

EWA A. CZYŻ

Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

WPŁYW SYSTEMÓW UPRAWY ROLI NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE GLEBY I PŁONOWANIE KUKURYDZY W MONOKULTURZE

Effects of different soil tillage systems on some soil physical properties and yield of maize in monoculture

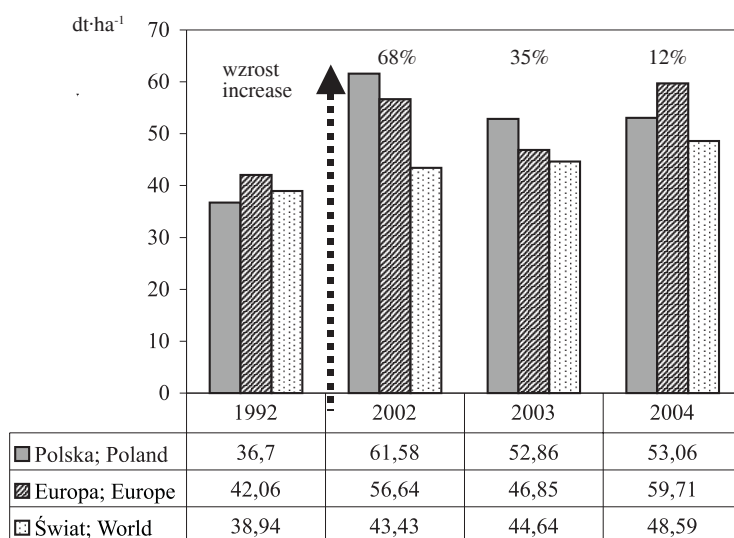
ABSTRAKT: W trzyletnim doświadczeniu polowym, prowadzonym w Stacji Doświadczalnej IUNG-Kępa na madzie rzecznej brunatnej, badano wpływ trzech systemów uprawy roli (uprawa tradycyjna – płużna, uproszczona i siew bezpośredni) na wybrane właściwości gleby (gęstość objętościową, uwilgotnienie i temperaturę w warstwie 0–25 cm) i plonowanie kukurydzy uprawianej na ziarno w monokulturze. Stwierdzono istotny wpływ zastosowanych sposobów uprawy roli na gęstość objętościową i temperaturę gleby oraz plon ziarna kukurydzy. W okresie wegetacji kukurydzy najwyższa, niekorzystna gęstość gleby utrzymywała się przy zastosowaniu siewu bezpośredniego (średnio $1,58 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), znacznie niższa przy uprawie uproszczonej (średnio $1,39 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), a najniższa i najkorzystniejsza dla roślin w obiektach z uprawą tradycyjną – płużną (średnio $1,24 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Zastosowane systemy uprawy roli istotnie różnicowały plon kukurydzy, w zakresie $63,1\text{--}69,8 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. Uprawa tradycyjna – płużna sprzyjała rozwojowi roślin kukurydzy poprzez poprawę właściwości fizycznych gleby ciężkiej, głównie powodując zmniejszenie gęstości objętościowej i wzrost temperatury wierzchniej warstwy gleby (0–25 cm). Największy plon ziarna kukurydzy zapewnił tradycyjny system uprawy (średnio z 3 lat badań $69,8 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$). Stwierdzono istotnie ujemną zależność plonów ziarna kukurydzy od wzrostu gęstości objętościowej badanej gleby, zgodnie z równaniem {1}: Plon ziarna kukurydzy [$\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$] = $92,83 - 19,21 \cdot \text{gęstość objętościowa gleby}$; przy współczynniku determinacji $R^2 = 87,54\%$ i poziomie istotności $p < 0,001$. Wykazano również, że plon ziarna kukurydzy był dodatnio skorelowany z temperaturą badanej gleby, zgodnie z równaniem {2}: Plon ziarna kukurydzy ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) = $-29,58 + 5,69 \cdot \text{temperatura gleby}$; przy współczynniku determinacji $R^2 = 96,17\%$ i poziomie istotności $p < 0,001$. Średnie wartości gęstości objętościowej gleby mieściły się w zakresie od $1,23 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $1,61 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a temperatury gleby od $14,6^\circ\text{C}$ do $19,0^\circ\text{C}$.

słowa kluczowe: key words:

właściwości fizyczne gleby – soil physical properties; tradycyjny system uprawy roli – conventional (ploughing) tillage, uprawa uproszczona – reduced tillage, siew bezpośredni – direct sowing, plon ziarna kukurydzy – grain yield of maize, uprawa w monokulturze – monoculture

