

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/349117766>

Impact of acidification of liquid manure with sulfuric acid on selected physicochemical properties of soils

Article in *Przemysl Chemiczny* · November 2020

CITATIONS

0

6 authors, including:



Jan Barwicki

20 PUBLICATIONS 17 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Marek Kieronczyk

Institute of Technology and Life Sciences

7 PUBLICATIONS 25 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

READS

15



Kamila Mazur

Institute of Technology and Life Sciences

20 PUBLICATIONS 25 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Kinga Borek

Institute of Technology and Life Sciences

18 PUBLICATIONS 13 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Selection of technical parameters of forest biomass briquetting [View project](#)



BIOGAS&EE [View project](#)

Impact of acidification of liquid manure with sulfuric acid on selected physicochemical properties of soils in chosen crops

Wpływ zakwaszania gnojowicy kwasem siarkowym na wybrane właściwości fizykochemiczne gleb w przykładowych uprawach

DOI: 10.15199/62.2020.11.2

Permanent grassland (with lysimeters) and arable land for maize sowing were fertilized with acidified and non-acidified cattle slurry with different doses of N. The content of minerals (C, N, P, K, Mg, Ca, SH) and pH in soil samples from arable fields and lysimeters were detd. The acidified slurry did not cause any significant changes in soil pH, but it increased the yield and protein content in both grass and maize.

Do nawożenia gruntów ornych przed siewem kukurydzy i na łąkach użyto gnojowicy zakwaszonej 95-proc. kwasem siarkowym. Stosowano różne kombinacje dawek azotu zarówno na gruntach ornych, jak i na użytkach zielonych. Przeanalizowano wybrane parametry gleby,

w tym pH oraz zawartość azotu, fosforu i potasu. Gleba ma dużą zdolność buforowania, jednak nawożenie może mieć wpływ na jej właściwości fizyczno-chemiczne. Zakwaszenie gnojowicy jest sposobem na zmniejszenie emisji amoniaku z gnojowicy w budynkach inwentarskich, podczas jej składowania w zbiorniku i podczas nawożenia na grunty orne i użytki zielone.

Nawozy naturalne, a w szczególności gnojowica, są źródłem znacznej emisji amoniaku. Jednym ze sposobów jej ograniczenia jest zakwaszenie gnojowicy stężonym (95-proc.) kwasem siarkowym. W przypadku nawożenia pól gnojowicą zakwaszoną, a więc o pH

Dr hab. inż. Jan BARWICKI, prof. ITP, w roku 1971 ukończył studia na Wydziale Maszyn Roboczych i Pojazdów Politechniki Warszawskiej. W tym samym roku rozpoczął pracę w Instytucie Mechanizacji Rolnictwa w Warszawie (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy). W trakcie swojej kariery zawodowej pracował w następujących ośrodkach naukowych za granicą: Uniwersytet Purdue West Lafayette, Indiana, USA (jako asystent naukowo-badawczy), Silsoe Research Institute, Wielka Brytania (wyższy pracownik naukowo-badawczy). W trakcie pracy w Silsoe Research Institute współpracował w ramach projektów z Uniwersytetami Cambridge i Oxford. Doktorat, habilitację oraz tytuł profesora nadzwyczajnego uzyskał w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym, Oddział Warszawa. Jest członkiem zwyczajnym American Chemical Society. Specjalność – nauki rolnicze.



* Autor do korespondencji:

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty, Oddział Warszawa, ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa, tel.: 512-103-531, e-mail: jbarwicki@gmail.com



Dr inż. Kamila MAZUR w roku 2002 ukończyła studia na Wydziale Zarządzania i Modelowania Komputerowego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach na kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji. W 2012 r. uzyskała stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym. Jest adiunktem w Zakładzie Systemów Infrastruktury Technicznej Wsi w ITP od 2017 r. pełniąc funkcję kierownika tego zakładu. Specjalność – nauki rolnicze.

obniżonym do 5,5, zachodzi przypuszczenie, że mogłoby to powodować zaburzenie w równowadze kwasowej gleby. Właściwa gospodarka gnojowicą jest trudnym zadaniem, przed którym stoją wyspecjalizowane gospodarstwa rolne z wysoką obsadą zwierząt inwentarskich i robotyzacją zabiegów produkcyjnych^{1, 2)}.

