

Katedra Kształtowania Agroekosystemów i Terenów Zieleni,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24 A, 50-363 Wrocław, e-mail: piotr.kuc@up.wroc.pl

PIOTR KUC, EWA TENDZIAGOLSKA, ROMAN WACŁAWOWICZ

Wpływ konserwującej uprawy kukurydzy na trwałość agregatów glebowych i aktywność oddechową gleby

The effect of conservation tillage of maize on soil aggregate stability
and soil respiration

Streszczenie. Badania realizowano w latach 2008–2010 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym „Swojec”, należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w oparciu o ściśle, dwuczynnikowe doświadczenie polowe, założone metodą split-plot w czterech powtórzeniach. Czynnikiem pierwszego rzędu były cztery różne warianty uprawy konserwującej oraz obiekt kontrolny. Na obiekcie A (kontrola) stosowano tradycyjną uprawę (orka przedzimowa, wiosną bronowanie i agregat uprawowy). Na obiekcie drugim (B) przeprowadzono tradycyjną uprawę konserwującą, gorczycę białą pozostawiono do wiosny w celu utworzenia mulczu. W wariantcie C mulcz stanowiła wymieszana za pomocą kultywatora podorywkowego rozdrobniona słoma przedplonowa, na obiektach D i E uprawiano międzyplony ozime w postaci wyki kosmatej (D) i żyta zwyczajnego (E), które zdesygowano dwa tygodnie przed siewem kukurydzy, a następnie na całym polu zastosowano agregat uprawowy. Drugim czynnikiem doświadczenia były dwa poziomy nawożenia azotem i potasem: optymalne (N – 150 kg, K – 110 kg) oraz obniżone o 1/3 (N – 100 kg, K – 73 kg). Wykorzystanie uprawy konserwującej, w porównaniu z systemem płuznym, przyczyniło się do poprawy wodoodporności agregatów glebowych, wyrażonej średnią ważoną średnicą agregatów wodoodpornych (MWDg), współczynnikiem wodoodporności (W) oraz stałą wodoodporności (K). Obniżenie nawożenia azotowo-potasowego przyczyniło się do poprawy trwałości struktury gleby oznaczonej jesienią. Nie stwierdzono natomiast wpływu tego czynnika na respirację gleby. W okresie wschodów kukurydzy większą aktywnością oddechową charakteryzowała się gleba mulczowana zarówno międzyplonami, jak i słomą przedplonową. Natomiast jesienią nie stwierdzono istotnych różnic w ilości wydzielanego CO₂ wywołanych systemami uprawy.

Słowa kluczowe: uprawa konserwująca, nawożenie azotem, nawożenie potasem, kukurydza, wodoodporność agregatów glebowych

WSTĘP

W ostatnich latach idea zrównoważonego rolnictwa nabiera dużego znaczenia. Jednym z systemów spełniających postulaty proekologiczne jest uprawa konserwująca (zachowawcza). Polega ona na wysiewie roślin jarych sianych w szerokich międzyrzędach w mulcz, czyli substancję organiczną pozostawioną na powierzchni gleby. Uprawa konserwująca przyczynia się do zmniejszenia degradacji gleby oraz strat składników pokarmowych, a także poprawy warunków wilgotnościowych. Ważny jest również aspekt ekonomiczny związany z pomijaniem niektórych zabiegów uprawowych, takich jak podorywka lub bronowanie, spłykanie orki czy zastępowanie jej broną talerzową lub kultywatores, co pozwala zmniejszyć koszty produkcji nawet o 35% [Zimny 1999]. Jedną z miar jakości struktury gleby jest odporność agregatów na rozmywające działanie wody, czyli zdolność do zachowania ich formy i budowy w wodzie. Cecha ta zależy od czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych. Trwałość agregatów pozytywnie wpływa na rozwój mikroorganizmów glebowych, przez co zwiększa aktywność biologiczną gleby [Paluszek 2011]. Zmniejszenie liczby uprawek, które powodują rozkruszenie spójnej masy glebowej, zazwyczaj przyczynia się do poprawy struktury gleby, zwiększenia stabilności i wodoodporności agregatów glebowych [Schjonning i in. 2002, Pagliai i in. 2004].

Trwałość struktury gleby zależna jest również od nawożenia mineralnego. Jego intensyfikacja lub brak powiązania z nawozami naturalnymi lub organicznymi może prowadzić do zmniejszenia wodoodporności agregatów glebowych [Lenart 2002, Suwara i Gawrońska-Kulesza 2005]. Szczególnie rozmywające działanie ma azot w formie amonowej, mogący powodować dyspersję koloidów glebowych [Haynes i Naidu 1998].

Celem pracy było określenie wodoodporności agregatów glebowych i jej zmian w trakcie wegetacji kukurydzy, a także respiracji gleby w warunkach stosowania różnych wariantów uprawy konserwującej oraz optymalnego i obniżonego o 30% nawożenia azotowo-potasowego.

MATERIAŁY I METODY

Badania realizowano w latach 2008–2010 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym „Swojec”, należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w oparciu o ściśle, dwuczynnikowe doświadczenie polowe, założone metodą split-plot w czterech powtórzeniach, na madzie brunatnej (podtyp: typowa), wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego na piasku słabogliniastym. Glebę tę zaliczono do klasy IVb kompleksu żyniego dobrego.

