

Alicja Pecio, Zuzanna Jarosz

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

WPLYW ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE GLEB*

Słowa kluczowe: zabiegi agrotechniczne, właściwości chemiczne gleb, metaanaliza

Wstęp

Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego jest obecnie głównym wyzwaniem dla rolnictwa. Zwiększanie wielkości produkcji, możliwe dzięki intensywnej uprawie roli czy stosowaniu dużych dawek nawozów, zwłaszcza mineralnych, może prowadzić do niekorzystnych skutków ekologicznych, w tym zaburzeń podstawowych funkcji gleby. Zgodnie z ideą rolnictwa zrównoważonego efektywnej produkcji bezpiecznej żywności o wysokiej jakości powinna towarzyszyć troska o stan środowiska naturalnego. Dlatego wciąż poszukuje się najlepszych praktyk agrotechnicznych, które z jednej strony pozwalają na efektywne wykorzystanie zasobów naturalnych, a z drugiej sprzyjają utrzymaniu, czy nawet poprawie żyzności gleb.

Właściwe zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe zapewnia się na ogół poprzez stosowanie nawozów mineralnych w odpowiednich formach, terminach i dawkach. O jakości gleby w dużej mierze decyduje jednak zawartość substancji organicznej. Dlatego niezbędne jest stosowanie praktyk, których celem jest utrzymanie na właściwym poziomie lub zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej. Spośród takich praktyk należy wymienić: ograniczenie intensywności zabiegów uprawy roli, odpowiedni dobór roślin w zmianowaniu, stosowanie nawozów zielonych, przyorywanie resztek poźniwnych oraz zastępowanie nawożenia mineralnego przez nawozy organiczne.

Zmniejszenie intensywności zabiegów uprawy roli poprzez zminimalizowanie ich głębokości i odejście od odwracania gleby ma na celu ograniczenie procesów mineralizacji, a tym samym zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie (1, 2,

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

26, 36, 73). Pomimo braku jednoznacznych wyników potwierdzających skuteczność tej techniki uprawy roli w zwiększaniu sekwestracji węgla w glebie (7, 37, 39), bez wątplenia wiąże się ona z mniejszym zużyciem paliw płynnych wykorzystywanych w procesie produkcji roślinnej. Stosowanie nawozów zielonych z roślin bobowatych czy odchodów zwierzęcych jako nawozów naturalnych oraz przyorywanie resztek poźniwnych (3, 11, 20, 45, 67, 68) stanowi alternatywę dla nawozów syntetycznych. Nawozy zielone i resztki poźniwne przyczyniają się do poprawy żyzności gleby, w tym stymulacji aktywności mikroorganizmów, ochrony przed szkodnikami, ograniczenia procesów erozji gleb. Rośliny pozostawione jesienią na polu zmniejszają wymywanie składników pokarmowych po zbiorach roślin oraz mogą być tanim źródłem energii i składników pokarmowych dla roślin następczych (14, 16, 29). Nawozy zielone sprzyjają sekwestracji i ochronie zasobów węgla glebowego (40, 53, 62).

Właściwa ocena skutków stosowania zabiegów agrotechnicznych jest możliwa tylko w perspektywie długoterminowej. Skumulowane często niewielkie zmiany żyzności gleby mogą być zauważalne dopiero po wielu latach, jak w przypadku zmian zawartości glebowej materii organicznej. W praktyce szacunki interakcji zmian poszczególnych parametrów jakości gleby ze zmiennością warunków meteorologicznych możliwe są jedynie w doświadczeniach wieloletnich (30).

Prezentowane poniżej badania stanowią fragment projektu Catch-C “Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to Enhance Climate Change Mitigation and Soil Health”, którego celem było udowodnienie, że tzw. Najlepsze Zabiegi Agrotechniczne (*Best Management Practices – BMPs*) są efektywne nie tylko w utrzymaniu wysokiego plonowania roślin uprawnych, redukcji kosztów uprawy i łagodzeniu zmian klimatycznych, ale wpływają także na poprawę chemicznej, fizycznej i biologicznej jakości gleby. Praca przedstawia wyniki ekstensywnej metaanalizy danych dotyczących wpływu zabiegów agrotechnicznych na wybrane właściwości chemiczne gleb, które pobrano z opublikowanych doświadczeń wieloletnich prowadzonych w zróżnicowanych warunkach glebowych i klimatycznych na terenie całej Europy. W analizie uwzględniono następujące wskaźniki: odczyn pH gleby, zawartość N ogółem, zasób N ogółem, stosunek C:N, zawartość mineralnych form azotu (N_{min}) oraz przyswajalnych form potasu i fosforu.

Material i metody

Metaanalizę wykonano w latach 2012-2014 w ramach projektu Catch-C “Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to Enhance Climate Change Mitigation and Soil Health” (7PR), realizowanego przez konsorcjum partnerów z 18 krajów europejskich. Podstawę stanowiła wspólna interaktywna biblioteka utworzona na platformie Zotero (www.zotero.org), na której zgromadzono 733 oryginalne publikacje prezentujące wyniki wieloletnich doświadczeń polowych prowadzonych na terenie całej Europy.

Dane dotyczące wpływu zabiegów agrotechnicznych na właściwości chemiczne gleby pochodziły z internetowej bazy danych sukcesywnie uzupełnianej wynikami doświadczeń przez wszystkich partnerów. Obejmowały one 59 doświadczeń wieloletnich i stanowiły 1044 rekordy. Analizowano następujące parametry: odczyn pH, zawartość azotu ogólnego, zasób azotu ogólnego, stosunek C:N, zawartość azotu mineralnego (N_{min}) oraz przyswajalnych form potasu (Kprzysw) i fosforu (Przysw). Spośród zabiegów agrotechnicznych uwzględniono: zmianowanie, stosowanie poplonów i roślin okrywowych (zabieranych z pola) oraz przyorywanie nawozów zielonych, siew bezpośredni, uprawę uproszczoną, nawożenie mineralne, nawożenie kompostem, obornikiem, gnojowicą oraz przyorywanie resztek poźniwnych. W badaniach nie uwzględniono wskaźnika zawartości węgla organicznego w glebie, który był przedmiotem odrębnej analizy w zakresie łagodzenia zmian klimatu.