Odporność gleby na zakwaszanie, a zatem wrażliwość na nawożenie nawozem o obniżonym pH, zależy m.in. od kompleksu sorpcyjnego danej gleby. Pojemność kompleksu sorpcyjnego gleb lekkich może wynosić ok. 30 mol/kg, a gleb ciężkich nawet powyżej 400 mol/kg. Obecność w glebie substancji o różnych właściwościach buforujących, takich jak fosforany, kwasy huminowe i fulwowe, może zakłócać interpretację uzyskanych wyników pomiarów wartości pH^{3, 4)}. Tematyką wpływu zakwaszonej gnojowicy na właściwości gleby zajmowali się w ostatnich latach Fangueiro⁵⁻⁷⁾, Lukat i Sarteel⁸⁾, Dai i Blanes-Vidal⁹⁾.

He i współpr.¹⁰⁾ badali wpływ jakości zastosowanego biowęgla i słomy na strukturę gleby, biorąc pod uwagę stosowanie nawozów mineralnych. Celem tego badania była ocena wpływu na chemiczne i mikrobiologiczne właściwości gleby stosowania biowęgla, słomy i nawozów mineralnych w porównaniu z samym nawożeniem chemicznym. Oceniono pięć zabiegów nawożenia gleby: nawozy mineralne, słoma + nawozy mineralne, słoma i biowęgiel + nawozy mineralne, biowęgiel + nawozy mineralne i biowęgiel, słoma + 70% nawozów

W pracy skoncentrowano się na analizie zmian fizyczno-chemicznych właściwości gleby piaszczystej i gliniastej w uprawie pod kukurydzą oraz na użytku zielonym z glebą murszasto-mineralną (doświadczenie z lizymetrami) po zastosowaniu zakwaszonej gnojowicy.

Część doświadczalna

Metodyka badań

Badania prowadzono na trwałych użytkach zielonych (TUZ) z użyciem lizymetrów oraz w doświadczeniu polowym na gruncie ornym. Próbkę gleby z lizymetrów i poletek kukurydzy pobierano 4 razy w roku (marzec, maj, sierpień i listopad) i określano ich skład chemiczny. Wapnowanie przeprowadzono jesienią 2016 r. zgodnie z zapotrzebowaniem, po wykonaniu analizy chemicznej gleby. W tabeli 1 przedstawiono stosowane metody pomiarowe.

Zabiegi doświadczalne na poletkach i lizymetrach przedstawiono w tabeli 2. W doświadczeniu lizymetrycznym poletka doświadczalne nawożono gnojowicą i gnojowicą zakwaszoną kwasem siarkowym zgodnie ze schematem. Na poletkach z kukurydzą wykonywano nawożenie przed siewem (w kwietniu), następnie przeprowadzano siew, a w czasie trwania wegetacji dokonywano zabiegów

Table 1. Provided methods of chemical analysis of slurry and soil

Tabela 1. Metody analizy chemicznej zastosowane w badaniach gnojowicy i gleby

Badanie	Sucha masa	pH	N _{tot}	NO ₃ -N	NH ₄ -N	C	K, Ca, Mg	P-PO ₄ , P _{og}
Gnojowicy	S-grawimetria	potencjometria	Kjeldahla	Foss Tecator AN 5232	Foss Tecator AN 5226	wg normy ¹²⁾		SFA, Skalar
Gleby		potencjometria, badanie w 1 M roztworze KCl		SFA*, procedura Skalar		wg normy ¹²⁾	plomieniowa spektrometria emisyjna, spektrometr AA, S-Series, Thermo Scientific	SFA, Skalar

