

WPŁYW POTENCJAŁU WODY GLEBOWEJ NA MIKRODYFUZJĘ TLENU
NA PRZYKŁADZIE GLEBY BIELICOWEJ (EUTRIC CAMBISOL)

Z. Stępniewska^{1,2}, A. Wolińska¹, R.P. Bennicelli¹

¹Katedra Biochemii i Chemii Środowiska, Katolicki Uniwersytet Lubelski
al. Kraśnicka 102, 20-718 Lublin
e-mail: awolin@kul.lublin.pl

²Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

Streszczenie. W pracy przedstawiono zależność od potencjału wody glebowej mikrodyfuzji tlenu (ODR) w glebie bielcowej. Uwzględniono trzy poziomy genetyczne badanej gleby. Stwierdzono, że najkorzystniejsze stosunki wodno-powietrzne w glebie bielcowej występują w przedziale uwilgotnienia odpowiadającemu pF 2,2 – 2,7.

Słowa kluczowe: ODR, mikrodyfuzja tlenu, retencja wodna, gleba bielcowa,

WSTĘP

Jedną z wielu wielkości fizycznych, które określają wiązanie wody przez glebę jest potencjał wody glebowej (bądź siła ssąca gleby), definiowany jako:

$$pF = \log h \text{ (cm H}_2\text{O)}$$

Jest to więc logarytm dziesiętny z wysokości słupa wody h (cm), którego ciśnienie odpowiada sile ssącej gleby [10,12].

Wartość pF wyrażona jako 0 odpowiada pełnej pojemności wodnej (wszystkie pory glebowe wypełnione są wodą), zaś pF równe 2,2 jest miarą połowej pojemności wodnej. Wartość pF wynosząca 4,2 odpowiada punktowi trwałego wędnięcia roślin [10,12].

W glebie całkowicie nasyconej wodą występuje deficyt tlenu, gdyż zostaje on wyparty przez wodę. Dlatego w tym przypadku nie stanowi ona odpowiedniego środowiska dla korzeni roślin lądowych [10].

Wskaźnikiem opisującym stan natlenienia gleby jest ODR (oxygen diffusion rate), który odzwierciedla dostępność tlenu dla mikroorganizmów glebowych i korzeni roślin. Zaopatrzenie gleby w tlen następuje dzięki jego dyfuzji z atmosfery i zachodzi w porach glebowych wypełnionych powietrzem oraz wypełnionych wodą, gdzie występuje jako tlen rozpuszczony w błonach wodnych otaczających korzenie [1,4]. Proces ten zależy od wilgotności gleby, zarówno poprzez jej wpływ na zmniejszenie ilości porów wypełnionych powietrzem, jak również poprzez zmianę grubości błonek wodnych na powierzchni korzeni [3]. Strumień dyfuzji tlenu będzie tym większy im wyższy będzie gradient stężenia tlenu, a to z kolei warunkowane jest stężeniem tlenu w powietrzu glebowym oraz tlenu rozpuszczonego w fazie ciekłej [10].

Podstawową funkcją tlenu w środowisku glebowym jest jego udział w procesie oddychania korzeni, poprzez stanowienie ostatecznego akceptora elektronów od oksydazy cytochromowej [11]. Brak tlenu wiąże się więc z brakiem energii, czego konsekwencją staje się nieprawidłowy metabolizm organizmów roślinnych. Znajomość warunków natlenienia gleb ma zatem duże znaczenie w efektywnym wykorzystaniu składników glebowych przez rośliny.

Celem niniejszej pracy było zbadanie zależności pomiędzy stopniem uwilgotnienia gleby a ilością tlenu dostępnego dla korzeni roślin, co pozwoliłoby na wyznaczenie optymalnej strefy bytowania i wzrostu roślin w glebie bielcowej wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego.

MATERIAŁ I METODY

Badano glebę bielcową (Eutric Cambisol), wytworzoną z piasku gliniastego lekkiego, która pochodziła z Banku Gleb należącego do Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. W badaniach uwzględniono trzy różne poziomy genetyczne. Podstawową charakterystykę badanego materiału glebowego podano w Tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane właściwości badanego materiału glebowego

Table 1. Selected properties of investigated soil material

Nr profilu	Symbol jednostki glebowej [FAO]	Głębokość [cm]	Poziom genet.	Fr. żwiru [%]	Fr. piasku [%]	Fr. pyłu [%]	Fr. iłu [%]	Mat. organiczna
96	Haplic	15-20	A	0	55	17	15	0,73
	Podzols	50-55	B	0	41	25	8	0,73
		100-105	C	0	42	23	9	0,73

Gleby bielcowe odznaczają się na ogół małą zasobnością w składniki odżywcze. Powstają najczęściej z ubogich, kwarcowych piasków luźnych bądź gliniastych. Charakteryzują się silnym zakwaszeniem; kwasowość górnych poziomów wynosi najczęściej 3,0-4,5 pH. Ich zdolność buforowa względem H^+ jest więc bardzo mała [9].