Wpływ stosowanych zabiegów agrotechnicznych na właściwości chemiczne gleb analizowano z wykorzystaniem relatywnego wskaźnika reakcji (*Response Ratio RR*). Wskaźnik ten obliczano jako iloraz wartości danej cechy gleby uzyskanej w wyniku zastosowania badanego zabiegu w stosunku do zabiegu referencyjnego. Jako zabiegi referencyjne przyjęto: dla uprawy w zmianowaniu – uprawę w monokulturze, dla stosowania poplonów/roślin okrywowych i zielonych nawozów – ich brak, dla uprawy w siewie bezpośrednim i uprawy uproszczonej – konwencjonalną uprawę orkową, dla nawożenia mineralnego – brak nawożenia, dla nawożenia organicznego – stosowanie nawozu mineralnego w dawce wnoszącej taką samą ilość azotu, dla przyorywania resztek poźniwnych – ich zabieranie z pola. Porównywano zabiegi wykonywane w ramach tego samego doświadczenia i tej samej rotacji zmianowania. Wskaźnik reakcji RR (nazwa parametru) dla zabiegów referencyjnych przyjmował zawsze wartość 1. Wartość większą od 1 uzyskiwano, gdy badany zabieg agrotechniczny wpływał na zwiększenie wartości analizowanego parametru w stosunku do zabiegu referencyjnego, a wartość mniejszą od 1 – gdy ją zmniejszał.

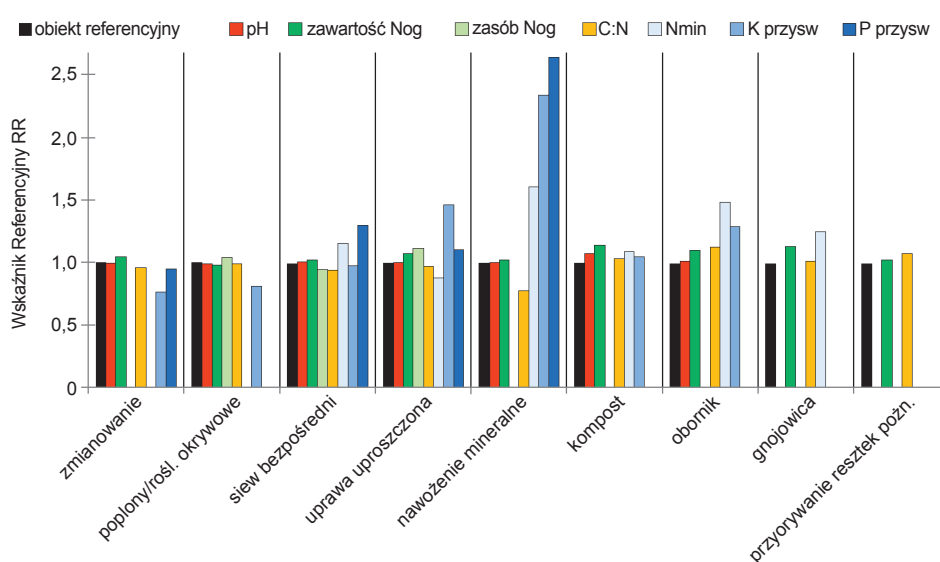
Analizy statystyczne wykonywano z zastosowaniem pakietu Statgraphics Centurion v. XVI. Każdy zbiór wskaźników reakcji RR określonego parametru na stosowanie danego zabiegu agrotechnicznego analizowano pod kątem normalności rozkładu i charakterystyki opisowej, w której uwzględniono: liczbę danych, średnią i odchylenie standardowe, minimum i maksimum. Istotność różnicy pomiędzy wartością RR danej cechy a wartością 1 określano na podstawie testu t-Studenta z prawdopodobieństwem $p < 0,05$. Następnie za pomocą liniowego modelu regresji wielokrotnej sprawdzano, czy czynniki, takie jak: klimat, skład granulometryczny gleby, głębokość pobierania próbek i czas trwania doświadczenia modyfikowały wpływ zabiegów agrotechnicznych na wielkość wskaźników reakcji RR. W tym celu wśród czynników tj. klimat, skład granulometryczny gleby i czas trwania doświadczenia wydzielono 4 poziomy, a głębokość pobierania próbek podzielono na 3 poziomy (tab. 1). Za pomocą testu-t określono z prawdopodobieństwem 95% istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami cech na różnych poziomach czynników (51).

cd. tab. 2

Zabieg agrotechniczny	pH	Zawartość Nog	Zasób Nog	C:N	Zawartość Nmin	Zawartość	
						Kprzysw	Pprzysw
Siew bezpośredni	1,00	1,02	0,94	0,94	1,15*	0,97	1,30***
Uprawa uproszczona	1,00	0,07***	1,11**	0,97	0,87	1,46***	1,10***
Brak nawożenia min. (ref)	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Nawożenie mineralne	1,00	1,02***	-	0,77	1,60***	2,33***	2,64***
Nawóz mineralny (minN) (ref)	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Kompost	1,07***	1,14***	-	1,03	1,09*	1,04	-
Obornik	1,01	1,10***	-	1,12**	1,48***	1,28	-
Gnojowica	-	1,13***	-	1,01	1,25***	-	-
Usuwanie resztek poźniwnych (ref)	1,00	1,00	-	1,00	-	-	-
Przyorywanie resztek poźniwnych	-	1,02**	-	1,07*	-	-	-

*** $p < 0,02$; ** $0,02 \leq p < 0,05$; * $0,05 \leq p < 0,1$

„-“ – zbyt mała liczba danych do analizy statystycznej



Rys. 1. Wpływ zabiegów uprawy roli na wartość wskaźnika reakcji RR właściwości chemicznych gleb

Źródło: opracowanie własne

Najsilniejszą reakcję na stosowanie nawożenia mineralnego stwierdzono dla Nmin, Kprzysw i Pprzysw. Stosowanie nawozów organicznych i technik uproszczonej uprawy roli oraz uprawa roślin w zmianowaniu oprócz wzrostu zawartości przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie było efektywne również dla wskaźników zasobności gleby w azot całkowity. Nawożenie kompostem okazało się jedynym spośród badanych zabiegów poprawiającym odczyn pH gleby. Nawożenie obornikiem oraz przyorywanie resztek poźniwnych wpływało na poszerzenie stosunku C:N.

Uwzględniając wszystkie wskaźniki reakcji RR oraz statystyczną ocenę ich istotności, a także ilość wskaźników reagujących pozytywnie i wielkość tej reakcji, za najlepsze zabiegi agrotechniczne uznano:

- stosowanie obornika,
- uproszczoną uprawę roli,
- nawożenie kompostem,
- nawożenie mineralne,
- siew bezpośredni.