W przeprowadzonym eksperymencie polowym uwzględniono dwa czynniki badawcze. Czynnikiem pierwszego rzędu były cztery różne warianty uprawy konserwującej oraz obiekt kontrolny (tab. 1). Na obiekcie A (kontrola) stosowano tradycyjną uprawę (orka przedzimowa, wiosną bronowanie i agregat uprawowy). Na obiekcie drugim (B) prowadzono tradycyjną uprawę konserwującą: gorczycę białą pozostawiono do wiosny w celu utworzenia mulczu. W wariacie C mulcz stanowiła wymieszana za pomocą kultywatora podorywkowego rozdrobniona słoma przedplonowa. Na obiektach D i E uprawiano międzyplony ozime w postaci wyki kosmatej (D) i żyta zwyczajnego (E), które

zdesykowano dwa tygodnie przed siewem kukurydzy, a następnie na całym polu zastosowano agregat uprawowy złożony z brony wirnikowej oraz wału strunowego.

Tabela 1. Schemat doświadczenia
Table 1. Scheme of the experiment

Czynnik Factor	Nazwa obiektu Name of treatment	
	pełna/ full	skrótowa treatment symbol
I – Sposoby uprawy I – Variants of tillage	A. Uprawa tradycyjna – obiekt kontrolny Conventional tillage – control treatment	trad./conv.
	B. Uprawa konserwująca – międzyplon ścierniskowy (gorczyca) pozostawiony do wiosny/ Conservation tillage – stubble catch crop (mustard) left on the field surface until spring	m. gorczyca mustard
	C. Uprawa konserwująca – słoma przedplonowa wymieszana kultywatorem podorywkowym/ Conservation tillage – forecrop straw mixed with cultivator	słoma/straw
	D. Uprawa konserwująca – międzyplon ozimy (wyka ozima) pozostawiony do wiosny/ Winter catch crop (hairy vetch) left on the field surface until spring	m. wyka/ vetch
	E. Uprawa konserwująca – międzyplon ozimy (żyto) pozostawiony do wiosny/ Conservation tillage – winter catch crop (winter rye) left on the field surface until spring	m. żyto/ rye
II – Nawożenie azotowo-potasowe II – Nitrogen-potassium fertilization	1. Optymalne/ Optimal: 150 kg N · ha ⁻¹ , 110 kg K · ha ⁻¹	1 NK
	2. Obniżone o 30%/ Reduced by 30%: 100 kg N · ha ⁻¹ , 73 kg K · ha ⁻¹	2/3 NK

Drugim czynnikiem doświadczenia były dwa poziomy nawożenia azotem i potasem. Optymalne (N – 150 kg, K – 110 kg), dla którego dawka została wyliczona na podstawie zasobności gleby i potrzeb pokarmowych kukurydzy, oraz obniżone o 1/3 (N – 100 kg, K – 73 kg). Azot stosowany był w formie saletry amonowej przedsięwzię wiosną (2/3 dawki) i pogłównie (1/3 dawki), natomiast potas tylko przedsięwzię jesienią.

Przed badaniem wodoodporności agregatów glebowych próbki powietrznie suchej gleby przesiano przez zestaw sit o średnicach oczek: 0,25; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10,0 mm. Następnie określono procentowy udział każdej z frakcji agregatów i wyliczono średnią ważoną średnicę agregatu (MWDa). Wodoodporność agregatów glebowych oznaczono metodą separacji na mokro w aparacie Bakszejewa w trzech powtórzeniach [Rewut 1980]. Zawierał on zestaw sześciu sit o średnicach: 0,25; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 i 7,0 mm. Próbkę do badań uzyskano z zachowaniem procentowego udziału poszczególnych frakcji agregatów otrzymanych po przesianiu suchej gleby. Po wysuszeniu gleby pozostałej na

poszczególnych sitach określono procentowy udział każdej z frakcji, następnie wyliczono średnią ważoną średnicę agregatu wodoodpornego (gruzelka) (MWDg), a współczynnik wodoodporności (W) oraz stałą wodoodporności (K) obliczono ze wzorów:

$$W = \frac{MWDg}{MWDa} \cdot 100 (\%)$$

gdzie:

MWDa – średnia ważona średnica agregatów po przesianiu powietrznie suchej gleby.

$$K = \frac{b \cdot 100}{a}$$

gdzie:

a – % agregatów o średnicy > 1 mm przesiewanych na sucho,

b – % agregatów o średnicy > 1 mm przesiewanych na mokro.

Respirację gleby zmierzono za pomocą aparatu EGM-4 firmy PP Systems w trzech powtórzeniach na każdym poletku. Wszystkie badania wykonano w dwóch terminach: w czasie wschodów kukurydzy i w okresie jej zbioru, wskaźniki dotyczące wodoodporności określono dla warstw 0–10 oraz 10–20 cm. Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji dla doświadczeń dwuczynnikowych w układzie split-plot. Wyliczając przedział ufności dla zróżnicowań międzyobiektowych ($NIR_p = 0,05$), korzystano z rozkładu t Studenta.