SFA* – kolorymetria przepływowa z segmentowanym strumieniem

mineralnych. Ich skutki zbadano po ok. 1,5 roku. Odczyn gleby i zdolność wymiany kationów były znacznie większe w glebach poddanych działaniu biowęgla. Zawartość fosforu i potasu w glebie wzrosła po zastosowaniu biowęgla. Przez dodanie biowęgla i słomy stosunek tlenu do węgla w glebie podwoił się. Wskazuje to, że w glebie dokonał się znaczący proces utleniania. Gleby z dodatkiem biowęgla miały większą różnorodność Shannona i wskaźniki bogactwa gatunkowego niż gleby bez biowęgla¹⁰⁾.

Na wzrost, rozwój i plonowanie roślin, w szczególności kukurydzy, poza odczynem gleby (pH) znaczny wpływ ma także zawartość takich makroskładników, jak magnez i wapń. Deficyt tych pierwiastków wpływa przede wszystkim na procesy kwitnienia i fotosyntezy. W przypadku zaniedbań w regularnym wapnowaniu oraz poprzez stosowanie zakwaszających nawozów mineralnych w glebie uruchamiany jest toksyczny glin, który może uszkodzić stożki wzrostu korzeni¹¹⁾.

Table 2. Research activities in the years 2017 and 2018

Tabela 2. Zabiegi doświadczalne – nawożenie w latach 2017 i 2018

Zabieg nawożenia gnojowicą	Kukurydza; dawka azotu, kg/ha	Oznaczenie próbki	TUZ, lizymetry; dawka azotu, kg/ha	Oznaczenie próbki
Kontrolna	0	K	0	K
Bez kwasu	84	84		
Z kwasem	84	84A		
Bez kwasu	105	105	150	150
Z kwasem	105	105A	150	150A
Bez kwasu	126	126	160	160
Z kwasem	126	126A	160	160A



Dr inż. Marek KIEROŃCZYK w roku 1999 ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej. W 2015 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym. Obecnie jest pracownikiem Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Kujawsko-Pomorskim Ośrodku Badawczym w Bydgoszczy. Specjalność – chemia środowiska.



Mgr inż. Kinga BOREK w roku 2013 ukończyła studia na Wydziale Rolnictwa i Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, kierunek rolnictwo, specjalizacja bioinżynieria rolnicza. Od 2014 r. pracuje w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym na stanowisku asystenta. Specjalność – efekty energetyczne i nawozowe fermentacji metanowej z pozyskanej frakcji płynnej z obornika i roślin energetycznych.

pielęgnacyjnych. Zalecane pH gleb pod użytkami zielonymi przedstawiono w tabeli 3. Skład chemiczny gnojowicy zakwaszonej i niezakwaszonej podano w tabeli 4.

Statystyczne opracowanie wyników badań przeprowadzono z wykorzystaniem programu

Table 3. Recommended ranges of pH in grassland soils¹³⁾

Tabela 3. Zalecane zakresy pH gleby na użytkach zielonych¹³⁾

Gleby	Trawy	Trawy + bobowate
Mineralne	5,5–6,0	6,0
Organiczne	4,5–5,0	5,5

Table 4. Chemical composition of the slurry

Tabela 4. Skład chemiczny gnojowicy

Parametr	Gnojowica bydłęca	
	niezakwaszona	zakwaszona
C ogółem, %	40,1	36,7
pH	7,9	5,0
N całkowity, kg/m ³	3,8	3,8
NH ₄ , kg/m ³	2,3	2,4
NO ₃ , kg/m ³	-	-
P ogółem, kg/m ³	0,59	0,6
K całkowity, kg/m ³	2,2	2,3
Ca, kg/m ³	0,112	0,146
S, %	0,029	0,257
Sucha masa, %	8,0	7,7
H ₂ SO ₄ , dm ³ /m ³	-	3,6

komputerowego Statistica. Metoda pozwoliła określić poziom ufności analizowanych parametrów. We wszystkich przypadkach wartość statystyczna wynosiła powyżej 95%, potwierdzając, że analizowany przedział był statystycznie istotny.