Skutki stosowania obornika określano w porównaniu z zabiegiem referencyjnym, w którym wraz z nawożeniem mineralnym wnoszono do gleby podobną ilość azotu mineralnego lub przyswajalnych form potasu. Stwierdzono, że obornik powodował istotny wzrost zawartości azotu ogółem oraz mineralnego w glebie oraz poszerzenie stosunku C:N, co oznacza zwiększoną akumulację węgla niż azotu. Odnotowano również silny wzrost zawartości przyswajalnych form potasu. Jednakże, ze względu na to, że oznaczenie wykonano tylko w jednym doświadczeniu, wynik w metaanalizie okazał się nieistotny. Reakcja odczynu pH gleby na nawożenie obornikiem była słaba, aczkolwiek nieco większy wzrost RR(pH) stwierdzono po dłuższym okresie stosowania obornika (5–10 lat). Większe przyrosty zawartości azotu ogółem występowały w zachodnich strefach klimatycznych niż północnych i wschodnich oraz na glebach gliniastych niż ilastych. Niespodziewanie większą reakcję zawartości azotu na stosowany obornik stwierdzono w okresie do 20 lat w porównaniu z dłuższym okresem (powyżej 20 lat) stosowania obornika. Wynik ten nie może być jednakże generalizowany ze względu na zróżnicowaną liczbę porównywanych danych wejściowych. Oznacza to jednak, że pozytywnych skutków nawożenia obornikiem można oczekiwać już po krótkim okresie jego aplikacji, oczywiście zależnie od stosowanych dawek. Większe wartości wskaźnika reakcji RR(C:N) stwierdzono w zachodnich niż wschodnich strefach klimatycznych oraz na glebach gliniastych niż ilastych. Istotnie większe wartości RR(C:N) odnotowano jednak w wierzchniej (0–5 cm) niż głębszej (10–30 cm) warstwie gleby. Poza tym wartość tego wskaźnika wykazywała wyraźną tendencję wzrostu wraz z czasem stosowania obornika. Nawożenie obornikiem powodowało istotny wzrost zawartości N_{min} w glebie, co oznacza, że obornik może w dużym stopniu sprzyjać jego kumulacji w glebie, a zatem również wymywaniu azotanów.

Stosowanie nawozów organicznych jest efektywnym sposobem zwiększania zawartości materii organicznej w glebie. Duże ilości azotu i węgla wnoszone wraz z obornikiem wpływają na wzrost zawartości materii organicznej i azotu ogólnego w glebie w większym stopniu niż nawozy mineralne (31). Według Uhlana (69), stosowanie obornika przyczynia się do gromadzenia nieco większych ilości N i C w glebie niż z nawozów mineralnych oraz istotnego poszerzenia stosunku C:N. Większe zawartości azotu tłumaczy się tym, że procent jego wykorzystania w roku aplikacji jest zwykle mniejszy z obornika niż nawozów mineralnych. Przewaga nawozów

organicznych nad mineralnymi polega na powolnym, ale ciągłym uwalnianiu N oraz na jednoczesnym wnoszeniu wielu makro- i mikroelementów. W badaniach wielu autorów (5, 13) stosowanie obornika skutkowało proporcjonalnym wzrostem zawartości Kprzysw w górnych warstwach profilu gleby. Dostępność K w glebie zwiększała się proporcjonalnie do ilości wnoszonego obornika. Zwykle ok. 90% potasu wnoszonego z obornikiem pozostaje w formie przystępnej dla rośliny następczej (5).

Analiza wpływu uproszczonej uprawy roli obejmowała zabiegi do głębokości ok. 10–15 cm gleby bez jej odwracania. Spośród maszyn stosowanych w doświadczeniach najczęściej powtarzała się brona talerzowa, brona obrotowa, kultywator i agregat ścierniskowy. Jako zabieg referencyjny w obliczeniach wskaźnika reakcji RR przyjęto konwencjonalną uprawę orkową do głębokości 25–30 cm, a więc uprawę z odwracaniem gleby. Uprawa uproszczona, w porównaniu z uprawą konwencjonalną, istotnie zwiększała zawartość i zasób azotu ogólnego oraz zawartość przyswajalnych form potasu i fosforu. Oznaczenia zawartości przyswajalnych form potasu wykonywano tylko w jednej, wschodniej strefie klimatycznej, w glebie gliniastej, na głębokości 10–30 cm. Największy wzrost ich zawartości, a także zasobu azotu ogółem, stwierdzono po 20 latach stosowania zabiegów uproszczonej uprawy roli. Zawartość przyswajalnych form fosforu była modyfikowana jedynie przez warunki klimatyczne, przy czym większe wartości uzyskiwano w strefie zachodniej niż wschodniej. Wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu w glebie stwierdzono w początkowych latach stosowania uprawy uproszczonej.

Przejście z uprawy orkowej na bezorkową uprawę uproszczoną z zastosowaniem kultywatora może wpływać na zmiany niemal wszystkich chemicznych właściwości gleby. Sukces uprawy bezorkowej uzależniony jest jednak od typu gleby i warunków klimatycznych. W krajach skandynawskich, tj. Dania, Finlandia, Norwegia i Szwecja najlepsze wyniki uzyskano na najcięższych glebach gliniastych, które są uważane za najtrudniejsze w uprawie orkowej (56). W warunkach uprawy uproszczonej obserwowano akumulację składników pokarmowych i materii organicznej w wierzchnich warstwach gleby oraz spadek pH po dłuższym okresie jej stosowania, a także ograniczenie wymywania azotu, przy czym uprawa wiosenna była korzystniejsza niż jesienna (25). Wykazano bowiem, że uproszczona uprawa na glinie piaszczystej wykonana wiosną spowodowała straty azotu wynoszące $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a uprawa jesienna, po której przeprowadzono jeszcze orkę – $76 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Badania Małeckiej i in. (41) prowadzone w warunkach kontynentalnego klimatu Polski wykazały, że różne systemy uprawy uproszczonej wpływały na obniżenie pH gleby w porównaniu z uprawą konwencjonalną. Ponadto Dzieńia i in. (19) oraz Hussain i in. (27) stwierdzili większe zawartości materii organicznej, azotu ogólnego oraz dostępnych form potasu w wierzchniej (0–5 cm) warstwie gleby.