WYNIKI

Wiosną, w okresie wschodów, w warstwie 0–10 cm średni udział powietrznie suchych agregatów o średnicy w przedziale 0,25–10 mm wynosił $0,68 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a w warstwie 10–20 cm – $0,67 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Parametr ten nie był w istotny sposób modyfikowany czynnikami doświadczenia. Pod koniec wegetacji kukurydzy udział frakcji 0,25–10 mm nieco wzrósł, odpowiednio o 4,4% dla warstwy 0–10 cm i 4,5% dla warstwy 10–20 cm. W głębszej warstwie odnotowano istotny wpływ sposobu uprawy na omawiany parametr. Zastosowanie mulczu z żyta przyczyniło się do wzrostu udziału powietrznie suchych agregatów o wymiarach 0,25–10 mm o 4,3% w porównaniu z obiektem kontrolnym, natomiast niekorzystnie na udział tej frakcji wpłynął międzyplon z wyki.

Ilość wodoodpornych agregatów frakcji 0,25–10 mm jedynie w okresie zbioru kukurydzy w warstwie 0–10 cm była istotnie zależna od sposobu uprawy (tab. 3). Zastosowanie różnych wariantów uprawy konserwującej przyczyniło się do istotnego wzrostu udziału omawianej frakcji średnio o 3,2% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Ponadto w trakcie wegetacji kukurydzy udział wodoodpornych agregatów o wymiarach od 0,25 do 10 mm wzrósł o 8,5% w warstwie płytszej i o 8,6% w warstwie głębszej.

Tabela 2. Udział powietrznie suchych agregatów glebowych o wymiarach 0,25–10 mm ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
– średnie z lat 2008–2010

Table 2. The percentage of air dry soil aggregates of 0.25–10 mm in size ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
– means of years 2008–2010

Sposoby uprawy Variants of tillage (U)	Wiosna/ Spring			Jesień/ Autumn		
	nawożenie/ fertilization (N)					
	1 NK	2/3 NK	średnio mean	1 NK	2/3 NK	średnio mean
0–10 cm						
Trad./ Conv.	0,69	0,67	0,68	0,72	0,65	0,69
M. gorczyca/ mustard	0,67	0,68	0,68	0,70	0,70	0,70
Słoma/ Straw	0,68	0,67	0,68	0,70	0,71	0,71
M. wyka/ vetch	0,67	0,70	0,69	0,69	0,72	0,71
M. żyto/ rye	0,64	0,66	0,65	0,71	0,73	0,72
Średnio/ Mean	0,67	0,68	–	0,70	0,70	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – r.n.; N – r.n.; U/N – r.n.			U – r.n.; N – r.n.; U/N – r.n.		
10–20 cm						
Trad./ Conv.	0,67	0,67	0,67	0,68	0,69	0,69
M. gorczyca/ mustard	0,65	0,66	0,66	0,70	0,72	0,71
Słoma/ Straw	0,67	0,72	0,70	0,71	0,68	0,70
M. wyka/ vetch	0,67	0,69	0,68	0,68	0,66	0,67
M. żyto/ rye	0,66	0,66	0,66	0,72	0,71	0,72
Średnio/ Mean	0,66	0,68	–	0,70	0,69	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – r.n.; N – r.n.; U/N – r.n.			U – 0,02; N – r.n.; U/N – r.n.		

r.n. – różnica nieistotna/ not significant differences (tab. 2–7)

Wskaźnikiem charakteryzującym odporność struktury agregatowej na niszczące działanie wody jest średnia ważona średnica agregatu wodoodpornego (MWDg). W okresie wschodów kukurydzy w obu badanych warstwach była ona istotnie zależna od badanych systemów uprawy, nawożenia azotowo-potasowego oraz interakcji tych czynników (tab. 4). Wiosną w warstwie 0–10 cm największą średnicę stwierdzono po zastosowaniu mulczu z gorczycy białej, była ona większa w porównaniu z wartością otrzymaną w warunkach uprawy tradycyjnej o 0,14 mm. Niekorzystnie na trwałość agregatów wpłynęła uprawa konserwująca z wykorzystaniem międzyplonowego żyta, uzyskany wynik był o 0,12 mm niższy w odniesieniu do wariantu kontrolnego. W głębszej warstwie, 10–20 cm, zależności były odmiennie. Najmniejszą średnicę ważoną agregatu wodoodpornego odnotowano po zastosowaniu uprawy tradycyjnej. Wprowadzenie różnego rodzaju mulczy przyczyniło się do wzrostu omawianego wskaźnika, najwyższy przyrost wartości w odniesieniu do obiektu kontrolnego, wynoszący 0,11 mm, stwierdzono po uprawie międzyplonowej gorczycy.

Obniżenie poziomu nawożenia azotem i potasem skutkowało istotnym zwiększeniem średniej ważonej średnicy agregatu o 0,05 mm zarówno w warstwie 0–10 cm, jak i 10–20 cm. Na obu badanych głębokościach obniżenie dawki azotu i potasu przyczyniło się do poprawy stopnia agregacji gleby w warunkach uprawy konserwującej wykorzystującej międzyplony. Odwrotną zależność zaobserwowano w warunkach uprawy płużnej, gdzie odnotowano większą średnicę agregatów wodoodpornych po zastosowaniu pełnej dawki N i K.

