wyraża się równaniem:

$$y/a = 1/(a_m - C) + (C - 1)/(a_m \cdot C) \quad (1)$$

gdzie  $y = x/(1-x)$ ,  $x = p/p_0$  – względna prężność adsorbentu,  $p_0$  (Pa) jest ciśnieniem pary nasyconej w temperaturze pomiaru  $T$  (K),  $a$  ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) jest ilością adsorbentu (pary wodnej lub azotu) zaadsorbowanego przy danym ciśnieniu pary  $p$  (Pa),  $a_m$  ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) jest statystyczną pojemnością monowarstwy,  $C = \exp\{(E_a - E_c)/RT\}$  jest stałą zależną od energii adsorpcji  $E_a$  ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) oraz energii kondensacji  $E_c$  ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) adsorbentu,  $R$  ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) jest stałą gazową.

Na podstawie równania BET, dla danych desorpcji z zakresu względnych ciśnień adsorbentu  $p/p_0$  pomiędzy 0,02-0,35 wyznaczono statystyczną pojemność monowarstwy ( $a_m$ ), w oparciu o którą wyliczono powierzchnię właściwą,  $S$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ):

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

gdzie  $\omega$  ( $\text{m}^2$ ) jest powierzchnią zajmowaną przez jedną molekułę adsorbentu (wody lub azotu), czyli powierzchnią siadania,  $L$  ( $\text{mol}^{-1}$ ) jest liczbą Avogadro,  $M$  ( $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) jest masą cząsteczkową adsorbentu,  $a_m$  to pojemność monowarstwy ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

Powierzchnię właściwą – można zdefiniować jako rzeczywistą, biorącą udział w adsorpcji powierzchnię adsorbentu, przypadającą na jednostkę masy, którą należy traktować jako względną wielkość powierzchni adsorbentu i rozumieć jako powierzchnię adsorbentu z jej nieregularnościami o wymiarach większych lub porównywalnych z wielkościami cząstek adsorbentu (Ościk 1983).

Definicja powierzchni właściwej oparta na równaniu adsorpcji BET wprowadzona była dla adsorbentów, w przypadku których wyraźnie można oznaczyć granicę pomiędzy procesem adsorpcji a absorpcji. Dla adsorbentów organicznych granica ta jest trudna od oznaczenia. Dlatego też Chiu i inni (1990) zaproponowali w przypadku adsorbentów organicznych stosowanie zamiast terminu *surface area* (powierzchnia właściwa) terminu *apparent surface area* (pozorna powierzchnia właściwa) dla powierzchni oznaczanych polarnym adsorbentem (parą wodną) i terminu *free surface area* (swobodna powierzchnia właściwa) dla powierzchni oznaczanych azotem.

#### MATERIAŁ I METODY

W prezentowanej pracy do badań wykorzystano korzenie żyta ozimego odmiany Rostockie. Wzrost i rozwój korzeni prowadzono w hydroponice, przy ściśle kontrolowanym składzie i pH pożywki, w cyklu dobowym 16/8 godzin (dzień/noc), temperaturze pomieszczenia 296 K w ciągu dnia i 289 K w nocy. Do oświetlenia roślin zastosowano lampy sodowe typu WLS 400. Pożywkę przygotowano, według zmodyfikowanej pożywki Hoaglanda, uzupełnionej o pełny zestaw mikroelementów (Starck 2007). Nasiona roślin wysiano do napowietrzanych polietylenowych pojemników zaopatrzonych w styropianowe wkładki z nawierconymi otworami. Spodnią stroną wkładki zabezpieczyła siatka. Pomiędzy wkładką a siatką umieszczono bibułę filtracyjną. Do każdego pojemnika ( $5 \text{ dm}^3$ ) wysiano po 80 nasion żyta. Po skielkowaniu pozostawiono po 40 roślin, usuwając jednocześnie bibułę filtracyjną. Poziom pożywki kontrolowano co 24 godziny i w razie potrzeby uzupełniano wodą destylowaną, a co 7 dni pożywkę wymieniano całkowicie. Wartość pH pożywki utrzymywano na poziomie  $\text{pH} = 7 \pm 0,2$  i ewentualnie regulowano za pomocą  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  roztworu KOH i  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  roztworu HCl. Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach. W fazie strzelania w źdźbło rośliny zebrano, a następnie korzenie przepłukano  $0,001 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  roztworem kwasu solnego i trzykrotnie wodą destylowaną w celu odmycia zaadsorbowanych wymiennie jonów powierzchniowych (standaryzacja próbek), po czym oddzielono od części nadziemnych.