WSTĘP

Produkcja kukurydzy w Polsce ma stuletnią historię (27, 28). Produkcja ziarna kukurydzy w ostatnich latach wzrasta w wyniku równoczesnego przyrostu powierzchni zasiewów i plonowania roślin. Powierzchnia uprawy tej rośliny na ziarno w naszym kraju w latach trzydziestych przekroczyła już 100 tys. ha, a pod koniec lat siedemdziesiątych wzrosła 7-krotnie i wynosiła około 700 tys. ha (łącznie na ziarno, kiszonkę i zielonkę). W roku 2002 areal kukurydzy uprawianej na ziarno osiągnął w Polsce 321 tys. ha, czyli tyle co w Bułgarii (321 tys. ha) i Niemczech (395 tys. ha). Interesujące jest, że w latach 1992–1996 przyrost ten wyniósł 23,6%, a w ostatnim 5-leciu (1997–2002) aż 316%. Przyrostowi powierzchni zasiewów kukurydzy towarzyszy systematyczny wzrost plonu ziarna. Największy wzrost plonu ziarna pomiędzy omawianymi okresami zanotowano w Portugalii o 44,7%, na Węgrzech o 38,6% i w Hiszpanii o 33,4%; Polska, z przyrostem plonu ziarna wynoszącym 29,2% w ostatnim 10-leciu (1992–2002), zajmuje 4 miejsce w Europie (21). Analiza wyników badań statystycznych opublikowanych przez FAO (13) wykazuje, że w ostatnim 10-leciu plon ziarna kukurydzy w Polsce oraz w Europie i na świecie szybko wzrastał, odpowiednio o 68%, 35% i 12% (rys. 1). W latach 2003 i 2004 plon ziarna kukurydzy w naszym kraju wyniósł odpowiednio: 52,9 dt·ha⁻¹ i 53,1 dt·ha⁻¹. Według danych GUS (31), powierzchnia uprawy kukurydzy w Polsce w roku 2003 wyniosła 595,6 tys. ha (w tym na ziarno 358,8 tys. ha). Natomiast w 2004 roku powierzchnia uprawy tej rośliny na ziarno wyniosła 415 tys. ha, tj. o 15,7% więcej niż w poprzednim roku.



Rys.1. Plon ziarna kukurydzy w Polsce na tle Europy i świata w latach 1992–2004 (13)
Maize grain yield in Poland, in Europe and the world in 1992–2004 (13)

Połączenie wysokiego potencjału plonowania kukurydzy (szlak fotosyntezy C4) z wczesnością i odpornością na chłody prowadzi do uzyskania mieszańców o właściwościach odpowiednich do uprawy w naszych warunkach klimatycznych. Uprawa kukurydzy na ziarno w monokulturze w systemie bezorkowym w warunkach naszego kraju wymaga dalszych systematycznych pogłębionych badań nad układem czynników: klimat–gleba–roślina. Tradycyjna uprawa roli pod kukurydżę na zbiór ziarna najczęściej opiera się na orce zimowej oraz wiosennym doprawianiu gleby (8, 9, 27, 28). Ponieważ kukurydza należy do roślin, których uprawa jest bardzo pracochłonna, stąd praktyka rolnicza poszukuje tańszych i prostszych rozwiązań w jej agrotechnice. Uproszczenia to głównie pomijanie niektórych zabiegów uprawowych, jak np. podorywki lub bronowania, spłykanie orki lub zastępowanie jej kultywatoresm czy broną talerzową (9). Obecnie stosowane są zestawy uprawowo-siewne, jak również siewniki do siewu bezpośredniego w ściernisko, z pominięciem orki (2, 6, 7, 23, 29). Uprawa bezorkowa kukurydzy jest najdalej idącym uproszczeniem, bardzo atrakcyjnym, gdyż ułatwia organizację prac polowych. Jej stosowanie budzi jednak nadal wiele kontrowersji (9, 10). Pod wpływem zastosowanych upraw bezorkowych i siewu bezpośredniego mogą powstawać niekorzystne zmiany właściwości fizycznych gleby, pogarszające warunki rozwoju systemu korzeniowego roślin i ograniczające pobieranie wody oraz składników mineralnych, szczególnie w czasie suszy lub w okresie występowania niskich temperatur (3-6, 14-18, 33, 34).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu różnych systemów uprawy roli na właściwości fizyczne: gęstość objętościową, wilgotność i temperaturę wierzchniej warstwy gleby oraz plonowanie kukurydzy uprawianej w monokulturze.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 1991–1993 w Stacji Doświadczalnej IUNG – Kępa na madzie rzecznej brunatnej o składzie granulometrycznym ılı pylastego, zaliczanej do kompleksu pszennego bardzo dobrego (tab. 1). Szczegółową lokalizację punktów badawczych wyznaczonych za pomocą GPS podano w tabeli 2. Doświadczenie założono metodą równoważnych podbloków, w czterech powtórzeniach.

Schemat doświadczenia obejmował trzy systemy przedsięwziętej uprawy roli:

- uprawa tradycyjna (jesienią orka do głębokości 25 cm, wiosną uprawki doprawiające – kultywator i wał strunowy, siew),
- uprawa uproszczona (wiosną talerzowanie i siew),
- siew bezpośredni (bez uprawy mechanicznej, wiosną oprysk Roundupem i siew).

Każdego roku stosowano nawożenie mineralne NPK w ilości: N – 120, P₂O₅ – 90, K₂O – 140 kg·ha⁻¹, przy czym fosfor i potas – jesienią we wszystkich obiektach. Na-

Tabela 1

Skład granulometryczny gleby i zawartość materii organicznej
Particle size distribution and organic matter content of soil

Wyszczególnienie Description	Głębokość; Depth (cm)		
	0–5	35–40	75–80
Procentowa zawartość frakcji o średnicy (mm): Percentage content of fraction in diameter (mm):			
1–0,1	2	2	1
0,1–0,02	30	34	45
<0,02	68	64	54
Symbol gleby; Symbol of soil	ip	ip	pli
Materia organiczna; Organic matter (%)	1,87	1,55	-

Tabela 2

Lokalizacja obiektów badawczych w doświadczeniu polowym SD IUNG – Kępa
Location of field experiment in Experimental Station IUNG – Kępa

System uprawy Tillage systems	Współrzędne geograficzne gleby Position of soil	
	N	E
Uprawa tradycyjna; Conventional tillage	51° 24' 36,2''	21° 57' 23,3''
Uprawa uproszczona; Reduced tillage	51° 24' 36,1''	21° 57' 25,0''
Siew bezpośredni; Direct sowing	51° 24' 35,9''	21° 57' 26,7''

wóz azotowy w formie saletry amonowej stosowano w jednej dawce na 2 tygodnie przed siewem.