Tabela 3. Udział wodoodpornych agregatów glebowych o wymiarach 0,25–10 mm ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
– średnie z lat 2008–2010

Table 3. The percentage of waterproof soil aggregates of 0.25–10 mm in size ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
– means of years 2008–2010

Sposoby uprawy Variants of tillage (U)	Wiosna/ Spring			Jesień/ Autumn		
	nawożenie/ fertilization (N)					
	1 NK	2/3 NK	średnio mean	1 NK	2/3 NK	średnio mean
0–10 cm						
Trad./ Conv.	0,60	0,58	0,59	0,62	0,61	0,62
M. gorczyca/mustard	0,59	0,64	0,62	0,62	0,66	0,64
Słoma/ Straw	0,59	0,57	0,58	0,64	0,64	0,64
M. wyka/ vetch	0,60	0,62	0,61	0,63	0,65	0,64
M. żyto/ rye	0,52	0,59	0,56	0,64	0,66	0,65
Średnio/ Mean	0,58	0,60	–	0,63	0,64	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – 0,03; N – r.n.; U/N – r.n.			U – 0,02; N – r.n.; U/N – r.n.		
10–20 cm						
Trad./ Conv.	0,57	0,55	0,56	0,60	0,60	0,60
M. gorczyca/ mustard	0,57	0,61	0,59	0,64	0,64	0,64
Słoma/ Straw	0,56	0,60	0,58	0,61	0,64	0,63
M. wyka/ vetch	0,58	0,59	0,59	0,63	0,63	0,63
M. żyto / rye	0,58	0,58	0,58	0,63	0,65	0,64
Średnio/ Mean	0,57	0,59	–	0,62	0,63	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – r.n.; N – r.n.; U/N – r.n.			U – r.n.; N – r.n.; U/N – r.n.		

Tabela 4. Średnia ważona średnica agregatów wodoodpornych – MWDg (mm)
– średnie z lat 2008–2010

Table 4. Mean weight diameter of water-stable aggregates – MWDg (mm)
– means of years 2008–2010

Sposoby uprawy Variants of tillage (U)	Wiosna/ Spring			Jesień/ Autumn		
	nawożenie/ fertilization (N)					
	1 NK	2/3 NK	średnio mean	1 NK	2/3 NK	średnio mean
0–10 cm						
Trad./ Conv.	0,60	0,61	0,61	0,67	0,62	0,65
M. gorczyca/ mustard	0,64	0,86	0,75	1,01	0,93	0,97
Słoma/ Straw	0,65	0,60	0,63	0,95	1,12	1,04
M. wyka/ vetch	0,72	0,71	0,72	0,93	0,90	0,92
M. żyto/ rye	0,46	0,52	0,49	1,13	1,06	1,10
Średnio/ Mean	0,61	0,66	–	0,94	0,93	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – 0,06; N – 0,04; U/N – 0,09			U – 0,07; N – r.n.; U/N – 0,09		
10–20 cm						
Trad./ Conv.	0,60	0,51	0,56	0,62	0,76	0,69
M. gorczyca/ mustard	0,63	0,70	0,67	1,05	0,87	0,96
Słoma/ Straw	0,52	0,66	0,59	0,72	0,72	0,72
M. wyka/ vetch	0,53	0,61	0,57	0,76	0,91	0,84
M. żyto/ rye	0,54	0,59	0,57	0,76	0,96	0,87
Średnio/ Mean	0,56	0,61	–	0,78	0,84	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – 0,05; N – 0,04; U/N – 0,08			U – 0,07; N – 0,04; U/N – 0,10		

W terminie zbioru kukurydzy średnia ważona średnica gruzelków była większa w poszczególnych warstwach odpowiednio o 0,30 mm i 0,22 mm w porównaniu z okresem wschodów. Największy przyrost omawianego parametru, w obu warstwach, zaobserwowano w warunkach mulczowania żytem. W warstwie 0–10 cm wskaźnik MWDg był istotnie modyfikowany sposobem uprawy oraz interakcją czynników doświadczenia. Zastosowanie różnych wariantów uprawy konserwującej przyczyniło się do wzrostu badanego parametru średnio o 0,36 mm w odniesieniu do wartości uzyskanych z poletek uprawianych tradycyjnie. Najkorzystniejsze działanie wywierał mulcz z żyta, jego obecność pozwoliła na zwiększenie średniej ważonej średnicy agregatu o 0,45 mm w porównaniu z obiektem kontrolnym. Obniżenie nawożenia mineralnego spowodowało zmniejszenie średniej ważonej średnicy agregatu wodoodpornego we wszystkich wariantach z wyjątkiem poletek mulczowanych słomą. W tym przypadku niższa o 30% dawka azotu i potasu skutkowała wzrostem średniej ważonej średnicy agregatu o 0,17 mm.

Tabela 5. Współczynnik wodoodporności agregatów glebowych – W (%)
– średnie z lat 2008–2010

Table 5. Coefficient of water stability of soil aggregates – W (%) – means of years 2008–2010

Sposoby uprawy Variants of tillage (U)	Wiosna/ Spring			Jesień/ Autumn		
	nawożenie/ fertilization (N)					
	1 NK	2/3 NK	średnio mean	1 NK	2/3 NK	średnio mean
0–10 cm						
Trad./ Conv.	44,4	45,2	44,8	49,6	54,4	52,0
M. gorczyca/ mustard	55,7	65,6	60,7	73,7	69,4	71,6
Słoma/ Straw	58,6	49,6	54,1	67,9	73,7	70,8
M. wyka/ vetch	55,0	53,8	54,4	66,0	67,5	66,6
M. żyto/ rye	35,4	40,0	37,7	61,1	68,4	64,7
Średnio/ Mean	49,8	50,8	–	63,6	66,6	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – 5,6; N – r.n.; U/N – 7,1			U – 6,3; N – 3,0; U/N – 6,6		
10–20 cm						
Trad./ Conv.	54,1	37,5	45,8	42,2	53,5	47,8
M. gorczyca/ mustard	50,4	54,7	52,5	63,3	61,7	62,5
Słoma/ Straw	42,6	53,2	47,9	49,7	51,8	50,7
M. wyka/ vetch	39,3	44,9	42,1	48,4	66,9	57,7
M. żyto/ rye	46,6	48,8	47,7	43,3	65,8	54,5
Średnio/ Mean	46,6	47,8	–	49,4	59,9	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – 4,6; N – r.n.; U/N – 7,0			U – 6,4; N – 3,6; U/N – 8,0		