W celu usunięcia wody związanej fizycznie w tkance korzeniowej, świeży materiał korzeniowy (odsączony na bibule filtracyjnej) rozdzielono na dwie równe części po  $24 \pm 0,002$  g świeżej masy, rozłożono (w pojedynczej warstwie) na szalkach Petriego i umieszczono w dwóch komorach grzejnych do suszenia (typ – SLD 115 STD). Jedną część korzeni suszono w temperaturze 303 K, a drugą część korzeni suszono w temperaturze 378 K. Z każdej komory grzejnej korzenie ważono po 24 i po 48 godzinach<sup>1</sup>. Następnie korzenie roślin suszone w temperaturze 303 K rozdzielono na trzy części. Jedną część korzeni pozostawiono w całości, drugą pocięto na kawałki około 2 mm, a trzecią część zmielono w młynku elektrycznym. Po czym ponownie rozdzielono korzenie (każdy stopień rozdrobnienia) na dwie części. Jedną część wykorzystano w metodzie adsorpcji-desorpcji azotu (adsorbat niepolarny) a drugą w metodzie adsorpcji-desorpcji pary wodnej (adsorbat polarny). Analogicznie przygotowano materiał korzeniowy suszony w temperaturze 378 K. Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

#### **Metoda adsorpcji-desorpcji pary wodnej**

Pomiar izoterm adsorpcji-desorpcji pary wodnej przeprowadzono w temperaturze  $293 \pm 0,1$ K. zgodnie z procedurą zalecaną przez Polską Normę PN-Z-19010-1 (1997). Próbki materiału korzeniowego umieszczono w próżni nad roztworami kwasu siarkowego o kolejno malejącej gęstości (adsorpcja), a następnie o kolejno wzrastającej gęstości (desorpcja). Po 48 godzinach pobytu w komorze określano masę próbek poprzez ważenie oraz równowagową względną prężność pary wodnej w komorze  $p/p_0$ , poprzez pomiary gęstości kwasu siarkowego. Ilość zaadsorbowanej pary wodnej przy danym  $p/p_0$  obliczano z różnicy masy próbki ważonej przy danym  $p/p_0$  i suchej masy danej próbki, określanej po zakończeniu pomiarów izoterm, po 24 godzinach suszenia próbek w temperaturze 378 K (Józefaciuk i Szatanik-Kloc 2003). Pomiar izoterm adsorpcji-desorpcji pary wodnej przeprowadzono w trzech powtórzeniach dla zakresu względnej prężności adsorbatu  $p/p_0$  0,002-0,989. Różnice pomiędzy powtórzeniami nie przekraczały 5%, czyli dopuszczalnego błędu pomiarowego metody.

#### **Metoda adsorpcji-desorpcji azotu**

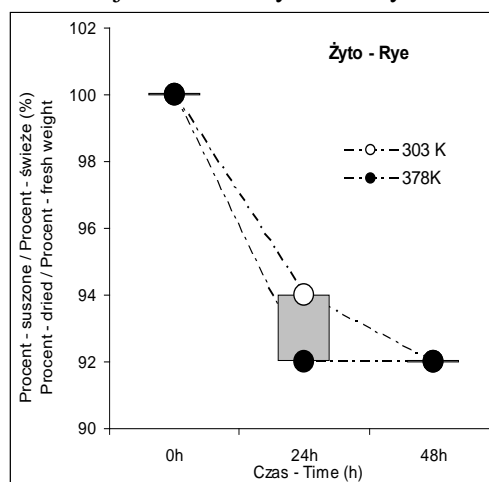
Izoterm adsorpcji-desorpcji azotu wyznaczano w temperaturze wrzenia ciekłego azotu przy wykorzystaniu firmowego aparatu Sorptomatic 1990 firmy CE FISOONS i programu Milestone 200. Materiał korzeniowy wstępnie suszony i w różnym stopniu rozdrobnienia, przeniesiono do biurety pomiarowej i poddano procesowi odga-