Kukurydzę uprawiano w monokulturze i zbierano na ziarno od roku 1998 na tym samym polu doświadczalnym przy zastosowaniu trzech systemów uprawy roli. Od roku 1998 na tych samych poletkach (tj. przez 3 lata) corocznie powtarzano wszystkie systemy uprawy roli w monokulturze kukurydzy. Każdego roku po zbiorze kukurydzy jesienią – wysiewano nawozy i wykonywano orkę w obiektach z uprawą tradycyjną. Wiosną – w obiektach z uprawą tradycyjną wykonywano uprawki przedsięwzięte-doprawiające przy zastosowaniu zestawu uprawowego (kultywator + wał strunowy). W obiektach z uproszczoną uprawą wykonywano talerzowanie, zaś w obiektach bez uprawy mechanicznej stosowano na 2 tygodnie przed planowanym siewem kukurydzy oprysk Roundupem (2 l·ha⁻¹). Siew kukurydzy na głębokość 4–6 cm wykonano siewnikiem pneumatycznym „Pneumasem”, a w obiektach z siewem bezpośrednim i uproszczonym – do siewnika zastosowano przed każdą sekcją wysiewającą dodatkowo specjalnie skonstruowane elementy spulchniające glebę. Wysiewano kukurydzę odmiany KLG 2210 w zagęszczeniu 100 tys. ziarn na 1 hektar. W całym doświad-

czeniu bezpośrednio po siewie kukurydzy wykonano oprysk mieszkanką herbicydów Gesaprim 50 (2 kg·ha⁻¹) i Dual 720 EC (2 kg·ha⁻¹).

Pomiary gęstości objętościowej, wilgotności i temperatury gleby w warstwie 0–25 cm przeprowadzono w następujących fazach rozwojowych: pełnia wschodów, ukazywanie się 5 liścia, pełnia wiechowania, kwitnienie kolb, dojrzałość mleczno-woskowa i przy zbiorze. Wszystkie pomiary i pobieranie próbek glebowych wykonywano równocześnie, zawsze o tej samej godzinie (11⁰⁰). Pomiar gęstości gleby (Mg·m⁻³) wykonywano metodą wagowo-suszarkową, przy użyciu cylinderek metalowych o objętości 100 cm³, pozostawiając próbki glebowe w suszarce w temperaturze 105°C przez 48 h. Próbki glebowe o nienaruszonej strukturze pobierano z warstwy gleby 0–25 cm w czterech powtórzeniach z każdego miejsca wytypowanego do badań na polu, dla wszystkich obiektów uprawowych. Wilgotność gleby (%v/v) mierzono metodą reaktometryczną, za pomocą miernika TDR z dokładnością ±0,1%v/v, produkcji Easy Test Ltd. Lublin. Pomiary temperatury gleby (°C) wykonywano przy użyciu elektronicznego termometru firmy THERA, z dokładnością ±0,1°C.

Układ warunków pogodowych w okresie prowadzenia badań był zróżnicowany (tab. 3). We wszystkich latach (1991–1993) suma opadów w okresie wegetacji kukurydzy była mniejsza od średniej wieloletniej, przy znacznie wyższej w stosunku do średniej wieloletniej temperaturze powietrza.

Lata badań różniły się głównie rozkładem opadów i temperatury w poszczególnych miesiącach, modyfikując warunki rozwoju kukurydzy. Pierwszy rok miał najkorzystniejszy układ warunków pogodowych dla kukurydzy, mimo stosunkowo chłodnego

Tabela 3

Warunki pogodowe w okresie prowadzenia doświadczenia
Weather conditions during the experimental period

Miesiące Months	Lata; Years			Średnie wieloletnie Mean (1871–1990)
	1991	1992	1993	
Temperatura; Temperature (°C)				
V	11,8	13,7	16,9	13,4
VI	16,2	18,6	16,2	16,7
VII	20,2	20,2	17,4	18,3
VIII	18,3	22,1	17,3	17,3
IX	14,6	12,7	12,5	13,2
Średnio; Mean	16,2	17,5	16,1	15,8
Opady; Precipitation (mm)				
V	57,5	40,8	22,8	57
VI	58,7	63,2	67,5	71
VII	64,2	26,5	41,0	85
VIII	54,4	10,4	68,8	75
IX	33,4	124,1	60,6	49
Suma; Sum	268,2	265,0	260,7	337