Również w głębszej warstwie wykazano korzystny wpływ uprawy konserwującej na trwałość agregatów glebowych. Najwyższym wskaźnikiem MWDg odznaczała się gleba mulczowana gorczycą, był on o 0,27 mm większy od wartości uzyskanych po uprawie tradycyjnej. Zmniejszenie poziomu nawożenia przyczyniło się do zwiększenia trwałości agregatów glebowych; średnica wzrosła o 0,06 mm w odniesieniu do poletek nawożonych pełną dawką azotu i potasu. Średnia ważona średnica agregatu wodoodpornego w warstwie 10–20 cm uzależniona również była od współdziałania sposobu uprawy roli

i dawki azotu i potasu. Jeżeli stosowano optymalną dawkę tych pierwiastków, największą wartość wskaźnika MWDg oznaczono w glebie mulczowanej gorczycą, natomiast w warunkach obniżonego nawożenia – po uprawie międzyplonowego żyta.

Jakość struktury gleby uzależniona jest m.in. od odporności agregatów na rozmywające działanie wody. Badania przeprowadzone w okresie wschodów kukurydzy w warstwie 0–10 cm wykazały, że zastosowanie mulczowania gorczycą sprzyjało poprawie wodoodporności agregatów wyrażonej współczynnikiem W o 15,9% większej w porównaniu z wartościami stwierdzonymi na poletkach uprawianych tradycyjnie (tab. 5). Najniższe wartości wskaźnika wodoodporności odnotowano w warunkach mulczowania żytem, istotna różnica w odniesieniu do obiektu kontrolnego wyniosła 7,1%. Wiosną w obu badanych warstwach nie stwierdzono istotnego wpływu poziomu nawożenia na współczynnik W. Znaczący wpływ na trwałość agregatów miało natomiast współdziałanie sposobu uprawy oraz poziomu nawożenia. W warunkach optymalnego nawożenia mulczowanie słomą przyczyniło się do wzrostu wskaźnika wodoodporności o 14,2% w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Natomiast po obniżeniu dawek N i K największym współczynnikiem W charakteryzowała się gleba mulczowana gorczycą.

W warstwie 10–20 cm również odnotowano istotny wpływ sposobu uprawy oraz interakcji obu czynników doświadczenia na współczynnik W, jednak różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami były mniejsze w porównaniu z płytszą warstwą. Istotnie najniższą wodoodpornością agregatów, w porównaniu z pozostałymi wariantami, cechowała się gleba z międzyplonową wyką kosmatą. Uzyskane wartości były mniejsze o 3,7% w porównaniu z otrzymanymi na obiekcie kontrolnym. Analiza interakcji czynników doświadczenia wykazała, że obniżenie nawożenia w warunkach uprawy tradycyjnej przyczyniło się do znacznego, wynoszącego 16,6%, obniżenia trwałości agregatów glebowych. Odmienną tendencję zaobserwowano w przypadku gleby mulczowanej słomą, której agregaty odznaczały się o 10,6% większą trwałością w warunkach obniżonego nawożenia azotem i potasem.

W czasie zbioru kukurydzy, w odniesieniu do okresu wschodów tej rośliny, współczynnik W był większy o 14,8% w warstwie płytszej i 7,5% w głębszej. Największy przyrost w poszczególnych warstwach nastąpił po zastosowaniu żyta oraz wyki kosmatej. Jesienią w badanych warstwach gleby wodoodporność agregatów była zależna zarówno od obu czynników doświadczenia, jak i ich interakcji. Podobnie jak wiosną zastosowanie tradycyjnej uprawy konserwującej (mulczowanie gorczycą białą) przyczyniło się do poprawy wodoodporności o 19,6% w warstwie 0–10 cm i o 14,7% w warstwie 10–20 cm w porównaniu do konwencjonalnego systemu uprawy. Najniższą wodoodpornością w obu warstwach charakteryzowały się agregaty gleby uprawianej tradycyjnie.

Obniżenie dawek azotu i potasu przyczyniło się do istotnego wzrostu wodoodporności agregatów w poszczególnych warstwach odpowiednio o 3,0% i 10,5%. W przypadku współdziałania czynników doświadczenia wzrost współczynnika W w warunkach obniżonego nawożenia azotowo-potasowego był szczególnie widoczny w przypadku uprawy międzyplonów ozimych (wyka kosmata, żyto), a także na obiekcie kontrolnym.