<sup>1</sup>Wcześniejsze badania wykazały, że dalszy czas suszenia (72 i 96 godziny) nie wpłynął na zmianę masy próbek (Szatanik-Kloc 2000, 2006).

zowywania do momentu osiągnięcia próżni. Biurę pomiarową z próbką umieszczono w łaźni z ciekłym azotem i przeprowadzono analizę adsorpcji a następnie desorpcji azotu.

### WYNIKI I DYSKUSJA

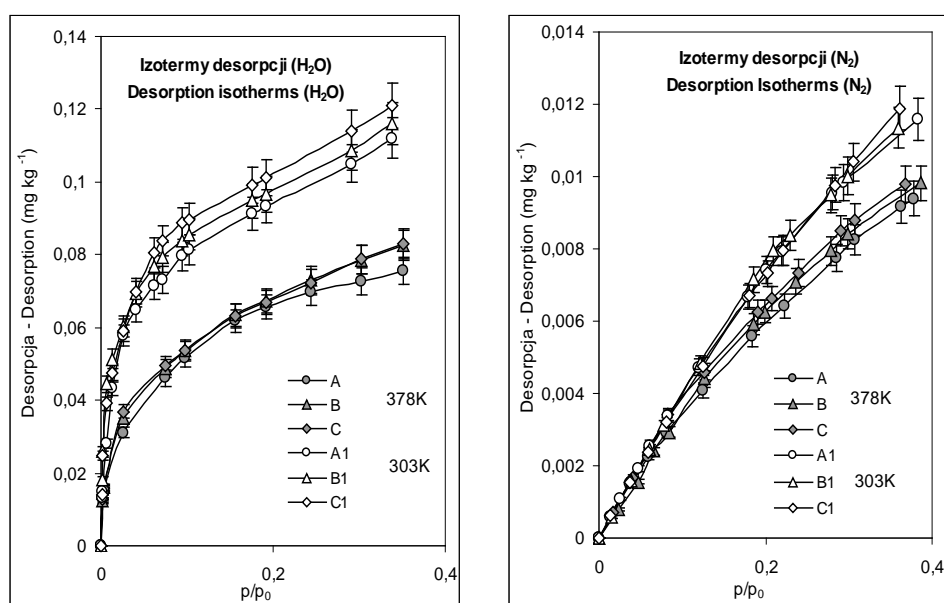
Na rysunku 1 pokazano zmianę masy korzeni suszonych w dwóch temperaturach, które przedstawiono, jako stosunek masy korzeni suszonych do masy korzeni świeżych (odsączonych na bibule filtracyjnej). Różnice pomiędzy masą korzeni suszonych w temperaturze 303 K a masą korzeni suszonych w temperaturze 378 K po 24 godzinach suszenia wynosiła około 2%. Po 48 godzinach masa próbek suszonych w temperaturze 303 K była zbliżona do masy próbek suszonych w temperaturze 378 K. Założono zatem, że początkowa wilgotność korzeni wykorzystanych w procesie adsorpcji-desorpcji dla wszystkich próbek była jednakowa i że usunięta została z korzeni woda związana fizycznie. Zgodnie z wcześniejszymi badaniami (Szatanik- Kloc 2000, 2006, 2010) osiągnięcie równowagi adsorpcyjnej jest dłuższe dla korzeni roślin niż dla większości adsorbentów nieorganicznych, jednakże standardowy 48-godzinny czas ustalania równowagi w pomiarach adsorpcji pary wodnej jest wystarczający za wyjątkiem pierwszego punktu pomiarowego (przy najniższej prężności adsorbentu korzenie należy dosuszać nad stężonym kwasem siarkowym co najmniej przez 4 doby). Czas ustalania równowagi adsorpcji azotu jest w metodzie instrumentalnej kontrolowany automatycznie.