Skutki stosowania kompostów roślinnych oraz sporządzanych z różnego rodzaju odpadów i osadów organicznych oceniano w porównaniu z nawożeniem mineralnym wnoszącym taką samą ilość przyswajalnych form azotu lub potasu. Stwierdzono, że

stosowanie kompostu powodowało istotny wzrost pH gleby, zawartości azotu ogółem i mineralnego, wpływało na poszerzenie stosunku C:N i wzrost zawartości przyswajalnych form potasu. Analiza regresji wykazała, że stosowanie nawożenia kompostem przez okres dłuższy (5-10 lat) znacznie bardziej poprawia odczyn gleby w porównaniu z okresem krótszym niż 5 lat. Pozytywny wpływ kompostu na zawartość azotu ogólnego i stosunek C:N był podobny w zachodnich i wschodnich strefach klimatycznych oraz na glebach ilastych i gliniastych. Parametry te nie zależały od długości okresu stosowania kompostu, aczkolwiek stosunek C:N wykazywał tendencję poszerzania po 10 latach jego aplikacji. Pozytywny wpływ kompostu na zawartość azotu mineralnego oraz przyswajalnych form potasu w glebie stwierdzono w zachodniej strefie klimatycznej, w głębszych (>30 cm dla N_{min} i 10–30 cm dla K_{przysw}) warstwach gleb gliniastych i już po krótkim (<5lat) czasie stosowania. Należy jednak zwrócić uwagę, że reakcja analizowanych wskaźników jakości gleby będzie każdorazowo zależała od aktualnego stanu i składu chemicznego kompostu.

Kompost stanowi rozłożona materia organiczna, przetworzona i wnoszona do gleby w formie nawozu. W badaniach Epsteina i in. (21), w wyniku stosowania kompostu nastąpił 3-krotny wzrost pojemności kompleksu sorpcyjnego. Zawartość azotu azotanowego zwiększała się głównie w warstwie 15–20 cm profilu glebowego, podczas gdy w warstwach głębszych wyraźnie się zmniejszała. Wysoka, przewyższająca zapotrzebowanie roślin zawartość przyswajalnych form fosforu utrzymywała się przez 2 lata od czasu aplikacji kompostu. Według Schlegel (59) stosowanie kompostu nie ma wpływu na zawartość NO₃-N. Kompost wytworzony na bazie odchodów zwierzęcych sprzyja utrzymaniu lub zwiększeniu zawartości fosforu, a w mniejszym stopniu akumulacji NO₃⁻.

Stosowane nawożenie mineralne, w porównaniu z obiektami bez nawożenia, miało istotny pozytywny wpływ na zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i azotu (N_{min}) oraz na zawartość azotu ogółem. Dane te można uznać za w pełni miarodajne, gdyż średni wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu w glebie o 164% w wyniku stosowania nawozów fosforowych określono na podstawie 37 porównań, wzrost przyswajalnych form potasu o 133% na skutek stosowania nawozów potasowych na podstawie 26 porównań, a azotu mineralnego o 60% w rezultacie stosowania nawozów azotowych – z uwzględnieniem 30 porównań. Wszystkie dane dotyczące zawartości fosforu i niemal wszystkie dane dotyczące potasu odnoszą się do wschodniej strefy klimatycznej, głębokości pobierania próbek w warstwie 10–30 cm gleby i długiego (>20 lat) czasu aplikacji nawozów. Mniej znaczące wzrosty zawartości potasu w glebie obserwowano w dwóch przypadkach krótkiego okresu (<5 lat) nawożenia w zachodniej strefie klimatycznej. Podobną reakcję stwierdzono w przypadku nawożenia azotem: silniejszą reakcję odnotowano w większym zbiorze danych pobranych z doświadczeń we wschodniej strefie klimatycznej, z głębokości 10–30 cm profilu glebowego i po 11–20 latach aplikacji nawozów w stosunku do zachodniej strefy klimatycznej i krótkiego (<5 lat) czasu aplikacji nawozów. Wzrost zawartości azotu ogólnego był niewielki, ale statystycznie udowodniony.

Nawożenie mineralne na ogół sprzyja wzrostowi roślin i jednocześnie wpływa na zwiększenie ilości węgla wnoszonego do gleby wraz z większą ilością resztek poźniwnych. Jednakże, jak wynika z literatury, wpływ nawożenia azotem na właściwości chemiczne gleby nie jest jednoznaczny. Stwierdzono, że jego stosowanie powoduje wzrost zawartości azotu mineralnego w glebie i może przyczyniać się do jej zakwaszenia (10). Często jednak nie wywiera wpływu na zawartość węgla organicznego, gdyż w glebach o szerokim stosunku C:N może stymulować rozwój mikroorganizmów glebowych, które powodują mineralizację materii organicznej. Według Whitehead (74) nawożenie azotem sprzyja akumulacji organicznych form zarówno węgla, jak i azotu, szczególnie na glebach, które z natury są ubogie w materię organiczną. Pozytywny wpływ nawożenia azotem na gromadzenie materii organicznej jest możliwy również na słabo zdrenowanych glebach gliniastych, w których mineralizacja resztek poźniwnych zachodzi powoli ze względu na ograniczoną aerację. Według Idkowiak i Kordas (28), wyższe dawki azotu, np. 100 kg N ha⁻¹ w stosunku do 50, mogą wpływać na ograniczenie zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego oraz potasu w całym profilu glebowym, a także zwiększać zawartość fosforu w jego wierzchnich warstwach. W badaniach Koszańskiego i in. (34) przeciwnie, wysokie dawki azotu powodowały wzrost zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego oraz wyraźny spadek zawartości fosforu i potasu. Panak i in. (48) potwierdzili, że wpływ wrastających dawek nawożenia azotem na zawartość przyswajalnych form fosforu nie jest do końca wyjaśniony. W przypadku mineralnego nawożenia fosforem, Vogeler i in. (72) podali, że powoduje ono kumulację przyswajalnych form fosforu w wierzchniej warstwie gleby.

Wpływ stosowania gnojowicy oceniano przez porównanie z działaniem nawozów mineralnych, w których wnoszono podobną ilość przyswajalnych form azotu lub potasu. Aplikacja gnojowicy powodowała istotny wzrost zawartości jedynie azotu ogólnego i mineralnego w glebie. Pozostałe wskaźniki RR(pH), RR(C:N), RR(Kprzysw) były reprezentowane przez małą ilość danych, dlatego też nie zostały uwzględnione w tej analizie.