Współczynnik K opisuje wodoodporność agregatów glebowych o średnicy powyżej 1 mm. W okresie wschodów w warstwie 0–10 cm istotnie najniższą wartość, w odniesieniu do pozostałych wariantów z uprawą konserwującą, wskaźnik ten osiągnął po zastosowaniu mulczu z żyta, natomiast najbardziej trwałymi agregatami charakteryzowała się gleba po uprawie międzyplonowej gorczycy (tab. 6). W omawianej warstwie wystąpiła

istotna interakcja czynników doświadczania. Obniżenie dawek azotu i potasu na poletkach z gorczycą skutkowało znacznym wzrostem badanego parametru (33,2%). W pozostałych wariantach uprawy konserwującej większe wartości obserwowano w warunkach optymalnego nawożenia. W warstwie 10–20 cm również odnotowano współdziałanie czynników doświadczania. W przypadku stosowania pełnych dawek N i K najtrwalsze agregaty wystąpiły na poletkach uprawianych tradycyjnie, natomiast w warunkach obniżonego nawożenia – po mulczowaniu słomą. W obu warstwach nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia na stałą wodoodporności K.

Tabela 6. Stała wodoodporności – K (średnie z lat 2008–2010)
Table 6. Water stability constant – K (means of years 2008–2010)

Sposoby uprawy Variants of tillage (U)	Wiosna/ Spring			Jesień/ Autumn		
	nawożenie/ fertilization (N)					
	1 NK	2/3 NK	średnio mean	1 NK	2/3 NK	średnio mean
0–10 cm						
Trad./ Conv.	57,3	57,6	57,4	65,1	61,1	63,1
M. gorczyca/ mustard	60,3	80,3	70,3	75,0	77,4	76,2
Słoma/ Straw	71,9	62,3	67,1	61,8	77,3	69,6
M. wyka/ vetch	71,1	57,3	64,2	60,6	62,6	61,6
M. żyto/ rye	46,8	41,5	44,2	67,5	60,3	63,9
Średnio/ Mean	61,5	59,8	–	66,0	69,7	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – 14,7; N – r.n.; U/N – 14,8			U – 9,6; N – r.n.; U/N – r.n.		
10–20 cm						
Trad./ Conv.	66,7	46,2	56,4	58,4	54,3	56,3
M. gorczyca/ mustard	56,9	63,0	60,0	61,6	66,9	64,2
Słoma/ Straw	45,4	69,7	57,6	63,9	65,8	64,8
M. wyka/ vetch	49,1	62,1	55,6	47,9	57,7	52,8
M. żyto/ rye	61,4	66,6	64,0	61,1	68,6	64,9
Średnio/ Mean	55,9	61,5	–	58,6	62,7	–
NIR _(0,05) / LSD _(0,05)	U – r.n.; N – r.n.; U/N – 19,5			U – r.n.; N – 4,1; U/N – r.n.		

Jesienią sposób uprawy roli istotnie wpłynął na wartość współczynnika K tylko w warstwie 0–10 cm. Najtrwalszymi agregatami o średnicy powyżej 1 mm charakteryzowała się gleba z mulczem z gorczycy białej. Różnica w odniesieniu do obiektu kontrolnego wyniosła 20,8%. Najmniejszą wartość stałej wodoodporności wykazano dla poletek z wyką kosmatą, jednak różnica w porównaniu z wariantem tradycyjnym wyniosła tylko 2,4%.

W warstwie 10–20 cm obniżenie nawożenia o 30% w stosunku do dawki optymalnej przyczyniło się do zwiększenia współczynnika K o 7,0%. Podobną tendencję stwierdzono w płytszej warstwie, jednak zależności tych nie udowodniono matematycznie.

Aktywność biologiczna gleby mierzona intensywnością wydzielania CO₂ w okresie wschodów była istotnie zależna od sposobu uprawy roli (tab. 7). Najwięcej dwutlenku węgla wydzielala gleba, na której uprawiano międzyplony ozime: wykę kosmatą i żyto. Niekorzystnie na aktywność biologiczną wpłynęło zastosowanie tradycyjnej uprawy roli.

Tylko o 13,4% większą wymianą gazową w stosunku do obiektu kontrolnego charakteryzowała się gleba mulczowana słomą, prawdopodobnie było to spowodowane wcześniejszym rozkładem słomy, już w okresie jesienno-zimowym.

Tabela 7. Respiracja gleby ($\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) – średnie z lat 2008–2010
Table 7. Soil respiration ($\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) – means of years 2008–2010

Sposoby uprawy Variants of tillage (U)	Wiosna/ Spring			Jesień/ Autumn		
	nawożenie/ fertilization (N)					
	1 NK	2/3 NK	średnio mean	1 NK	2/3 NK	średnio mean
Trad./ Conv.	0,48	0,56	0,52	0,49	0,36	0,43
M. gorczyca/ mustard	0,60	0,61	0,61	0,47	0,48	0,48
Słoma/ Straw	0,61	0,56	0,59	0,49	0,45	0,47
M. wyka/ vetch	0,78	0,68	0,73	0,51	0,53	0,52
M. żyto/ rye	0,68	0,66	0,67	0,48	0,48	0,48
Średnio/ Mean	0,63	0,61	–	0,49	0,46	–
NIR _{(0,05) / LSD_(0,05)}	U – 0,10; N – r.n.; U/N – r.n.			U – r.n.; N – r.n.; U/N – r.n.		