maja, czego wyrazem były największe plony ziarna. Natomiast drugi rok był suchy i bardzo upalny, szczególnie silna susza wystąpiła w sierpniu, gdy suma opadów wyniosła zaledwie 10,4 mm (przy średniej z wielolecia 75 mm), przy jednocześnie wysokich temperaturach powietrza (aż o 4,8°C wyższych od średniej wieloletniej). Ponadto w drugim roku we wrześniu wystąpiły obfite opady (124,1 mm), które stanowiły prawie połowę sumy opadów z okresu maj-wrzesień. Taki przebieg pogody był niekorzystny dla kukurydzy i przyczynił się do wcześniejszego zasychania liści, a następnie całych roślin. Na skutek takich warunków pogodowych ziarno kukurydzy uzyskało dojrzałość pełną już pod koniec sierpnia i plon był w tym roku najmniejszy. W trzecim roku wprawdzie opady były niższe od średniej wieloletniej, ale miały równomierny rozkład w całym okresie wegetacji i plony ziarna kukurydzy były stosunkowo duże. Ogólnie można stwierdzić, że we wszystkich latach badań w okresie wegetacji kukurydzy temperatura była korzystna (wyższa od średniej wieloletniej), ale odnotowano niedobór opadów, zwłaszcza latem 1992 roku.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wykazano istotny wpływ systemów uprawy roli na gęstość objętościową gleby (tab. 4). W okresie wegetacji kukurydzy największa, niekorzystna gęstość badanej gleby utrzymywała się przy zastosowaniu siewu bezpośredniego (średnio 1,58 Mg·m⁻³), mniejsza przy uprawie uproszczonej (średnio 1,39 Mg·m⁻³), a najmniejsza i zarazem najkorzystniejsza dla roślin była w obiektach z uprawą tradycyjną (średnio 1,24 Mg·m⁻³). W poszczególnych latach obserwowano podobną tendencję zmian gęstości gleby, przy czym największe wartości tego parametru (średnio 1,61 Mg·m⁻³) uzyskano w trzecim roku, w obiektach z siewem bezpośrednim. Na uwagę zasługuje również fakt, że

Tabela 4

Średnia wartość gęstości objętościowej gleby (Mg·m⁻³) w warstwie 0–25 cm w zależności od różnych systemów uprawy roli pod kukurydzą w monokulturze

The mean values of soil bulk density (Mg·m⁻³) in the 0–25 cm layer in the different tillage systems with maize in monoculture

System uprawy Tillage systems	Lata; Years			Średnia dla uprawy Mean for tillage
	1991	1992	1993	
Uprawa tradycyjna Conventional tillage	1,23	1,26	1,24	1,24
Uprawa uproszczona Reduced tillage	1,37	1,42	1,37	1,39
Siew bezpośredni Direct sowing	1,55	1,59	1,61	1,58
Średnio; Mean	1,38	1,42	1,41	1,40
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$) dla; for:	lat; years = 0,02 upraw; tillage = 0,02 interakcji (lata × uprawa); interaction (years × tillage) = 0,03			

w drugim roku badań, gdy opady atmosferyczne w lipcu i sierpniu były bardzo niskie (odpowiednio: 26,5 i 10,4 mm), odnotowano wzrost gęstości gleby w obiektach z uprawą tradycyjną (1,26 Mg·m⁻³) i uprawą uproszczoną (1,42 Mg·m⁻³).

Również Carter i in. (2) przy zastosowaniu trzech systemów uprawy roli: płuznego, uproszczonego i siewu bezpośredniego podczas uprawy kukurydzy w 6-letniej monokulturze uzyskali najwyższe gęstości gleby w siewie bezpośrednim na głębokości 0–8 cm (odpowiednio 1,09, 1,14, 1,15 Mg·m⁻³). W badaniach tych 6-letnia uprawa kukurydzy z siewu bezpośredniego zmniejszyła o 10% ilość makroporów w glebie, a także spowodowała zmniejszenie aeracji gleby, określonej na podstawie wydatku dyfuzji tlenu (ODR). Lal i Ahmadi (19) stwierdzili, że gęstość gleby gliniasto-pylistej była skorelowana z rodzajem zastosowanej uprawy roli. Po 11 latach stosowania uprawy płuznej uzyskano najmniejszą gęstość gleby 1,31 Mg·m⁻³ w porównaniu z uprawami uproszczonymi. Również Czyż i Tomaszewska (6) w badaniach nad różnymi systemami uprawy roli pod kukurydżę stwierdziły najmniejszą gęstość gleby przy uprawie tradycyjnej z mulczowaniem oraz jej wzrost pod wpływem stosowania uproszczeń w uprawie roli.

Stwierdzono, że obydwa uproszczenia uprawy roli, tj. zastąpienie orki talerzowaniem i siew bezpośredni, pod kukurydżę w trzyletniej monokulturze mają różny wpływ na uwilgotnienie gleby w warstwie 0–25 cm (tab. 5). Zastosowanie uprawy uproszczonej (tj. talerzowania) nie zwiększało istotnie uwilgotnienia gleby w stosunku do tradycyjnej uprawy płuznej, natomiast wilgotność gleby w obiektach z siewem bezpośrednim była istotnie większa.

Pozytywne oddziaływanie siewu bezpośredniego na większe uwilgotnienie gleby w porównaniu z uprawą płuzną i bezorkową wykazali Malicki i Podstawka-Chmielew-

Tabela 5

Średnie wartości uwilgotnienia gleby (% v/v) w warstwie 0–25 cm w zależności od różnych systemów uprawy roli pod kukurydżę w monokulturze

The mean of soil water content (% v/v) in the 0–25 cm layer in the different tillage systems with maize in monoculture