Gnojowica jest wartościowym źródłem C, N, P i K, stanowi zatem tanią alternatywę w stosunku do nawozów mineralnych (60). W stosunku do gleb nienawożonych, na glebach gdzie stosowano gnojowicę stwierdzono wyższe pH, większą zawartość przyswajalnych form P i K oraz nieco większą zawartość N ogólnego (54). Duże dawki gnojowicy wpływały również na wzrost pH gleby w porównaniu z mineralnymi nawozami NPK (33). Nie zaobserwowano przy tym istotnych różnic w zawartości NH₄ i N ogółem. Niekontrolowana aplikacja gnojowicy może jednak powodować nadmierną akumulację azotanów (23, 63) i fosforu (4) w glebie.

Siew bezpośredni (w porównaniu z uprawą konwencjonalną) oceniono słabiej, ponieważ istotne efekty stwierdzono tylko w odniesieniu do zawartości przyswajalnych form fosforu i azotu mineralnego. Odnotowano jedynie tendencje wzrostu zawartości azotu ogólnego oraz spadku zasobu N ogólnego i zawężenia stosunku C:N. Istotnie pozytywny wpływ siewu bezpośredniego stwierdzono (na podstawie

30 porównań) w przypadku zawartości przyswajalnych form fosforu. Wzrost ten był szczególnie wyraźny w południowych i północnych strefach klimatycznych, a w strefach wschodnich był słaby. Większy wpływ siewu bezpośredniego stwierdzono na glebach piaszczystych niż gliniastych. Silniejsza reakcja zawartości przyswajalnych form fosforu występowała w płytkiej (<10 cm) warstwie gleby niż głębszej (10–30 cm), przy czym nie zależała od długości okresu stosowania zabiegu. Dane dotyczące zawartości N_{min} pochodziły tylko z południowej strefy klimatycznej i gleb piaszczystych, próbki gleby pobierano po długim (>20 lat) okresie stosowania technik siewu bezpośredniego. Średni wzrost zawartości N_{min} w glebie wynosił 15%. Słaby, lekko negatywny wpływ siewu bezpośredniego na zawartość przyswajalnych form potasu, przy jednoczesnym silnym pozytywnym wpływie uprawy uproszczonej jest nieco zaskakujący. Wytłumaczyć to można jednak tym, że wszystkie porównania, chociaż było ich tylko 5, dotyczyły doświadczeń w południowej strefie klimatycznej, podczas gdy eksperymenty z uprawą uproszczoną (26 porównań, w tym 24 z jednego doświadczenia) prowadzono w warunkach wschodnich stref klimatycznych. Porównanie wpływu obu zabiegów na zawartość przyswajalnych form potasu pozostaje zatem trudne do oceny.

Techniki siewu bezpośredniego są stosowane zwykle w celu ograniczenia kosztów paliwa i zużycia siły roboczej, ale mogą także mieć pozytywny wpływ na właściwości chemiczne gleby, w tym na bilans azotu (44, 61). Jak wykazał Oorts i in. (47), wieloletnie stosowanie siewu bezpośredniego wpływa na zwiększenie zasobów węgla i azotu w glebie w większym stopniu niż konwencjonalna uprawa orkowa ze względu na lepszą ochronę materii organicznej już znajdującej się w glebie oraz ograniczenie mineralizacji aktualnie wnoszonego materiału. Jednakże różnice w zasobach SOM pomiędzy tymi systemami uprawy zależą też od innych czynników, tj. skład granulometryczny gleby, skała macierzysta, klimat, zawartość materii organicznej, system uprawy roślin, historia uprawy gleby oraz jej właściwości fizyczne (8, 15, 18). Fizyczna ochrona materii organicznej przez strukturę gleby w warunkach siewu bezpośredniego jest często określana jako istotny czynnik ograniczający mineralizację materii organicznej w stosunku do konwencjonalnej uprawy orkowej (8). Jednakże Oorts i in. (47) wykazali, że zasób azotu obliczony w stosunku do suchej masy gleby w warunkach siewu bezpośredniego był tylko o 10–15% większy niż w warunkach uprawy orkowej. W badaniach innych autorów (9, 19, 66) system siewu bezpośredniego wpływał na obniżenie pH w warstwie ornej gleby. Według Stevensona (65) mogło to być związane ze zwiększoną mineralizacją, w wyniku której uwalniały się składniki pokarmowe (w szczególności NH_3), których utlenianie może przyczyniać się do powstawania wolnych jonów H^+ . Hansen i Djurhuus (25) wykazali, że siew bezpośredni wpływał na ograniczenie wymywania azotu o $13 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu z uprawą orkową na lekkiej glebie piaszczystej. W wielu badaniach różnych autorów (19, 27, 28, 41, 50) odnotowano wpływ stosowania siewu bezpośredniego na wzrost zawartości azotu, fosforu, potasu i węgla organicznego w wierzchniej (0–5 cm) warstwie gleby. W warstwie 5–20 cm stwierdzono także zwiększenie za-

wartości fosforu i potasu, ale jednocześnie zmniejszenie zawartości azotu ogólnego i węgla organicznego w porównaniu z uprawą konwencjonalną.

Większość badań nad przyorywaniem resztek poźniwnych dotyczyło słomy zbóż i kukurydzy oraz pozostałości chmielu i buraków cukrowych. Zabieg ten, w porównaniu z usuwaniem resztek z pola, skutkowałam lekkim, ale istotnym wzrostem zawartości azotu ogólnego oraz poszerzeniem stosunku C:N. Największy wzrost zawartości Nog (RR = 1,08) stwierdzono w południowych strefach klimatycznych, aczkolwiek tylko dla dwóch porównań, mniejszy zaś (RR = 1,03) w północnych strefach (18 porównań). Pozytywny wpływ zaobserwowano też na glebach gliniastych i ilastych oraz w doświadczeniach trwających dłużej niż 10 lat. Przyorywanie resztek poźniwnych w okresie 11–20 lat sprzyjało uzyskaniu szerszego stosunku C:N w porównaniu ze stosowaniem zabiegu przez okres krótszy (5–10 lat).

Resztki poźniwne uczestniczą w długoterminowym utrzymaniu materii organicznej gleby i jej żyzności (64). Spośród składników pokarmowych najczęściej wnoszą do gleby K, N i Ca. Pozostałości roślin zbożowych są bogatsze w składniki jednowartościowe, a bobowate – w azot (58). W doświadczeniach wieloletnich prezentowanych przez Uhlen (69) coroczne przyorywanie słomy zbożowej powodowało niewielki wzrost zawartości C i N w glebie oraz poszerzenie stosunku C:N. Około 30–40% tego azotu pozostawało w formie N organicznego w wierzchnich warstwach gleby. Rasmussen i Collins (57) stwierdzili silną zależność pomiędzy przyorywaniem resztek poźniwnych i zawartością azotu ogólnego w glebie.