Przebieg doświadczenia na gruncie ornym

Badania przeprowadzono na 25 poletkach doświadczalnych o wymiarach 5 × 3 m z odstępami oraz z brzegiem 1,5 m. W kwietniu 2017 r. wykonano przedsięwzięcie nawożenia poletka gnojowicą w trzech dawkach azotu: 84, 105 i 126 kg/ha. Ilości kwasu siarkowego dodawane do uzyskania pH 5,5 w przeliczeniu na SO₄ wynosiły odpowiednio 151,4, 189,3 i 221 kg/ha. W trzeciej dekadzie kwietnia 2017 r. wysiano kukurydzę z przeznaczeniem na kiszonkę dla bydła mlecznego. Zabieg

wykonano siewnikiem rzędowym z odległością co 70 cm i odstępem roślin 12–14 cm. Temperatura podczas zabiegu wynosiła 15°C. Zabiegi ochrony roślin przeprowadzono wg obowiązujących zasad. Nie stosowano dodatkowego nawożenia fosforem, gdyż stwierdzono dużą zawartość tego składnika w glebie. Założono uzyskanie plonu na poziomie 60 t/ha zielonej masy. Próbkę roślin pobierano w 2017 i 2018 r. w celu określenia zawartości suchej masy, białka i fosforu. Zakładana dojrzałość woskowa ziarna wynosiła 30–35% suchej masy.

Przebieg doświadczenia na użytku zielonym z zastosowaniem lizymetrów

Badania przeprowadzono na 12 lizymetrach o powierzchni 0,16 m² i głębokości 1,3 m, utrzymując poziom wody gruntowej w przedziale 70–80 cm. Doświadczenie wykonywano w 4 powtórzeniach. Gnojowicę stosowano w dawkach azotu: 50 kg (kwiecień) oraz 40 kg (czerwiec). Aplikację gnojowicy przeprowadzono 1–2 tygodnie po pokosie. Pokosy przeprowadzono: I w maju, II w lipcu i III w końcu września.

W próbkach z pokosów oznaczano zawartość suchej masy, białka i fosforu. Gnojowicę zakwaszono do pH 5,5 95-proc. kwasem siarkowym w ilości 3,6 dm³ na 1 m³ gnojowicy. Przy nawożeniu gnojowicą w dawce N 84 kg/ha ilość H₂SO₄ wynosiła 118,29 L, dla dawki N 105 kg/ha było to 236,57 L, a dla dawki 126 kg/ha 354,86 L. Nie nawożono dodatkowo fosforem mineralnym ze względu na dużą początkową zawartość tego składnika w glebie.

Wyniki badań i dyskusja

W 2016 r. dokonano wstępnej analizy zawartości w glebie makroskładników na gruncie ornym, badania te ponowiono w marcu 2017 r. przed rozpoczęciem eksperymentu. Wyniki analizy gleby przedstawio-

Table 5. pH and mineral content of the soil (0–30 cm) – arable land (n = 20) for maize before liming (2016) and after the growing season

Tabela 5. Odczyn (pH) i zawartość składników mineralnych w glebie (0–30 cm) – grunt orny (n = 20) pod kukurydzę przed wapnowaniem (2016 r.) oraz po zakończeniu sezonu wegetacyjnego

2016						
Parametr	pH	C _{org} ² %	N _{org} ² %	C/N	P _{org} ² %	K _{org} ² %
Wartość średnia	5,84	1,92	0,185	10,3	0,076	0,143
Wartość min.–maks.	5,71–5,92	1,35–3,16	0,151–0,213	8,48–15,12	0,069–0,09	0,106–0,18
2017						
0	6,65	2,59	0,14	11,28	0,23	0,14
84	6,41	2,71	0,17	13,32	0,06	0,11
84A	6,71	2,74	0,16	14,86	0,07	0,13
105	6,73	2,29	0,17	10,28	0,05	0,17
105A	6,97	2,71	0,19	12,43	0,08	0,16
126	6,38	2,24	0,17	11,82	0,06	0,17
126A	6,68	2,60	0,18	14,26	0,06	0,14



Dr inż. Witold J. WARDAL w roku 1993 ukończył studia na Wydziale Techniki Rolniczej i Leśnej (obecnie Wydział Inżynierii Produkcji) Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W 2012 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza. Jest adiunktem w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, Oddział w Warszawie. Specjalność – technologia i mechanizacja w produkcji zwierzęcej.