System uprawy Tillage systems	Lata; Years			Średnia dla uprawy Mean for tillage
	1991	1992	1993	
Uprawa tradycyjna Conventional tillage	14,1	16,6	16,5	15,7
Uprawa uproszczona Reduced tillage	15,8	17,6	17,8	17,1
Siew bezpośredni Direct sowing	16,6	18,0	18,1	17,6
Średnio; Mean	15,5	17,4	17,5	16,8
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$) dla: for:	lat; years = 1,8 upraw; tillage = 1,8 interakcji (lata × uprawa); interaction (years × tillage) = 2,3			

ska (26). W badaniach przeprowadzonych na rędzinie stwierdzili, że wierzchnia warstwa gleby, niezależnie od warunków pogodowych podczas sezonu wegetacyjnego, przeciętnie odznaczała się istotnie większą wilgotnością w przypadku bezpośredniego siewu roślin, przy czym zależność ta wyraźniej uwidaczniała się przy mniejszej ilości opadów atmosferycznych. Pod wpływem zastosowanych uproszczeń uprawy roli wzrost zapasu wody w warstwie gleby 0–25 cm uzyskali również Dzienia i in. (12). W czteroletnich badaniach nad wpływem stosowania uproszczeń uprawy roli pod kukurydzę na właściwości fizyczne gleby Majchrzak i in. (25) również stwierdzili wyższą wilgotność gleby po zastosowanie siewu bezpośredniego w porównaniu z uprawą płużną.

Badania wykazały istotny wpływ systemów uprawy na różnicowanie temperatury gleby w warstwie 0–25 cm (tab. 6). W okresie wegetacji kukurydzy najwyższa średnia temperatura gleby utrzymywała się przy zastosowaniu uprawy tradycyjnej (średnio 17,4°C), niższa przy uprawie uproszczonej (średnio 16,7°C), a najniższa w obiektach z siewem bezpośrednim (średnio 16,2°C).

Tabela 6

Średnie wartości temperatury gleby (°C) w warstwie 0–25 cm w zależności od różnych systemów uprawy roli pod kukurydzę w monokulturze
The mean values of soil temperature (°C) in the 0–25 cm layer in the different tillage systems with maize in monoculture

System uprawy Tillage systems	Lata; Years			Średnia dla uprawy Mean for tillage
	1991	1992	1993	
Uprawa tradycyjna Conventional tillage	17,6	15,6	19,0	17,4
Uprawa uproszczona Reduced tillage	17,1	14,8	18,3	16,7
Siew bezpośredni Direct sowing	17,0	14,6	17,2	16,2
Średnia; Mean	17,2	15,0	18,2	16,8
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$) dla: for: lat; years = 0,5 upraw; tillage = 0,5 interakcji (lata \times uprawa); interaction (years \times tillage) = 1,2				

Tę zależność potwierdzają wyniki prac prowadzonych przez Rochette i in. (30), w których również stwierdzono niższe temperatury gleby przy uprawie zerowej w porównaniu z uprawą płużną roli pod kukurydzę. W okresie wegetacji kukurydzy, tj. od maja do października, temperatura gleby była stale niższa w uprawie zerowej w porównaniu z uprawą płużną, jedynie pod koniec października (tj. po 300. dniu danego roku) odnotowano jednakowe temperatury gleby. Z kolei badania Majchrzaka i in. (25) wskazują, że mulczowanie w obiektach z siewem bezpośrednim powoduje istotne ograniczenie nagrzewania się gleby w stosunku do uprawy tradycyjnej. Różni-

ce te ulegały zmniejszeniu w trakcie wegetacji roślin, a w okresie zbioru kukurydzy temperatura gleby była wyższa w obiektach z siewem bezpośrednim. Istotny wpływ temperatury gleby na rozwój i plonowanie kukurydzy był stwierdzony w wielu pracach (1, 14-17, 30). Według Fracheboud i in. (14) temperatura gleby na głębokości siewu kukurydzy powinna wynosić 8–10°C. Natomiast dla prawidłowego rozwoju roślin w czasie kiełkowania na głębokości 5,0–7,5 cm powinna wynosić co najmniej 12°C, szczególnie w okresie pierwszych trzech i kolejnych dni wzrostu. Badacze ci stwierdzili, że przy temperaturze poniżej 12°C wzrost kukurydzy jest powolny, a liście rośliny charakterystycznie wybarwiają się na purpurowo. W badaniach tych wykazano, że temperatura powyżej 15°C jest czynnikiem zwiększającym plon kukurydzy. Doświadczenia przeprowadzone przez Guillioni (17) nad wczesnością faz rozwojowych kukurydzy wskazują, że temperatura na szczycie młodych roślin jest wyższa niż temperatura powietrza i niższa niż temperatura gleby.

Wykazano istotny wpływ systemów uprawy roli na plonowanie kukurydzy (tab. 7). Plon ziarna kukurydzy w zależności od systemu uprawy roli wahał się, średnio z 3 lat badań, od 63,1 do 69,8 dt·ha⁻¹. Obniżki plonu ziarna szczególnie silnie ujawniły się w suchym 1992 roku. Plonowanie ziarna kukurydzy w monokulturze, w poszczególnych latach było zmienne, ale największy plon uzyskiwano w obiektach z uprawą tradycyjną. Stwierdzone zmiany właściwości fizycznych gleby przy uprawie kukurydzy na ziarno w monokulturze wykazały korzystny wpływ uprawy tradycyjnej – płużnej w porównaniu z uprawą uproszczoną i siewem bezpośrednim (tab. 3 i 5). Uprawa płużna sprzyjała rozwojowi roślin kukurydzy poprzez poprawę niektórych właściwości fizycznych gleby ciężkiej, głównie powodując zmniejszenie gęstości objętościowej i wzrost temperatury w wierzchniej gleby (0–25 cm).