W meta-analizie uwzględniono wiele typów zmianowań, które różniły się gatunkami roślin oraz długością cyklu, która wahała się zwykle od 2 do 6 lat. Zmianowania, które obejmowały rośliny zbożowe, bobowate, okopowe, korzeniowe i krótkotrwałe użytki zielone odnoszono do monokultury jako zabiegu referencyjnego. Stwierdzono, że uprawa w zmianowaniu powoduje tendencję wzrostu zawartości azotu ogólnego w glebie, ale jednocześnie wpływa na zmniejszenie zawartości przyswajalnych form potasu i zwężenie stosunku C:N.

Badania wieloletnie wykazały, że właściwe następstwo roślin stanowi podstawę wysokiej produktywności roślin (43), która w warunkach monokultury jest możliwa tylko poprzez stosowanie nawożenia mineralnego i chemicznej ochrony roślin (12, 17). Uprawa w monokulturze powoduje często obniżenie poziomu plonowania (52, 55).

Spośród roślin jednorocznych zboża na ogół pozostawiają najwięcej resztek poźniwnych, podczas gdy rośliny takie jak: bobowate grubonasienne, fasola czy korzeniowe produkują ich znacznie mniej. A zatem, zawartość materii organicznej SOM w glebie jest zwykle mniejsza w zmianowaniu kukurydza – soja niż w monokulturze kukurydzy (49). W badaniach Zielke i Christensen (75) zmiany zawartości SOM w glebie *Soil Organic Matter* – SOM) w okresie 6 rotacji zmianowania uwzględniających kukurydzę, burak cukrowy, fasolę, owies i lucernę korelowano bezpośrednio z ilością zwróconych do gleby resztek poźniwnych i udziału kukurydzy w tych zmianowaniach. Stwierdzono, że włączenie do zmianowania wieloletnich roślin pastewnych (tzn. pastwisk) wpływa na wzrost zawartości SOM, podobnie jak

w zmianowaniach uwzględniających tylko rośliny jednoroczne. W doświadczeniach prowadzonych na terenie Europy, w których do zmianowania roślin jednorocznych na 3 lub więcej lat włączono pastwiska stwierdzono do 25% większe zawartości SOM niż w zmianowaniach uwzględniających tylko rośliny jednoroczne (46, 70). Zmiany zawartości SOM mogą oczywiście powodować modyfikacje innych parametrów chemicznych gleb. W badaniach Aziz i in. (6) zmianowanie wpływało na zmiany zawartości azotu ogólnego. Gleba, na której uprawiano rośliny w zmianowaniu kukurydza–soja–pszenica–groch krowi charakteryzowała się istotnie większą zawartością N ogólnego, niż na której uprawiano kukurydzę w monokulturze lub na przemian z soją. Wartości parametrów chemicznych gleby pod uprawą w zmianowaniu zmniejszały się na ogół wraz z głębokością w profilu. Oznacza to, że stosowanie zmianowania może być bardziej efektywne w utrzymywaniu i poprawie jakości gleby niż monokultura. Inne badania (32) podkreślały wpływ azotu ogólnego dostarczanego do gleby w wyniku stosowania następstwa roślin na odczyn pH. Niższy odczyn gleby w monokulturze kukurydzy niż w zmianowaniu uzasadniono większym dopływem N ogólnego.

Wskaźniki reakcji RR na uprawę roślin poplonowych/okrywowych, które były usuwane z pola przed zbiorem rośliny następczej oraz roślin uprawianych na zielony nawóz odpowiadały niewielkiej liczbie porównań, dlatego też nie zostały uwzględnione w metaanalizie. Rośliny takie są stosowane na ogół w celu zrównoważenia środowiskowych skutków intensywnej uprawy roślin. W warunkach klimatu umiarkowanego mogą one pobierać składniki pokarmowe z gleby w okresie zimowym (38). Poza tym, przykrywając glebę, wpływają na ograniczenie erozji wietrznej i wodnej. Przyorane do gleby nawozy zielone stanowią dodatkowe źródło energii oraz przyczyniają się do sekwestracji węgla. Rośliny bobowate uprawiane jako poplon lub roślina okrywowa mogą być dodatkowym źródłem azotu, który wiąże biologicznie z atmosfery i poprawiają w ten sposób żyzność gleby (24, 35, 71). Według Eversa (22) pastewne rośliny bobowate zawierają 3–4% azotu, który może pochodzić zarówno z gleby, jak i powietrza. Kiedy rośliny motylkowe są wprowadzane do gleby, ich biomasa zasobna w azot uczestniczy w zwiększaniu zasobów materii organicznej w glebie. Podobną rolę spełniają rośliny inne niż bobowate, które nie wiążą azotu z powietrza. Rośliny te pobierają resztki azotu pozostałe po zbiorze plonu głównego. Można przypuszczać, że rośliny uprawiane na zielony nawóz wpływają na zwiększenie zawartości azotu organicznego w glebie i zawężają w ten sposób stosunek C:N.

Podsumowanie

Praca przedstawia wyniki ekstensywnej metaanalizy danych dotyczących wpływu zabiegów agrotechnicznych prowadzonych w zróżnicowanych warunkach glebowych i klimatycznych na wybrane właściwości chemiczne gleb, wykonanej na podstawie danych pochodzących z opublikowanych doświadczeń wieloletnich prowadzonych na terenie całej Europy. W analizie uwzględniono następujące wskaźniki: odczyn pH gleby, zawartość N ogółem, zasób N ogółem, stosunek C:N, zawartość mine-

ralnych form azotu (N_{min}) oraz przyswajalnych form potasu i fosforu. Spośród zabiegów agrotechnicznych uwzględniono: zmianowanie, stosowanie poplonów i roślin okrywowych (zabieranych z pola) oraz przyorywanie nawozów zielonych, siew bezpośredni, uprawę uproszczoną, nawożenie mineralne, nawożenie kompostem, obornikiem, gnojowicą oraz przyorywanie resztek poźniwnych. Biorąc pod uwagę wszystkie wskaźniki reakcji RR oraz statystyczną ocenę ich istotności, a także ilość wskaźników reagujących pozytywnie i wielkość tej reakcji, za najlepsze zabiegi agrotechniczne uznano: stosowanie obornika, uproszczoną uprawę roli, nawożenie kompostem, nawożenie mineralne, siew bezpośredni.