Program przeprowadzonych badań obejmował wyznaczenie mikrodyfuzji tlenu w opisanej glebie bielcowej w zakresie potencjału 1,5-3,2 pF.

Pomiary potencjału wody przeprowadzono klasyczną metodą Richardsa, gdzie rolę półprzepuszczalnego filtru spełniała nasycona wodą porowata płyta ceramiczna [6]. Wyznaczono wilgotności gleby odpowiadające czterem wartościom pF: 1,5; 2,2; 2,7; 3,2. Badany materiał glebowy umieszczany był w cylindrach o wysokości 4,7 cm, średnicy 5,2 cm i objętości 100 cm³. Próbkę glebową wstawiano do hermetycznej komory, gdzie poddawano je działaniu odpowiedniego podciśnienia wytworzonego przy pomocy sprężarki. W ten sposób uzyskano następujące warunki:

1. ciśnienie wewnątrz komory, na powierzchni płyty i w próbkach można zwiększać do żądanej wysokości, ograniczonej tylko wytrzymałością błonki wodnych w porach półprzepuszczalnego filtru;
2. pod powierzchnią płyty (pomiędzy płytą a gumą) panuje zawsze ciśnienie atmosferyczne [6].

Meniski wodne wytworzone na granicy faz ciecz (woda) – gaz (powietrze) nie pozwalają na przepływ powietrza przez płytę. Dzieje się tak do momentu zrównania się ciśnienia (potencjału) wody w glebie i ciśnienia w komorze. Po każdorazowym przyroście ciśnienia i ustaleniu się równowagi termodynamicznej próbki były wyjmowane z komory i ważone. Bezpośrednio po zważeniu przystępowano do oznaczeń natężenia mikrodyfuzji tlenu. ODR mierzono wg metody opracowanej przez Lemona i Ericksona, rozwijanej przez McIntyre'a i zmodyfikowanej przez Gawlika, Malickiego, Stępniewskiego i Walczaka [5,7,8]. Metoda ta wykorzystuje zjawisko elektrochemicznej redukcji tlenu na powierzchni spolaryzowanej elektrody platynowej, umieszczonej w glebie i spolaryzowanej ujemnie względem nasyconej elektrody kalomelowej do -0,64 mV [2,5,7,8].

Zestaw pomiarowy zawierał: elektrodę platynową, którą stanowił zatopiony w szklanej kapilarze drut platynowy o średnicy 0,5 mm i długości 5 mm, oraz anodę, której rolę spełniał stalowy drut o średnicy 1,5 mm i długości 70 mm. Jako elektrodę porównawczą stosowano nasyconą elektrodę kalomelową NEK. Katoda zwykle umieszczana była na głębokości około 4 cm. Anoda znajdowała się około 3 cm od katody, zaś elektroda kalomelowa w odległości około 1 cm od katody platynowej.

Pomiary ODR w każdej z próbek wykonano w czterech powtórzeniach, niezależnymi elektrodami platynowymi.

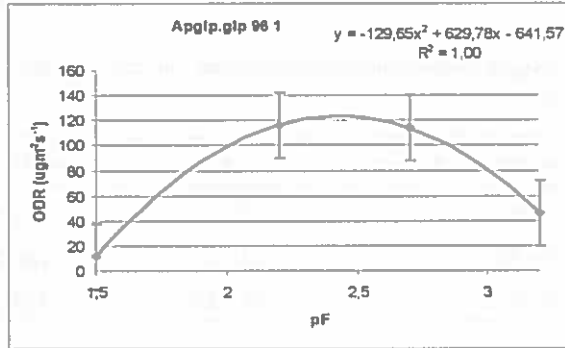
WYNIKI I DYSKUSJA

Zależność pomiędzy potencjałem wody glebowej (pF) a natężeniem dyfuzji tlenu (ODR) w $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ przedstawiono na Rys. 1. Analizując otrzymane dane można stwierdzić, iż w granicach pF 1,5-2,2 następował stopniowy wzrost wartości ODR. Zależność ta znalazła odzwierciedlenie w próbach pochodzących z każdego poziomu genetycznego gleby biellicowej. Przy najniższej wartości pF 1,5 współczynnik ODR utrzymywał się niemal na stałym poziomie - $19,12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ w warstwie podornej oraz podglebiu, zaś nieco niższą jego wartość - $11,47 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ stwierdzono w warstwie ornej.