Spadek plonu kukurydzy pod wpływem uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego na skutek pogorszenia warunków glebowych w stosunku do uprawy tradycyjnej stwierdzili również m.in. Roszak i in. (32). Również Machul (24), w badaniach

Tabela 7

Plon ziarna kukurydzy (dt·ha⁻¹) pod wpływem różnych systemów uprawy roli
Effect of tillage systems on the grain yield of maize (dt·ha⁻¹)

System uprawy Tillage systems	Lata; Years			Średnia dla uprawy Mean for tillage
	1991	1992	1993	
Uprawa tradycyjna Conventional tillage	84,3 (100%)*	54,6 (100%)	70,5 (100%)	69,8 (100%)
Uprawa uproszczona Reduced tillage	78,3 (-7%)	45,8 (-16%)	69,9 (-1%)	64,7 (-7%)
Siew bezpośredni Direct sowing	72,7 (-14%)	45,6 (-17%)	70,9 (+1)	63,1 (-9%)
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	5,99	5,55	r.n.	3,21

r.n. – różnice nieistotne; not significant

w nawiasach podano: obniżkę (-) lub wzrost (+) plonu ziarna kukurydzy w stosunku do uprawy tradycyjnej = 100%; in parentheses: reduction (-) or increase (+) of maize yield in relation to traditional tillage = 100%

wpływu uproszczeń w uprawie roli pod kukurydzę w 5-letniej monokulturze, stwierdził spadek plonu ziarna: o 6,2% w uprawie uproszczonej i o 9,4% w siewie bezpośrednim w porównaniu z uprawą tradycyjną. Z kolei Dubas i Menzel (9) otrzymywali zawsze mniejsze plony ziarna kukurydzy z obiektów bez orki i z siewu bezpośredniego w stosunku do uprawy płuznej, a obniżka ta w poszczególnych latach wahała się od 0,2 do 41,4%. Natomiast niezależnie od systemu uprawy roli Dick i in. (7) wykazali istotny wpływ stosunków wodnych gleby na plon ziarna kukurydzy. W korzystnych warunkach pogodowych i wilgotnościowych obiekty w systemie siewu bezpośredniego zapewniły większy plon kukurydzy (8,84 t·ha⁻¹) niż w systemie uprawy płuznej (8,08 t·ha⁻¹).

Statystyczna analiza regresji liniowej wykazała istotne zróżnicowanie plonów ziarna kukurydzy w zależności od gęstości objętościowej badanej gleby (Mg·m⁻³). Zależność tę można wyrazić za pomocą równania:

$$\text{Plon ziarna kukurydzy [dt·ha}^{-1}\text{]} = 92,83 - 19,21 \cdot \text{gęstość gleby } \{1\}$$

$$(R^2 = 87,54\%; n = 36; p < 0,001)$$

Otrzymane wyniki wskazują, iż plon ziarna kukurydzy może istotnie się zmniejszać w wyniku wzrostu zagęszczenia gleby pod wpływem uprawy roli. Można zatem stwierdzić, że czynnikiem, który ogranicza rozwój kukurydzy w okresie wegetacji jest m.in. silne zagęszczenie gleby, oraz związane z tym niekorzystne zmiany warunków aeracyjnych i termicznych, co w efekcie może być przyczyną zmniejszenia produktywności roślin. Wcześniejsze badania autorki wykazały, że wśród parametrów fizycznych gleby, które w największym stopniu oddziałują na rozwój roślin uprawnych, są między innymi: gęstość objętościowa, zwięzłość gleby i układ stosunków powietrzno-wodnych (3-6).

Przeprowadzona analiza regresji dowiodła, że wzrost temperatury gleby (°C), niezależnie od innych czynników, zwiększał plon ziarna kukurydzy. Wzrost ten miał charakter liniowy, zgodnie z równaniem:

$$\text{Plon ziarna kukurydzy [dt·ha}^{-1}\text{]} = -29,58 + 5,69 \cdot \text{temperatura gleby } \{2\}$$

$$(R^2 = 96,17\%; n = 36; p < 0,001)$$

Zagadnienia zmian właściwości fizycznych gleb pod wpływem różnych systemów uprawy roli i kształtowanie się plonowania kukurydzy były przedmiotem zarówno badań krajowych, jak i zagranicznych (6, 7, 11, 12, 24, 32). Pod wpływem upraw bezorkowych i siewu bezpośredniego mogą następować niekorzystne zmiany warunków fizycznych gleby powodujące zmniejszenie plonu roślin. Wzrost gęstości gleby m.in.: ogranicza natlenienie w głębszych warstwach gleby i zmniejsza dostępność składników pokarmowych dla korzeni roślin (4), obniża temperaturę gleby i ogranicza pobieranie składników pokarmowych wywołując u roślin tzw. „głód fosforowy” (14). Obniżenie temperatury gleby zakłóca metabolizm roślin, to uwidacznia się w ich rozwoju – ulega zmianie pokrój liści kukurydzy, ich proporcje m.in. stosunek długości do szerokości (15). Zbytne zagęszczenie gleby wywołuje zmniejszenie aeracji i obniżenie temperatury gleb oraz ogranicza dostępność tlenu, wody i składników odżywczych dla korzeni roślin. W efekcie tego ograniczeniu ule-

ga proces fotosyntezy, rozwój systemu korzeniowego i następuje spadek plonu. Te niekorzystne zjawiska pogłębiają się szczególnie w warunkach suszy lub w okresie występowania niskich temperatur (1, 11, 14-17, 20, 22, 33, 34).