Dr inż. Kamil K. ROMAN w roku 2008 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej, kierunek mechanika i informatyka stosowana. W 2017 r. uzyskał stopień doktora na Wydziale Inżynierii Produkcji Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Jest adiunktem w Katedrze Technologii i Przedsiębiorczości w Przemśle Drzewnym w Instytucie Nauk Drzewnych i Meblarstwa Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W latach 2010–2019 pracował jako adiunkt w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Warszawie, w Zakładzie Analiz Ekonomicznych i Energetycznych. Specjalność – technologia drewna.

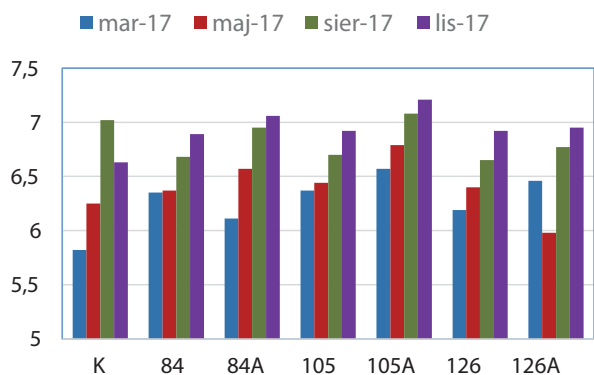


Figure. Soil pH change in experiment on arable land with different dose N, A – acidified slurry

Rysunek. Zmiany pH gleby pochodzącej z gruntu ornego z różną dawką azotu, A – gnojowica zakwaszona

Table 6. Chemical composition of maize average values

Tabela 6. Skład chemiczny i wielkość plonu kukurydzy; wartości uśrednione

Próbka	Białko, % s.m.	Włókno surowe, %	Plon zielonej masy, t/ha
0	5,00	27,56	56,00
84	6,08	22,31	62,50
84A	5,96	23,37	65,60
105	6,14	22,18	58,75
105A	5,83	23,92	66,33
126	5,62	23,53	65,67
126A	6,44	20,58	80,80

no w tabeli 5 oraz na rysunku. Dodatkowo przedstawiono zawartość składników pokarmowych oraz wielkość plonu kukurydzy (tabela 6).

Wyniki badań po zakończeniu sezonu wegetacyjnego (listopad 2017 r.) wskazały na nieznaczne zwiększenie pH gleby na poletkach lizymetrycznych, na których rozlewana była gnojowica zakwaszona w porównaniu z obiektami, na których zastosowano gnojowicę bez zakwaszenia, jednakże różnice te nie były istotne statystycznie.

Przy zastosowaniu gnojowicy zakwaszonej w dawce azotu 126 kg/ha obserwowano nieznaczne zmniejszenie wymywania N w porównaniu z gnojowicą niezakwaszoną (tabela 7). Ze względu

Table 7. Selected soil properties from lysimeters on permanent grassland

Tabela 7. Wybrane właściwości gleby na lizymetrach z TUZ

Termin pobrania próbki gleby	Poziom nawożenia N, kg/ha	pH, 1 M KCl	Zawartość, %					
			N	P	K	Mg	Ca	SH
Marzec 2017	0	6,84	0,18	0,08	0,15	0,11	0,32	25,60
	150	6,58	0,16	0,12	0,13	0,12	0,33	23,60
	150A	6,82	0,18	0,12	0,13	0,10	0,32	24,50
	160	6,64	0,15	0,11	0,12	0,10	0,32	21,70
	160A	6,32	0,14	0,08	0,13	0,14	0,31	21,60
Listopad 2017	0	6,56	0,17	0,10	0,16	0,09	0,26	18,60
	150	7,05	0,18	0,10	0,16	0,10	0,23	23,50
	150A	6,93	0,20	0,10	0,14	0,10	0,30	24,10
	160	7,09	0,17	0,10	0,19	0,10	0,22	25,30
	160A	6,93	0,18	0,05	0,18	0,10	0,30	21,90