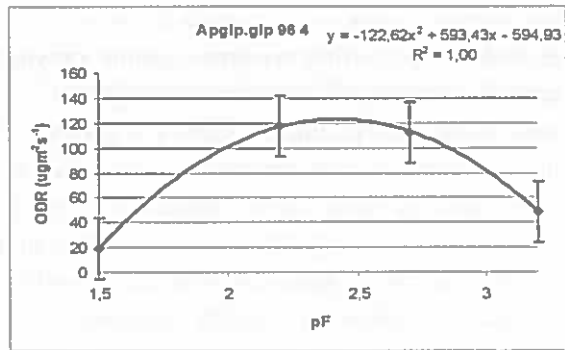
Punkt pF równy 2,2, odpowiadający połowej pojemności wodnej gleb, w przypadku gleby biellicowej pokrywał się również z punktem, w którym mikrodyfuzja tlenu w tej glebie osiągnęła swoje maksimum. Odnotowano najwyższe wartości ODR w próbach ze wszystkich poziomów przy pF 2,2, które wynosiły odpowiednio: $116,02 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ w warstwie ornej, $117,94 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ w warstwie podornej oraz $124,31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ w podglebiu. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż warunki sprzyjające dyfuzji gazów w glebie biellicowej ulegają poprawie wraz ze wzrostem głębokości w profilu. Najkorzystniejsze warunki dla rozwoju i bytowania korzeni roślin plasują się w podglebiu poddanej doświadczeniu glebie; tam bowiem zarejestrowano maksymalną wartość współczynnika natlenienia środowiska glebowego.

Powyżej wartości pF 2,7 poziom mikrodyfuzji tlenu wykazuje tendencję malejącą, osiągając wartości minimalne przy pF 3,2. Najsilniejszy spadek ODR odnotowano w podglebiu, gdzie wynosił on $45,35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, w warstwie podornej natlenienie zmalało do wartości $48,77 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, a w warstwie powierzchniowej wynosiło $45,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

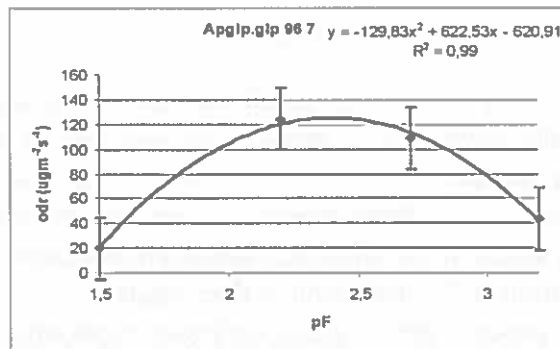
Potencjał wody glebowej jest ściśle związany ze średnicą porów glebowych wypełnionych i opróżnianych przez wodę. Istnienie zależności między średnicą porów a potencjałem wody glebowej umożliwia ustalenie objętości zajmowanej w glebie przez pory o różnych wymiarach. Zarejestrowane zmiany ODR pod wpływem potencjału wody glebowej oraz średnicy porów glebowych przedstawiono w Tabeli 2.



A



B



C

Rys. 1. Charakterystyki potencjał wody glebowej (pF) - natężenie dyfuzji tlenu (ODR) w glebie bielcowej: A) warstwa orna, B) warstwa podorna, C) podglebie.

Fig. 1. Soil water potential (pF)-oxygen diffusion rate (ODR) in Eutric Cambisol loamy sand soil: A) surface layer, B) subsurface layer, C) subsoil.

Tabela 2. Poziom mikrodyfuzji tlenu (ODR) występujący przy zmiennych wartościach pF i różnej średnicy porów glebowych

Table 2. The level of oxygen diffusion rate (ODR) occurring with different values of water potential (pF) and diameter of soil pore

Średnica porów glebowych (μm)	pF	ODR ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
>30	<2,0	11,47 – 19,76
30 – 4,0	2,0 – 2,7	116,02 – 124,31
4,0 – 1,5	2,7 – 3,2	114,11 – 43,35

Wyprowadzone wielomianowe równania funkcji opisują zależność pomiędzy wartością potencjału wody glebowej a poziomem mikrodyfuzji tlenu oraz wyznaczoną wartość współczynnika determinacji R^2 (Rys. 1).