Literatura

1. Alluvione F., Halvorson A.D., Del Grosso S.J.: Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on carbon dioxide and methane fluxes from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.*, 2009, **38**: 2023-2033.
2. Alluvione F., Bertora C., Zavattaro L., Grignani C.: Nitrous oxide and carbon dioxide emissions following green manure and compost fertilization in corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2010, **74**: 384.
3. Alluvione F., Fiorentino N., Bertora C., Zavattaro L., Fagnano M., Chiarandà F.Q., Grignani C.: Short-term crop and soil response to C-friendly strategies in two contrasting environments. *Eur. J. Agron.*, 2013, **45**: 114-123.
4. Anderson R., Wu Y.: Phosphorus quantity-intensity relationships and agronomic measures of P in surface layers of soil from a long-term slurry experiment. *Chemosphere*, 2001, **42**: 161.
5. Anon. Fertiliser recommendations for agricultural and horticultural crops (RB209), 7th edn. The Stationery Office, Norwich., 2000.
6. Aziz I., Ashraf T., Mahmood T., Islam K.R.: Crop rotation impact on soil quality. *Pak. J. Bot.*, 2011, **43(2)**: 949-960.
7. Baker J.M., Ochsner T.E., Venterea R.T., Griffis T.J.: Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2007, **118**: 1-5.
8. Balesdent J., Chen C., Balabane M.: Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, 2000, **53**: 215-230.
9. Blecharczyk A., Małecka I., Siępowski J.: Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów uprawy roli na fizyko-chemiczne właściwości gleby. *Fragm. Agron.*, 2007, **1**: 7-13.
10. Bolan N.S., Hedley M.J., White R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume-based pastures. *Plant Soil*, 1991, **134**: 53-63.
11. Böckman O.C.: Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients: Perspectives for future agriculture. *Plant Soil*, 1997, **194**: 11-14.
12. Bullock D.G.: Crop rotation. *Crit. Rev. Plant Sc.*, 1992, **11(4)**: 309-326.
13. Chambers B.J., Lord E.I., Nicholson F.A., Smith K.A.: Predicting nitrogen availability and losses following application of manures to arable land: MANNER. *Soil Use & Management*, 1999, **15**: 137-143.
14. Cherr C.M., Scholberg J.M.S., McSorley R.: Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agron. J.*, 2006, **98**: 302-319.
15. Collins H.P., Elliott E.T., Paustian K., Bundy L.G., Dick W.A., Huggins D.R. et. al.: Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.*, 2000, **32**: 157-168.
16. Crews T.E., Peoples M.B.: Legume versus fertilizer sources of nitrogen: Ecological tradeoffs and human needs. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2004, **102**: 279-297.

17. Crookston R.K., Kurle J.E., Copeland P.J., Ford J.H., Lueschen W.E.: Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronom. J.*, 1991, **83**: 108-113.
18. Doran J.W.: Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biol. Fertility Soils*, 1987, **5**: 68-75.
19. Dziemia S., Pużyński S., Wereszczaka J.: Impact of soil cultivation systems on chemical soil properties. *EJPAU, Agronomy*, 2001, **4(2)**: <http://www.ejpau.media.pl>.
20. Eriksen G.N., Coale F.J., Bollero G.A.: Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agron. J.*, 1999, **91**: 1009-1016.
21. Epstein E., Taylor J.M., Chancy R.L.: Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Quality*, 1976, **5(4)**: 422-426.
22. Evers G.W.: Legume nitrogen fixation and transfer. 2001, available online <http://overtone.tamu.edu/clover/cool/nfix.htm>.
23. Gangbazo G., Pesant A.R., Barnett G.M., Chauruest J.P., Cluis D.: Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers. *J. Environ. Qual.* 1995, **24**: 420.
24. Gselman A., Kramberger B. Benefits of winter legume cover crops require early seeding. *Au. J. Agr. Res.*, 2008, **59**: 1156-1163.
25. Hansen E.M., Djerhous J.: Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.*, 1997, **41**: 203-219.
26. Holland J.M.: The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2004, **103**: 1-25.
27. Husain I., Olson K.R., Ebelhar S.A.: Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, **63**: 1335-1341.
28. Idkowiak M., Kordas L.: Changes in chemical and biological properties of the soil under reduced tillage and varying nitrogen fertilization. *Fragm. Agron.*, 2004, **3**: 40-48.
29. Ikumoto H.: Estimation of potential supply of livestock waste compost to replace chemical fertilizer use in Japan based on 2000 census of agriculture. *Jpn. Agric. Res. Q.*, 2005, **39**: 83-89.
30. Johnston A.E.: The Rothamsted classical experiments. In: Long-Term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences, R.A. Leigh and A.E. Johnston (eds). Proceedings of a Conference to Celebrate the 150th Anniversary of Rothamsted Experimental Station, 14-17 July 1993. CAB International, Wallingford, UK, 1994, pp. 9-37.
31. Johnston A.E., Mattingly G.E.G.: Experiments on the continuous growth of arable crops at Rothamsted and Woburn Experimental Stations. Effects of treatments on crop yields and soil analysis and recent modification in purpose and design. *Ann. Agron.*, 1976, **27(54)**: 927-956.
32. Karlen D.L., Berry E.C., Colvin T.S., Kanwar R.S.: Twelve year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis*, 1991, **22**: 1985-20003.
33. Kaszubiak H., Durska G., Kaczmarek W., Filoda G.: Effect of slurry on microorganisms and chemical properties of soil. *Zentralblatt für mikrobiologie*, 1983, **138(7)**: 501-509.
34. Koszański Z., Karczmarczyk S., Podsiadło C.: Effect of irrigation and nitrogen fertilization on winter wheat and triticale cultivated on good rye soil complex. Part III. Water management and chemical soil properties. *Zesz. Nauk. AR Szczecin*, 1995, **165(59)**: 51-56.
35. Kuo S., Sainju U.M.: Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, **26**: 346-353.
36. Lal R., Kimble J.M.: Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, **49**: 243-253.
37. Lal R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *Eu. J. Soil Sci.*, 2009, **60**: 158-169.

*Praca była współfinansowana ze środków: Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Grant Nr NN305255035, pt. „Współdziałanie czynników naturalnych i chemicznych w glebie: ocena ekotoksykologicznego wpływu zanieczyszczeń chemicznych oraz temperatury i suszy”.