**Rys. 1.** Zmiany masy korzeni suszonych w różnych temperaturach w stosunku do masy korzeni świeżych

**Fig. 1.** Changes in roots mass dried in various temperatures in relation to mass of fresh roots

Ponieważ powierzchnie właściwe wyznaczone były w oparciu o punkty doświadczalne z zakresu względnych prężności adsorbentu  $p/p_0$  pomiędzy 0,02-0,35, na rysunku 2 przedstawiono tylko fragmenty izoterm desorpcji korzeni wstępnie suszonych w temperaturze 303 K i 378 K i przy różnym stopniu rozdrobnienia. Zarówno izotermy adsorpcji - desorpcji, wyznaczone przy użyciu adsorbentu polarnego (pary wodnej), jak i niepolarnego (azotu), dla korzeni wstępnie suszonych w temperaturze 303 K przebiegły wyżej niż izotermy korzeni wstępnie suszonych w 378 K. Natomiast stopień rozdrobnienia materiału korzeniowego nie wpłynął istotnie na przebieg izoterm. Izotermy adsorpcji-desorpcji korzeni całych usytuowane były nieco niżej niż te dla korzeni rozdrobnionych. Natomiast stosunkowo nieznacznie, różniły się izotermy adsorpcji-desorpcji korzeni ciętych i mielonych. Ilościowe różnice w adsorpcji-desorpcji pomiędzy korzeniami roślin charakteryzują wielkości ich powierzchni. Wielkości powierzchni właściwych korzeni, obliczone na podstawie izoterm desorpcji, pokazano w tabeli 1.



**Rys. 2.** Izotermy desorpcji pary wodnej i azotu dla korzeni żyta (śr. z 3 powtórzeń po 10 próbek): A – całe; B – cięte; C – mielone (suszone w 378 K); A1 – całe; B1 – cięte; C1 – mielone (suszone w 303 K).

**Fig. 2.** Water vapour and nitrogen desorption isotherms for rye roots (av. of 3 replicated experiments of 10 samples each): A – entire roots; B – cut; C – ground (dried at 378 K); A1 – entire roots; B1 – cut; C1 – ground (dried at 303K)

**Tabela. 1.** Powierzchnia właściwa (S) dla korzeni żyta (wstępnie suszonych w 378 K i 303 K i przy różnym stopniu rozdrobnienia), wyznaczana parą wodną i azotem. Wielkości S, przedstawione jako średnie z 3 powtórzeń po 10 próbek w powtórzeniu  $\pm$  ufność 95%

**Table. 1.** Specific surface area (S) of the rye roots (dried at 378 K and 303 K and at various levels of fragmentation) determined by water vapour and nitrogen. The S values are presented as the averages of 3 replications (10 samples per replication  $\pm$  confidence level 95%)

Temperatura Temperature	S-H <sub>2</sub> O (m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )			S-N <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )		
	całe entire	cięte cut	mielone ground	całe entire	cięte cut	mielone ground
378K	152,5±0,6	175,8±0,9	185,9±0,9	24,7±2,03	26,5±3,1	29,5±2,4
303K	271,6±0,5	292,7±0,4	295,9±0,03	32,2±3,2	34,5±3,8	34,5±3,2

Wielkości powierzchni właściwych badanych korzeni wstępnie suszonych w 378 K były mniejsze od wielkości powierzchni korzeni suszonych w znacznie łagodniejszych warunkach. Do analizy statystycznej wpływu temperatury wstępnego suszenia korzeni żyta i wpływu stopnia ich rozdrobnienia na powierzchnię właściwą, wykorzystano t-Test (test studenta), dwustronny, Typ-2 (homeostaticzny), w którym zakłada się, że wariancje ze średnich nie różnią się istotnie między sobą, czyli że średnie z próby są takie same. Założenie to jest prawdziwe, jeżeli wartości (w tabelach 2 i 3)  $P \geq 0,05$  w  $\pm 95\%$  przedziale ufności. Jeżeli wartości  $P \leq 0,05$  nie mamy statystycznie uprawnionych podstaw do twierdzenia, że średnie z próby są jednakowe, a zatem mogą być różne.