Tabela 8. Współczynniki korelacji prostej (r) między respiracją gleby a wskaźnikami trwałości struktury gleby (n = 30)

Table 8. Linear correlation coefficients (r) between soil respiration and soil structure indicators (n = 30)

Respiracja ($\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	Wiosna/ Spring				Jesień/ Autumn			
	0–10 cm		10–20 cm		0–10 cm		10–20 cm	
	W (%)	MWDg (mm)	W (%)	MWDg (mm)	W (%)	MWDg (mm)	W (%)	MWDg (mm)
Wiosna Spring	–0,08	0,18	–0,16	–0,12	0,12	–0,03	–0,1	0,15
Jesień Autumn	–0,15	0,26	–0,14	–0,01	0,12	0,52*	–0,19	–0,15

* korelacja istotna ($\alpha = 0,05$) / significant correlation ($\alpha = 0,05$)

W okresie zbioru ilość wydzielanego CO_2 była nieco mniejsza niż wiosną i różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami były mniejsze. Nie potwierdzono istotnego wpływu czynników doświadczenia oraz ich interakcji na intensywność respiracji gleby. Podobnie jak w okresie wschodów najmniejsze wartości stwierdzono na obiekcie kontrolnym, a największe na poletkach mulczowanych wyką.

Przeprowadzona analiza korelacji prostej wykazała, że wskaźniki trwałości struktury gleby nie są skorelowane z poziomem respiracji gleby (tab. 8). Istotną, dodatnią, jednak stosunkowo niewielką zależność udowodniono jedynie pomiędzy respiracją gleby w okresie zbioru a średnią ważoną średnicą agregatu wodoodpornego w warstwie 0–10 cm oznaczoną w tym samym czasie.

DYSKUSJA

Średnia ważona średnica agregatu wodoodpornego charakteryzuje trwałość agregacji gleby. W przeprowadzonych badaniach potwierdzono powszechny pogląd, że uprawa płuzna, w przeciwieństwie do systemów uproszczonych, prowadzi do pogorszenia wodoodporności agregatów glebowych [Kordas i Majchrowski 2001, Wojciechowski i in. 2004, Kuc i Waclawowicz 2010, Waclawowicz i in. 2012]. Pod koniec wegetacji kukurydzy najmniejsze wartości MWDg, w obu badanych warstwach, obserwowano w warunkach uprawy tradycyjnej. Również wartości współczynnika W, opisującego podatność gleby na rozmywające działanie wody, potwierdzają tezę o negatywnym wpływie płuznych systemów uprawy na trwałość struktury. Podobnie jak w badaniach Wojciechowskiego [2009] nie odnotowano większego wpływu poszczególnych gatunków roślin uprawianych jako międzyplonu zarówno na średnią średnicę agregatu, jak i na współczynnik W, zatem nie potwierdzono doniesień Dapaaha i Vyna [1998], którzy największą wodoodporność agregatów odnotowali po uprawie międzyplonów z rodziny bobowatych.

Zastosowanie uprawy konserwującej przyczyniło się do wzrostu wartości stałej wodoodporności K, oznaczonej w okresie zbioru. Odmienne wyniki w warstwie 5–30 cm uzyskali Kordas i Zimny [2002], którzy największe wartości otrzymali w warunkach uprawy tradycyjnej, a zastosowanie międzyplonu w postaci gorczycy białej przyczyniło się do pogorszenia wodoodporności agregatów glebowych o średnicy powyżej 1 mm.

W badaniach własnych stwierdzono zwiększenie wodoodporności agregatów glebowych w wyniku obniżenia dawek nawożenia azotowo-potasowego. Negatywny wpływ azotu udowodniła również Gienza-Mikoda i in. [2011] oraz Waclawowicz i in. [2012], natomiast w badaniach Wojciechowskiego [2009] nie wykazano wpływu nawożenia mineralnego na trwałość struktury gleby.

Ilość i jakość materii organicznej wprowadzonej do gleby wpływa na poziom jej aktywności oddechowej. Zdaniem Kordasa [2007] wraz ze stopniem uproszczenia uprawy roli wzrósł jej poziom respiracji. Wiosną najmniej CO₂ wydzielala gleba uprawiana tradycyjnie, natomiast w okresie zbioru nie odnotowano istotnych różnic wywołanych zastosowanym systemem uprawy. O pozytywnym wpływie uproszczonych systemów uprawy na aktywność biologiczną gleby donoszą również Idkowiak i Kordas [2004] oraz Kordas i Zbroszczyk [2012].

Idkowiak i Kordas [2007] stwierdzili, że intensyfikacja nawożenia azotowego przyczynia się do wzrostu respiracji gleby, niezależnie od terminu badań, natomiast Kordas [2007] odnotował wzrost wymiany gazowej jedynie w początkowym okresie wegetacji. W przeprowadzonym doświadczeniu ilość wydzielonego CO₂ w obu terminach badań nie była istotnie zależna od dawki azotu i potasu.

WNIOSKI

1. Zastosowanie uprawy konserwującej, w porównaniu z systemem płuznym, przyczyniło się do poprawy wodoodporności agregatów glebowych, wyrażonej wskaźnikiem MWDg, współczynnikiem wodoodporności W oraz stałą wodoodporności K.

2. Obniżenie nawożenia azotowo-potasowego przyczyniło się do poprawy trwałości struktury gleby oznaczonej jesienią. Nie stwierdzono natomiast wpływu tego czynnika na respirację gleby.

3. W okresie wschodów kukurydzy większą aktywnością biologiczną charakteryzowała się gleba mulczowana zarówno międzyplonami, jak i słomą przedplonową. Natomiast jesienią nie stwierdzono istotnych różnic w ilości wydzielanego CO₂ wywołanych systemami uprawy.