Dane literaturowe (11, 24, 32) potwierdzają wyniki badań własnych, które wskazują, że systemy uprawy roli wpływają istotnie na właściwości gleb i plonowanie roślin. Wielu autorów w pracach dotyczących sposobów uprawy roli określa jedynie wielkość strat lub wzrost badanych parametrów (6, 10-12, 19, 20, 24, 32). W przedstawionej pracy, oprócz przeprowadzenia analizy ilościowej zmian parametrów fizycznych gleby (gęstości objętościowej, uwilgotnienia, temperatury gleby) i plonu ziarna kukurydzy pod wpływem trzech systemów uprawy roli w krótkiej 3-letniej monokulturze; wykazano, że plon ziarna kukurydzy był skorelowany ujemnie ze wzrostem gęstości objętościowej gleby i dodatnio ze wzrostem temperatury gleby.

WNIOSKI

1. Stwierdzono istotny wpływ systemów uprawy roli na zmiany gęstości objętościowej i temperatury wierzchniej warstwy gleby (0–25 cm) oraz plon ziarna kukurydzy w monokulturze. Uprawa uproszczona tj. talerzowanie i siew bezpośredni kukurydzy spowodowały istotny wzrost gęstości objętościowej i obniżenie temperatury gleby w porównaniu z tradycyjną uprawą płużną.

2. Siew bezpośredni kukurydzy wpływał na podwyższenie uwilgotnienia gleby w porównaniu z uprawą tradycyjną, natomiast zastąpienie orki talerzowaniem nie zwiększyło istotnie zawartości wody w glebie.

3. Największy plon ziarna kukurydzy w 3-letniej monokulturze zapewnił tradycyjny-płużny system uprawy. Obniżka plonu w systemie uproszczonym wynosiła 7%, a przy siewie bezpośrednim – 9% w stosunku do systemu uprawy płużnej.

4. Płużna uprawa roli zastosowana w produkcji kukurydzy na ziarno w 3-letniej monokulturze wpływała na poprawę właściwości fizycznych gleby ciężkiej, powodując istotne zmniejszenie gęstości objętościowej i podwyższenie temperatury gleby w wierzchniej warstwie (0–25 cm) w stosunku do uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego.

5. Plon ziarna kukurydzy był ujemnie skorelowany z gęstością objętościową, a dodatkowo z temperaturą badanej gleby. Średnie wartości gęstości objętościowej gleby mieściły się w zakresie od $1,23 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $1,61 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a temperatury gleby od $14,6^\circ\text{C}$ do $19,0^\circ\text{C}$.

LITERATURA

1. Aitken Y.: The early maturing character in maize (*Zea mays* L.) in relation to temperature and photoperiod. *Z. Acker- und Pflanzenbau*, 1980, 149: 89-106.
2. Carter M.R., White R.P., Ivany J.A.: Characterizing macropore continuity and aeration in fine sandy loams in tillage studies. *Proc. of 13th International Conference ISTRO: Soil Tillage for Crop Production and Protection of the Environment*, 1994, I: 7-12.