Pozorne powierzchnie właściwe korzeni (wyznaczane parą wodną), wstępnie suszonych w temperaturze 303 K były istotnie większe niż pozorne powierzchnie właściwe korzeni wstępnie suszonych w temperaturze 378 K. Różnice pomiędzy wielkościami pozornej powierzchni właściwej korzeni całych, ciętych i mielonych nie są istotne (tab. 2). Swobodne (wyznaczane azotem) powierzchnie właściwe korzeni wstępnie suszonych w 303 K są również nieznacznie wyższe od powierzchni korzeni wstępnie suszonych w temperaturze 378 K.

Wartości swobodnej powierzchni właściwej dla korzeni całych były nieco niższe w obu temperaturach wstępnego suszenia. Zarówno temperatura wstępnego suszenia korzeni, jak i stopień ich rozdrobnienia nie wpłynęły istotnie na wielkość powierzchni korzeni wyznaczanych niepolarnym adsorbentem – azotem (tab. 3). Brak wpływu stopnia rozdrobnienia materiału korzeniowego na wielkości pozornej i swobodnej powierzchni właściwej może być związany z faktem, że wyjściowe powierzchnie korzeni były stosunkowo duże i ewentualne różnice wynikające z rozdrobnienia adsorbenta były niewielkie w stosunku do całej powierzchni. Obliczone wielkości pozornej powierzchni właściwej korzeni miały wyraźny związek z ich po-

wierzchnią rzeczywistą. Całkowita powierzchnia korzeni (wraz z włosnikami) jest bardzo duża i sięga, według obliczeń Dittmera cytowanych w „Biologii” Villeego (Villego 1978) oraz przez Kacperską (2007) ok. 765 metrów kwadratowych na pojedynczą roślinę żyta, w tym 480 m<sup>2</sup> przypada na same włosniki. Cytowana wielkość szacowana jest dla roślin rosnących przez cztery tygodnie w warunkach wazonowych. Rośliny takie wykształcają więcej włosników niż rośliny rosnące w pożywkach hydroponicznych.

**Tabela 2.** Analiza statystyczna pozornej (H<sub>2</sub>O) powierzchni właściwej (S). A – całe; B – cięte; C – mielone (suszone w 378K); A1 – całe; B1 – cięte; C1 – mielone (suszone w 303 K)

**Table 2.** Statistical analysis of the apparent (H<sub>2</sub>O) specific surface area (S). A – entire roots; B – cut; C – ground (dried at 378 K); A1 – entire roots; B1 – cut; C1 – ground (dried at 303 K).

Warianty Variants	A	B	C	A1	B1	C1
A	1	0,066	0,254	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>
B	0,066	1	0,946	<b>0,004</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
C	0,257	0,946	1	<b>0,023</b>	<b>0,015</b>	<b>0,014</b>
A1	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	<b>0,023</b>	1	<b>0,0251</b>	<b>0,012</b>
B1	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,015</b>	<b>0,025</b>	1	0,264
C1	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,014</b>	<b>0,012</b>	0,264	1

**bold** – Średnie z próbek były istotnie różne ( $P < 0,05$ ) – Averages of the samples are significantly different ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 3.** Analiza statystyczna swobodnej (N<sub>2</sub>) powierzchni właściwej (S). A – całe; B – cięte; C – mielone (suszone w 378 K); A1 – całe; B1 – cięte; C1 – mielone (suszone w 303 K)

**Table 3.** Statistical analysis of the free (N<sub>2</sub>) specific surface area (S). A – entire roots; B – cut; C – ground (dried at 378 K); A1 – entire roots; B1 – cut; C1 – ground (dried at 303 K)

Warianty Variants	A	B	C	A1	B1	C1
A	1	0,812	0,494	0,416	0,384	0,329
B	0,812	1	0,722	0,576	0,506	0,463
C	0,494	0,723	1	0,764	0,647	0,604
A1	0,417	0,576	0,764	1	0,849	0,831
B1	0,384	0,506	0,647	0,849	1	0,997
C1	0,329	0,463	0,604	0,831	0,997	1