4. Wskaźniki trwałości struktury roli nie były na ogół skorelowane z poziomem aktywności biologicznej gleby.

PIŚMIENNICTWO

- Dapaah H.K., Vyn T.J., 1998. Nitrogen fertilization and cover crop effects on soil structural stability and corn performance. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29, 2557–2569.
- Giemza-Mikoda M., Waclawowicz R., Zimny L., Malak D., 2011. Wpływ zróżnicowanego nawożenia organicznego i wzrastających dawek azotu na wskaźniki struktury roli. *Fragm. Agron.* 28 (3), 16–25.
- Haynes R.J., Naidu R., 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 51, 123–137.
- Idkowiak M., Kordas L., 2004. Zmiany właściwości chemicznych i biologicznych gleby w wyniku stosowania uproszczeń w uprawie roli i zróżnicowanego nawożenia azotem. *Fragm. Agron.* 24, 3, 40–47.
- Idkowiak M., Kordas L., 2007. Ocena wpływu różnych systemów uprawy roli i nawożenia azotem na respirację gleby. *Fragm. Agron.* 1(93), 72–81.
- Kordas L., 2007. Wpływ sposobu uprawy roli i nawożenia azotowego na respirację gleby. *Zesz. Nauk. UP we Wrocławiu* 552, Inż. Rol. 6, 65–71.
- Kordas L., Majchrowski P., 2001. Wpływ międzyplonu ścierniskowego i głęboszowania w uprawie buraka cukrowego na wskaźniki struktury gleby średniej. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 415, Rolnictwo 80, 145–152.
- Kordas L., Zbroszczyk U., 2012. Wpływ systemu uprawy roli i efektywnych mikroorganizmów (EM) na właściwości biologiczne gleby spod pszenicy jarej uprawianej w krótkotrwałej monokulturze. *Fragm. Agron.* 29(3), 95–102.
- Kordas L., Zimny L., 2002. Wpływ wieloletniego stosowania siewu bezpośredniego w uprawie buraka cukrowego na niektóre wskaźniki struktury gleby. *Biul. IHAR* 222, 263–270.
- Kuc P., Waclawowicz R., 2010. Wpływ różnych wariantów uprawy, stosowanych pod buraki cukrowe, na strukturę roli. *Prob. Inż. Rol.* 2, 13–23.
- Lenart S., 2002. *Studia nad wodoodpornością agregatów glebowych w różnych systemach uprawy roli i roślin.* Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa, ss. 104.
- Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Till. Res.* 79, 131–143.
- Paluszek J., 2011. Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. *Acta Agrophys., Rozpr. Monogr.* 191, ss. 139.
- Rewut I.B., 1980. *Fizyka gleby.* PWRiL, Warszawa, ss. 383.
- Schjonning P., Elmholt S., Munkholm L. J., Deboz K., 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88 (3), 195–214.
- Suwara I., Gawrońska-Kulesza A., 2005. Wpływ systemów nawożenia na kształtowanie się wybranych właściwości fizycznych gleby lekkiej. *Fragm. Agron.* 1, 290–297.
- Waclawowicz R., Parylak D., Maziarek A., 2012. Zmiany wskaźników struktury gleby pod wpływem zróżnicowanych systemów uprawy pszenicy jarej. *Fragm. Agron.* 29 (2), 123–133.

- Wojciechowski W., 2009. Znaczenie międzyplonów ścierniskowych w optymalizacji nawożenia azotem jakościowej pszenicy jarej. Wyd. UP Wrocław, Monografie 76, ss. 122.
- Wojciechowski W., Waclawowicz R., Sowiński J., 2004. Wpływ zróżnicowanych systemów uprawy pszenicy ozimej na wybrane wskaźniki struktury gleby. *Fragm. Agron.* 21 (3), 147–155.
- Zimny L., 1999. Uprawa konserwująca. *Post. Nauk Rol.* 5, 41–52.

Summary. The research was carried out in 2008–2010 at the Experimental Station „Swojec” belonging to the University of Environmental and Life Sciences in Wrocław. The experiment was conducted as a split-plot method in four replications. Four different variants of conservation tillage with control treatment were considered in the experiment. Traditional tillage (winter plow, spring harrowing and tillage set) was used on control treatment (A). Traditional conservation tillage with white mustard left in the field until spring to form mulch was used in the next treatment B. For variant C mulch was used with straw from the previous crop chopped and mixed with soil with a stubble cultivator. In variant D – hairy vetch and E – winter rye were grown as winter catch crops and they were desiccated two weeks before maize sowing and the next tillage set was used in the whole field. Two levels of nitrogen and potassium fertilization were the subplot of experiment: optimum (N – 150 kg, K – 110 kg) and reduced by 1/3 (N – 100 kg, K – 73 kg). The use of conservation tillage compared with the plow system improved water resistance of soil aggregates in the mean weight diameter of aggregates (MWDg), coefficient of water resistance of soil aggregates (W) and waterproofness constant – K. The reduction in nitrogen-potassium fertilization increased soil stability determined during autumn. There was no significant effect of fertilization on soil respiration. During maize emergence the soil with winter catch crops and forecrop straw was characterized by higher respiration activity, while in autumn there were no significant differences concerning the amount of emitted CO₂ affected by tillage systems.

Key words: conservation tillage, nitrogen fertilization, potassium fertilization, maize, water stability of soil aggregates