Table 8. Content of nutrients in grass as feed for dairy cows originated from lysimeteric experiment in 2017 average values

Tabela 8. Zawartość składników odżywczych w trawie (jako paszy dla krów mlecznych) pochodzącej z eksperymentu lizymetrycznego w 2017 r.; wartości uśrednione

Pokos	Poziom nawożenia N, kg/ha	Białko całkowite, % SM	Włókno surowe, % SM
I	0	8,25	27,32
	150	6,54	27,17
	150A	7,58	29,87
	160	14,68	26,14
	160A	15,68	31,82
II	0	12,46	29,17
	150	12,36	28,28
	150A	11,22	29,57
	160	12,47	28,38
	160A	11,28	31,17
III	0	9,37	21,65
	150	14,60	16,48
	150A	17,96	17,99
	160	16,96	21,14
	160A	20,42	19,15

na zakwaszenie gnojowicy, zawartość SO_4 w glebie znacznie wzrosła. W tabeli 8 przedstawiono zawartość składników odżywczych w pochodzącej z doświadczeń lizymetrycznych trawie jako paszy dla krów mlecznych.

W większości przypadków po zastosowaniu gnojowicy zakwaszonej i zakończonym sezonie wegetacyjnym nie zaobserwowano istotnych różnic w zawartości składników odżywczych w glebie. W odcieku z poletek z zakwaszoną gnojowicą stwierdzono mniejsze zawartości formy azotu azotanowego $N-NO_3$, którego zawartość nie wykraczała poza wartość dopuszczalną przez normę (25 mg/kg).

Największą zawartość białka uzyskano w wariacie nawożenia, stosując gnojowicę zakwaszoną. Wyższy plon mógł być spowodowany efektem większej zawartości przyswajalnej formy azotu oraz fosforu w gnojowicy zakwaszonej. Podobny efekt wzrostu zarówno zawartości fosforu w gnojowicy zakwaszonej, jak i pobrania tego pierwiastka przez rośliny odnotowali Pedersen i współpr.¹⁴⁾ oraz Brod¹⁵⁾.

Podsumowanie i wnioski

W przypadku zastosowania nawożenia gnojowicą zakwaszoną zaobserwowano zwiększenie pH w okresach zwiększonej wilgotności gleby (rysunek), która stwarzała możliwość rozcieńczenia i wypłukiwania kwaśnych roztworów, i ułatwiający działanie buforów glebowych, podobnie jak u Prusinkiewicza i współpr.¹⁶⁾, Ulricha¹⁷⁾ oraz Van Breemena¹⁸⁾. Zawartość potasu była największa w odcieku, który zebrano po ostatnim (trzecim) rozlewaniu gnojowicy. W przeprowadzonych eksperymentach uzyskano zmniejszenie wymywania azotu.

Zakwaszona gnojowica nie spowodowała istotnych statystycznie zmian w pH gleby.

Zakwaszeniu gnojowicy towarzyszyło zwiększenie plonów wraz z poprawą ich jakości poprzez zwiększenie ilości białka, zarówno dla kukurydzy, jak i plonu uzyskiwanego z trwałego użytku zielonego.

Największy procentowo wzrost plonu kukurydzy uzyskano dla zakwaszonej gnojowicy bydłowej stosowanej w dawce N 126 kg/ha w porównaniu z gnojowicą niezakwaszoną.