Adsorpcja polarnych adsorbatów – para wodna na korzeniach roślin determinowana jest obecnością (ilością i jakością) polarnych centrów adsorpcyjnych,



czyli związana będzie przede wszystkim z obecnością grup karboksylowych (głównie pektyn), grup hydroksylowych, a także aminowych ściany komórkowej, komórek tworzących zewnętrzne tkanki (epidermę, korę pierwotną) korzenia (Szwejkowska 2000). W korzeniach roślin przeważają polarne centra adsorpcyjne. Z kolei adsorpcja niepolarnych adsorbatów – azot, zależy w większym stopniu od budowy anatomicznej (między innymi wielkości wolnych przestworów komórkowych, budowy pierwotnej /wtórnej ściany komórkowej) tkanek korzenia. Zatem geometria adsorbenta może również wpływać na powierzchnię właściwą korzeni, zwłaszcza jeżeli uwzględnimy również pole powierzchni cząsteczki adsorbentu; pole powierzchni cząsteczki wody wynosi  $10,8 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$  natomiast pole powierzchni cząsteczki azotu wynosi  $16,2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$  (Sokołowska i in. 1999). Im mniej porowatą strukturę posiadają zewnętrzne tkanki korzeni, tym mniej większych cząsteczek może pokryć nieregularności powierzchni. Stąd też powierzchnie wyznaczone azotem miały mniejsze wielkości od powierzchni wyznaczonych polarnym adsorbentem – parą wodną.

Temperatura jest czynnikiem, który wpływa zarówno na biochemiczne właściwości komórki czy całej tkanki korzeniowej jak i na zmiany strukturalne (Rząca i Witrowa-Rajchert 2007). Wysoka temperatura wstępnego suszenia próbek korzeniowych może doprowadzić do denaturacji białek i zmian strukturalnych związków organicznych badanych korzeni (Zurzycki i Michniewicz 1990, Buchanan i in. 2000). Z kolei konsekwencją zmian biochemicznych i strukturalnych może być hydrofobizacja powierzchni tkanki korzeniowej, a zatem mniejsza adsorpcja – desorpcja i mniejsza powierzchnia właściwa. Stąd też odnotowano istotne zmiany pozornej (wyznaczonej parą wodną) powierzchni właściwej (zależnej od grup o charakterze hydrofilowym) dla korzeni wstępnie suszonych w wysokiej temperaturze i nie wykazano istotnych (statystycznie uprawnionych różnic) w odniesieniu do swobodnej (wyznaczonej azotem) powierzchni właściwej tychże korzeni. Niemniej jednak, tendencje zmian wielkości powierzchni właściwej dla korzeni suszonych wstępnie w różnych temperaturach były podobne w przypadku obu adsorbatów.

## WNIOSKI

1. Brak znaczącego wpływu stopnia rozdrobnienia korzeni na przebieg izoterm adsorpcji-desorpcji pary wodnej i azotu, a co za tym idzie i na badane wielkości powierzchni właściwych, sugeruje możliwość wykorzystania do badań korzeni ciętych, uzyskując tym samym materiał badawczy wysoce homogeniczny.

2. Standardowy proces usunięcia wody związanej fizycznie w korzeniach – suszenie w 378 K, może prowadzić do zmian biochemicznych i strukturalnych korzeni, które z kolei mogą mieć istotne znaczenie dla prawidłowej metodyki pomiarów.