38. Lemaire G., Recous S., Mary B.: Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops. In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sept–1 Oct 2004, Brisbane, Australia 2004, www.cropscience.org.au/icsc2004/.
39. Luo Z., Wang E., Sun, O.J.: Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2010, **139**: 224-231.
40. Lynch D.H., Voroney R.P., Warman P.R.: Use of ^{13}C and ^{15}N natural abundance techniques to characterize carbon and nitrogen dynamics in composting and in compost-amended soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2006, **38**: 103-114.
41. Małecka I., Blecharczyk A., Dobrzaniecki T.: Changes in soil physical and chemical properties caused by reduced tillage. *Fragm. Agron.*, 2007, **1**: 182-189.
42. Metzger M.J., Buncce R.G.H., Jongman R.H.G., Mucher C.A., Watkins J.W.: A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecol. Biogeogr.*, 2005, **14**: 549-563.
43. Mitchell C.C., Westerman R.L., Brown J.R., Peck T.R.: Overview of long-term agronomic research. *Agron. J.*, 1991, **83**: 24-29.
44. Mitsch W.J., Day J.W., Gilliam J.W., Groffman P.M., Hey D.L., Randall G.W., Wang N.: Reducing nitrogen loads, especially nitrate-nitrogen, to surface water, groundwater, and the Gulf of Mexico: topic 5 report for the integrated assessment on hypoxia in the Gulf of Mexico. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 19, NOAA Coastal Oceans Program, Silver Spring, MD, 1999, p. 111.
45. N'Da y e g a m i y e A., Tran T.S.: Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Can. J. Soil Sci.*, 2001, **81**: 371-382.
46. Nilsson L.G.: Data of yield and soil analysis in the long-term soil fertility experiments. *J. Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry*, 1986, **18**: 32-70.
47. Oorts K., Bossuyt H., Labreuche J., Merckx R., Nicolardot B.: Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. *Eu. J. Soil Sci.*, 2007, **58**: 248-259.
48. Panak H., Wojnowska T., Sienkiewicz S.: Changes of some chemical and physical parameters of Ketrzyn black soils as influenced by intensive nitrogen fertilization. *Rocz. Glebozn.*, 1996, **3/4**: 41-46.
49. Paustian K., Andren O., Janzen H.H., Lal R., Smith P., Tian G., et al.: Agricultural soils as a sink to mitigate CO_2 emissions. *Soil Use Manage.*, 1997, **13**: 230-244.
50. Pecio A., Niedźwiedzki J.: Effect of tillage depth on physical and chemical soil properties. 5th International Soil Conference ISTRO Czech Branch–Brno 2008, 141-147.
51. Pecio A., Sypa A., Fotyma M., Jarosz Z.: Impacts of soil management on chemical soil quality. Catch-C “Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to Enhance Climate Change Mitigation and Soil Health”. 2014, www.catch-c.eu.
52. Peterson T.A., Varvel G.E.: Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. III Corn. *Agron. J.*, 1989, **81**: 735-738.
53. Piccolo A., Spaccini R., Nieder R., Richter J.: Sequestration of biologically labile organic carbon in soils by humified organic matter. *Clim. Change*, 2004, **67**: 329-343.
54. Plaza C., Garcia-Gil C., Polo A.: Effects of pig slurry application on soil chemical properties under semiarid conditions. *Agrochimica*, 1997, **36**: 1-2.
55. Power J.F., Follett R.F.: Monoculture. *Scien. Am.*, 1987, **256(3)**: 57-64.
56. Rasmussen K.J.: Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil Till. Res.*, 1999, **53**: 3-14.
57. Rasmussen P.E., Collins H.P.: Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.*, 1991, **45**: 93-134.
58. Rodriguez-Lizana A., Carbonell R., Gonzalez P., Ordóñez R.: N, P and K released by the field decomposition of residues of a pea-wheat-sunflower rotation. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2010, **87**: 199-208.

59. Schlegel A.J.: Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain sorghum. *J. Prod. Agr.*, 2013, **5(1)**: 153-157.
60. Sharpley A.N., Smith S.J.: Nitrogen and phosphorus forms in soils receiving manure. *Soil Sci.*, 1995, **159**: 253.
61. Smith S.J., Schepers J.S., Porter L.K.: Assessing and managing agricultural nitrogen losses to the environment. *Adv. Soil Sci.*, 1990, **14**: 1-43.
62. Spaccini R., Piccolo A., Conte P., Haberhauer G., Gerzabek M.H.: Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biol. Biochem.*, 2002, **34**: 1839-1851.
63. Spading, R.J., Exner M.E.: Occurrence of nitrate in groundwater. A review. *J. Environ. Qual.*, 1993, **22**: 392.
64. Sparrow S.D., Lewis C.E., Knight C.W.: Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions. *Soil Till Res.*, 2006, **91(1-2)**: 15-21.
65. Stevenson F.J.: *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*, 2nd ed. Wiley, New York. 1994.
66. Tarkalson D.D., Hergert G.W., Cassman K.G.: Long-term effects of tillage on soil chemical properties and grain yields of a dryland winter wheat-sorghum/corn-fallow rotation in the Great Plains. *Agron. J.*, 2006, **98**: 26-33.
67. Tejada M., Gonzalez J.L.: Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.*, 2003, **19**: 357-368.
68. Tejada M., Gonzalez J.L., Garcia-Martinez A.M., Parrado J.: Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresour Technology*, 2008, **99(6)**: 1758-1767.
69. Uhlen G.: Long-term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. *Acta Agric. Scand.*, 1991, **41**: 119-127.
70. VanDijk H.: Survey of Dutch soil organic matter research with regard to humification and degradation rates in arable land. In: *Land use seminar on soil degradation*, D. Boels, D.B. Davies and A.E. Johnston (eds.). Wageningen, October 1980. Rotterdam: Balkema, 1982, 133-1430.
71. Vaughan J.D., Hoyt G.D., Wolium I.A.G.: Cover crop nitrogen availability to conventional and no-till corn: soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis*, 2000, **31**: 1017-1041.
72. Vogel I., Rogasik J., Funder U., Kerstin Panten K., Schnu G.E.: Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. *Soil Till. Res.*, 2009, **103**: 137-143.
73. West T.O., Post W.M.: Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, **66**: 1930-1946.
74. Whitehead D.C.: *Grassland nitrogen*, Guildford, UK: CABI/Biddles. 1995, pp. 397.
75. Zielke R.C., Christensen D.R.: Organic carbon and nitrogen changes in soil under selected cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, **50**: 363-367.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Alicja Pecio
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 834
e-mail: alap@iung.pulawy.pl