Największa zawartość białka występowała w przypadku nawożenia zakwaszonymi gnojowicami jedynie dla najwyższej dawki azotu całkowitego (126 kg).

Praca współfinansowana w ramach projektu BIOSTRATEG pt. „Interdyscyplinarne badania nad poprawą efektywności energetycznej oraz zwiększeniem udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym polskiego rolnictwa” (BIOGAS&EE), Umowa nr BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015 11.08.2015 r., finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu BIOSTRATEG I.

Otrzymano: 07-02-2020

LITERATURA

- [1] W. Romaniuk, K. Borek, A. Borusiewicz, *Fresenius Environ. Bull.* 2018, **27**, nr 11, 7416.
- [2] A. Borusiewicz, M. Majchrzak W. Romaniuk (red.), *Robotyzacja żywienia bydła z uwzględnieniem nakładów energetycznych i odnawialnych źródeł energii w nowoczesnych oborach*, Wyższa Szkoła Agrobiznesu, Łomża, 2018.
- [3] M. Tabak, *Jak rolnik może zadbać o pojemność sorpcyjną gleby?* <https://nawozy.eu/wiedza/porady-ekspertow/informacje/jak-rolnik-moze-zadbac-o-pojemnos-sorpcyjna-gleby.html>, dostęp 11 kwietnia 2017.
- [4] P. Boguta, Z. Sokolowska, *Acta Agrophys.* 2010, **16**, nr 2, 243.
- [5] D. Fangueiro, J.L.S. Pereira, I. Fraga, S. Surgy, E. Vasconcelos, J. Coutin, *Agric. Ecosyst. Environ.* 2018, **267**, 87.
- [6] D. Fangueiro, M. Hjorth, F. Gioelli, *J. Environ. Manage.* 2015, **149**, 46.
- [7] D. Fangueiro, S. Surgy, I. Fraga, F.G. Monteiro, F. Cabral, J. Coutinho, *Geoderma* 2016, **281**, 30.
- [8] E. Lukat, M. Sarteel, Closing the mineral cycles at farm level. Good practices to reduce nutrient loss in the Murcia region (Spain), Project: Resource efficiency in practice. Closing mineral cycles, ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/leaflets/Leaflet_Murcia_EN.pdf, dostęp 15 stycznia 2020.
- [9] X.R. Dai, V. Blanes-Vidal, *J. Environ. Manage.* 2013, **115**, 147.
- [10] L. He, Z. Zhong, H. Yang, *J. Integr. Agric.* 2017, **16**, nr 3, 704.
- [11] A. Majewski, *Kukurydza* 2017, **1(50)**, 26.
- [12] ISO 10694:1995, *Soil quality. Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)*.
- [13] R. Moraczewski, *Łąki i pastwiska w gospodarstwie rolnym*, Wyd. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa 1996, 220.
- [14] I.F. Pedersen, G.H. Rubæk, P. Sørensen, *Plant Soil.* 2017, 414, nr 1-2, 143, <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3124-6>.
- [15] E. Brod, *NIBIO Report* 2018, **4**, 91.
- [16] Z. Prusinkiewicz, A. Kwiatkowska, U. Pokojka, *Roczn. Gleboznawcze* 1992, **43**, nr 1/2, 5.
- [17] B. Ulrich, [w:] *Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems* (red. B. Ulrich, J. Pankrath), D. Reidel Publishing Company, 1983.
- [18] N. van Breemen, J. Mulder, C.T. Driscoll, *Plant Soil.* 1983, **75**, 283.

Wspieramy Twoją wiedzę

12 WYDAŃ W ROKU

5 PUNKTÓW MNISW



Rok założenia 1935

GOSPODARKA WODNA

Czasopismo poświęcone zagadnieniom: budownictwa wodnego, inżynierii wodnej, hydrologii, zasobów wodnych i ich wykorzystaniem, regulacji rzek.

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT



Kontakt: gospodarkawodna@sigma-not.pl
prenumerata@sigma-not.pl reklama@sigma-not.pl