3. Czyż E., Tomaszewska J., Dexter A. R.: Response of spring barley to changes of compaction and aeration of sandy soil under model conditions. *Int. Agrophys.*, 2001, 15/1: 9-12.
4. Czyż E.: Wpływ zagęszczenia gleb mineralnych w różnych warunkach uwilgotnienia na ich aercję, potencjał oksydoredukcyjny i zawartość azotu azotanowego i amonowego. Wyd. IUNG Puławy, 1992, R (300): 53-68.
5. Czyż E.A. Tomaszewska J.: Effect of preplant soil tillage in maize monoculture on soil physical properties. *Proc. of 13th International Conference ISTRO: Soil Tillage for Crop Production and Protection of the Environment*, 1994, I: 91-93.
6. Czyż E.A.: Effects of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley. *Soil Till. Res.*, 2004, 79(2): 153-166.
7. Dick W.A., Thomison P.R., Jordan D.M., Bishop B.L.: Yield response of maize hybrids to long-term application of no-tillage. *Proc. of 13th International Conference ISTRO: Soil Tillage for Crop Production and Protection of the Environment*, 1994, II: 931-936.
8. Dubas A., Drzymala St., Menzel L.: Long-term tillage minimization in maize (*Zea mays* L.) grown in monoculture. VII Congress of the European Society for Agronomy, Cordoba, 2002.
9. Dubas A., Menzel L.: Uprawa kukurydzy w systemie bezorkowym po różnych przedplonach. *Wyd. Fol. Univ. Agric. Stetin.* 195, *Agricultura*, 1999, 74: 145-155.
10. Dubas A.: Stan i perspektywy uprawy kukurydzy w Polsce. *Wiś Jutra*, 2000, 6(47).
11. Dubas A.: Uproszczenia w uprawie roli pod kukurydze. *Raport Rolny* 28, listopad 2003. www.Raportrolny.pl
12. Dzenia St., Karnaś E., Sosnowski A.: Porównanie systemów uprawy roli w zmianowaniu zbożowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1988, 356: 149-156.
13. FAOSTAT. *Agriculture Data*. <http://www.fao.org/> 2003.
14. Fracheboud Y, Ribaut J-M, Vargas M, Messmer R, Stamp P.: Identification of quantitative trait loci for cold-tolerance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.). *J. Exp. Bot.*, 2002, 53: 1967-1977.
15. Giauffret C., Bonhomme R., Derieux M.: Genotypic differences for temperature response of leaf appearance rate and leaf elongation rate in field-grown maize. *Agronomie*, 1995, 15: 123-127.
16. Giauffret C., Derieux M.: Genetic variation for heterotrophic growth in maize in relation to temperature. *Agronomie*, 1991, 11: 75-82.
17. Guillioni L., Cellier P., Ruget F., Nicoulaud B., Bonhomme R.: A model to estimate the temperature of a maize apex from meteorological data. *Agric. For. Meteorol.*, 2000, 100: 213-23.
18. Kovar J. L., Kladvik E. J., Griffith D. R.: Characterization of soil temperature, water content, and maize root distribution in two tillage systems. *Soil Till. Res.*, 1992, 24(1): 11.
19. Lal R., Ahmadi M.: Axle load and tillage effects on crop yield for two soils in Central Ohio. *Soil Till. Res.*, 2000, 54: 111-119.
20. Lal R.: Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and no mulched tropical soils. *Plant Soil*, 1974, 40: 129-143.
21. Lipski S., Machul M.: Regionalne uwarunkowania uprawy kukurydzy w Polsce. *Pam. Puł.*, 2001, 124: 305-311.
22. Lipski S.: Produkcja kukurydzy w Polsce i w Europie. *Pam. Puł.*, 2003, 132: 295-302
23. Machul M.: Uprawa roli pod kukurydzą i możliwości jej uproszczenia. *Wiś Jutra*, 2002, 47: 32-33.
24. Machul M.: Wpływ przedsięwziętego przygotowania roli na plonowanie kukurydzy uprawianej w pięcioletniej monokulturze. *Pam. Puł.*, 1995, 106: 47-62.
25. Majchrzak L., Skrzypczak G., Piechota T.: Wpływ uproszczenia uprawy roli pod kukurydzą na fizyczne właściwości gleby. *Fragm. Agron.*, 2004 (XXI), 3(83): 107-119.
26. Malicki L., Podstawka-Chmielewska E.: Wpływ systemu uprawy roli na wilgotność wierzchniej warstwy rędziny. *Fol. Univ. Agric. Stetin.*, 195 *Agricultura*, 1999, 74: 15-23.
27. Michalski T.: Dni kukurydzy w OHZ Oświęciny, 28 listopada 2003. *Raport Rolny*, 2003: Internetowy magazyn rolniczy: www.raportrolny.pl
28. Michalski T.: *Kukurydza*. KPK, luty 2004, nr 1. www.Kukurydza.org.pl

29. Pudelko J., Wright D.L., Śpitalniak J.: Wybrane poglądy na uproszczenia uprawowe w południowo-wschodnich stanach USA. Roczn. AR Poznań, CCLXXXV, 1996, 48: 85-99.
30. Rochette P., Angers D.A., Flanagan L.B.: Maize residue decomposition measurement using soil surface carbon dioxide fluxes and natural abundance of Carbon-13. Soil Sci. Soc. Am. J., 1999, 63: 1385-1396.
31. Rocznik statystyczny. GUS, Warszawa, 2003.
32. Roszek W., Radecki A., Opic J.: Możliwość zastosowania siewu bezpośredniego w warunkach Polski Centralnej. Konf. Nauk.: Siew bezpośredni w teorii i praktyce. Szczecin-Barzkowice, 1995, 21-26.
33. Tollenaar M., Hunter R.B.: A photoperiod and temperature sensitive period for leaf number in maize. Crop Sci., 1983, 23: 457-460.
34. Tollenaar M., Lee E.A.: Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field Crops Res., 2002, 75: 161-170.

PODZIĘKOWANIE

Składam serdeczne podziękowanie Panu Dr. Marianowi Machulowi z Zakładu Uprawy Roślin Państwowych IUNG Puławy za umożliwienie mi przeprowadzenia badań w doświadczeniu polowym ZD Kępa IUNG, możliwość analizy danych roślinnych oraz cenne wskazówki.

EFFECTS OF DIFFERENT SOIL TILLAGE SYSTEMS ON SOME SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND YIELD OF MAIZE IN MONOCULTURE

Summary

The effects of different soil tillage systems on physical properties of heavy soil and grain yield of maize were investigated in a three year field experiment. The study was conducted at the Experimental Station IUNG in Kępa. The paper shows the results for soil physical properties (soil bulk density, water content, soil temperature) in the 0–25 cm layer in the three different tillage systems: traditional (ploughing), reduced tillage and direct sowing. Significant effects of tillage systems on soil bulk density, soil temperature and grain yield of maize were found. The value of soil bulk density, mean of three years, was highest with direct drilling ($1.58 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), lower with reduced tillage ($1.39 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), and the lowest with conventional (ploughing) tillage ($1.24 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$). The value of yield of maize, mean of three years, ranged between 63.1 to $69.8 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, was negatively correlated with soil bulk density, as described by the linear equation {1}: Grain yield of maize [$\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$] = $92.83 - 19.21 \cdot \text{soil bulk density}$; ($R^2 = 87.54\%$; $p < 0.001$) and positively with temperature of soil, as described by the linear equation {2}: Grain yield of maize [$\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$] = $-29.58 + 5.69 \cdot \text{soil temperature}$; ($R^2 = 96.17\%$; $p < 0.001$). The values of soil bulk density, mean of three years, ranged from $1.23 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ to $1.61 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, and soil temperature from 14.6°C to 19.0°C .

Praca wpłynęła do Redakcji 15 XII 2004 r.