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie optymalnej strefy natlenienia i uwilgotnienia dla korzeni roślin w testowanej glebie.

Korzystne warunki wodno-powietrzne występują w zakresie pF 2,2 – 2,7, kiedy to poziom mikrodyfuzji tlenu osiąga maksymalne wartości w każdym z trzech badanych poziomów genetycznych gleby biellicowej, natomiast wartość pF odpowiada wówczas poziomowi wody bardzo łatwo dostępnej dla korzeni roślin. Przy pF 2,7 natlenienie zostaje ograniczone powyżej wartości pF 2,7. Wtedy to ma miejsce przerwanie wypełnienia kapilar glebowych o średnicy porów mniejszej od 4 μm oraz dochodzi do przerwania błonki wodnej otaczającej powierzchnię elektrody.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Warunki wodno-powietrzne w glebie biellicowej ulegają poprawie wraz ze wzrostem głębokości.
2. W zakresie pF 1,5-2,2 zależność pomiędzy potencjałem wody glebowej (pF) a natężeniem dyfuzji tlenu (ODR) jest wprost proporcjonalna
3. Powyżej wartości pF 2,7 mikrodyfuzja tlenu spada.
4. Maksymalny poziom ODR w glebie biellicowej występuje w podglebiu przy pF 2,2 i wynosi 124 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.
5. Najniższe wartości współczynnika ODR występują przy pF 1,5 oraz pF 3,2 na wszystkich badanych poziomach genetycznych gleby biellicowej.

6. Optymalna strefa dla wzrostu i bytowania korzeni roślin w glebie biellicowej występuje w przedziale pF 2,2 - 2,7; wówczas to mikrodyfuzja tlenu osiąga swoje maksimum.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bennicelli R.P., Żuchowski J:** Wpływ warunków tlenowych w glebie na produkcję biomasy roślin. Materiały Kongresu Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego oraz Międzynarodowej Konferencji Naukowej, 7-10.09., Lublin, 10-11, 1999.
2. **Bennicelli R.P:** Elektrochemiczne metody pomiarowe w środowisku. Chemia analityczna w środowisku. EkoKul, Lublin, 269-301, 2001.
3. **Bennicelli R.P:** Indukcja systemu obronnego u pszenicy i pszenżyta w warunkach stresu tlenowego. Monografia, Acta Agrophysica, 75, 2002.
4. **Dobrzański B., Zawadzki S.:** Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa, 1995
5. **Gawlik J., Malicki M., Stępniewski W.:** The problem of effective voltage control in measurement of ODR in soil. Pol. J. Soil Sci., 10, 9-14, 1977.
6. **Gliński J., Stępniewska Z., Turski J., Bennicelli R.P., Wolińska A., Szafranek A., Charytoniuk P.:** Wybrane metody badań gleboznawczych. EkoKul, Lublin, 2002.
7. **Lemon E.R., Erickson A.E.:** The measurement of oxygen diffusion in the soil with platinum microelectrode. Soil Sci. Am. Proc., 16, 160-163, 1952.
8. **McIntyre D.S.:** The platinum microelectrode method for soil aeration measurement. Adv. Agron., 22, 235-237, 1970.
9. **Mocek A., Drzymala S., Maszner P.:** Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Poznań, 2000.
10. **Stępniewska Z., Wolińska A., Bennicelli R.P.:** Wpływ potencjału wody glebowej na wartość ODR w glebach brunatnych i czarnych ziemiach. Acta Agrophysica, 84, 137-144, 2003.
11. **Stępniewski W., Gliński J.:** Metody pomiaru aeracji gleb. Problemy Agrofizyki. 46, 16-19, 1985.
12. **Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A., Hetman J.:** Zarys gleboznawstwa. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1984.

INFLUENCE OF SOIL WATER POTENTIAL ON MICRODIFFUSION OF OXYGEN IN THE EUTRIC CAMBISOL

Z. Stępniewska^{1,2}, A. Wolińska¹, R.P. Bennicelli¹

¹Department of Biochemistry and Environmental Chemistry, Catholic University of Lublin
al. Kraśnicka 102, 20-718 Lublin
e-mail: awolin@kul.lublin.pl

²Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

Abstract. In this paper the water potential (pF) and oxygen microdiffusion in the Eutric Cambisol loamy sand soil are presented. Soil sampled on various depth were subjected to research. It was stated that the most suitable water – air conditions are in the range from pF 2,2 to pF 2,7.

Keywords: oxygen diffusion rate (ODR), microdiffusion of oxygen, water retention, Eutric Cambisol.