## PIŚMIENNICTWO

- Ansari S.A., Kumar P., Gupta B.N., 1995. Root surface area measurements based on adsorption and desorption of nitrite. *Plant and Soil*, 175, 133-137.
- Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R., L., 2000. *Biochemistry. Molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Maryland.
- Buffle J., Altmann R.S., Filella M., 1990. Effect of physico-chemical heterogeneity of natural complexants. Part II. Buffering action and role of their background sites. *Analitica Chimica Acta*, 232: 225-237
- Chiou C.T., Lee J.F., Boyd S.A., 1990. The surface area of organic matter. *Environ. Sci. Technol.*, 24, 1164-1166.
- Józefaciuk G., Sokołowska Z., Sokołowski S., Alekseev A, Alekseeva T., 1993. Changes of mineralogical and surface properties of water dispersible clay after acid treatment of soils. *Clay Minerals*, 28: 145-148
- Józefaciuk G., Szatanik-Kloc A., 2003. Changes in specific area and energy of root surface of cereal plants in Al-solution cultures. Water vapor adsorption studies. *Plant and Soil*, 250, 129-140.
- Kacperska A., 2007. *Gospodarka wodna*. W: Kacperski J., Lewak S. *Fizjologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PAN SA, Warszawa.
- Marschner H., 1986. *Mineral nutrient of higher plants*. Academic press, London.
- Matyka-Sarzyńska D., Sokołowska Z., 2005. Właściwości fizykochemiczne utworów murszowych o różnym stopniu wtórnego przeobrażenia. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 6.
- Nye P.H., Tinker P.B., 1977. *Solute movement in the soil-plant system*. Blackwell, Oxford
- Ościk J., 1983. *Adsorpcja*. PWN Warszawa
- Polska Norma PN-Z-19010-1, 1997. Jakość gleby. Oznaczenie powierzchni właściwej gleb metodą sorpcji pary wodnej (BET). Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Rząca M., Witrowa-Rajchert D., 2007. Wpływ techniki suszenia oraz warunków przechowywania na właściwości rekonstrukcyjne i higroskopijne suszu jabłkowego. *Acta Agrophysica* 9(2), 471-479.
- Sokołowska Z., Hajnos M., Borówko M., Sokołowski S., 1999. Adsorption of Nitrogen on Thermally Treated Peat Soils: The Role of Energetic and Geometric Heterogeneity *Journal of Colloid and Interface Science*, 219, 1-10.
- Starck Z., 2007. Pobieranie i dystrybucja jonów. W: Kacperski J. i Lewak S. *Fizjologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PAN SA, Warszawa.
- Szatanik-Kloc A., 2000. Wpływ pH i stresu glinowego na właściwości fizykochemiczne powierzchni korzeni roślin zbożowych. Praca doktorska, IA PAN w Lublinie.
- Szatanik-Kloc A., 2006. Właściwości powierzchniowe korzeni wybranych roślin jednoliściennych i dwuliściennych, oznaczane metodą adsorpcji-desorpcji pary wodnej i azotu. *Acta Agrophysica*, 7(4), 1015-1026.
- Szatanik-Kloc A., 2010. Zmiany właściwości powierzchniowych korzeni wybranych roślin jednoliściennych i dwuliściennych, determinowane fitotoksycznością glinu i miedzi. *Acta Agrophysica* 176, *Rozprawy i Monografie* (1), 1-121.
- Szwejkowska A., 2000. *Fizjologia roślin*. Wydawnictwo naukowe UAM. Poznań.
- Villee C.A., 1978. *Biologia*. PWRiL, Warszawa.
- Zurzycki J., Michniewicz M., 1990. *Fizjologia roślin*. PWRiL, Warszawa.

---

INFLUENCE OF PRELIMINARY DRYING OF RYE ROOTS  
ON SPECIFIC AREA MEASURED BY ADSORPTION METHODS

*Alicja Szatanik-Kloc, Dawid Wiater*

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

**Abstract:** The roots of winter rye variety Rostockie were studied. The plants were grown in the water cultures at pH=7, in the strictly controlled Hoagland solution in the cycle 16h night/8h day, at 296 K (day) and at 289 K (night). Adsorption-desorption isotherms were measured by adsorbates: water vapour and nitrogen. The specific surface of roots was determined using the BET adsorption theory. The specific surface of roots determined nitrogen (free) was smaller than the specific surface determined by water vapour (apparent). The specific surface of the roots preliminarily dried at 378K was smaller than the specific surface of the roots preliminarily dried at 303K. No significant influence of the level of fragmentation of the roots material on size of the specific surface was meted

**Key words:** apparent specific surface area (water vapour) and free specific surface area (nitrogen), roots, temperature