

TADEUSZ WITKOWSKI
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

WPŁYW ORANIA GLEBY PŁUGIEM NA LICZEBNOŚĆ I BIOMASĘ POPULACJI DŹDŹOWNIC

Wstęp

Niniejsza praca jest kontynuacją wcześniej podjętych badań zmierzających do oceny wpływu człowieka na zmiany w populacjach dżdżownic zasiedlających glebę pól uprawnych. W zakresie tych badań opracowano już następujące zagadnienia: wpływ na liczebność dżdżownic krótkiego i długiego okresu zmianowania roślin [12] oraz różnych metod uprawiania gleby [13], dalej oddziaływanie fumiganta glebowego Telone II [11], a także wpływ różnych zanieczyszczeń chemicznych emitowanych przez przemysł na populację dżdżownic [14]. Niniejsze badania obejmują okres 1980–1985 i mają na celu wykazanie, w jakiej mierze zmienia się liczebność i biomasa dżdżownic w zależności od przeprowadzanych zabiegów – orki. Orkę wykonano 4-skibowym pługiem, ciągnionym przez traktor o mocy 45 kM i roboczej prędkości 4m/s.

Oranie gleby jest jednym z wielu zabiegów agrotechnicznych stosowanych w rolnictwie w celu polepszenia warunków wzrostu i rozwoju uprawianych roślin. Jednakże w czasie orki wykonywanej ciężkim pługiem następuje nie tylko spulchnianie i przemieszczanie warstw gleby, lecz także mechaniczne uszkodzanie dżdżownic, które znajdują się w strefie bezpośredniego oddziaływania lemiesza. Do tej pory zagadnienie to w literaturze nie było przedmiotem systematycznych badań. Natomiast wzmianki o niekorzystnym wpływie orania pługiem na niektóre zwierzęta glebowe można znaleźć w pracach wielu autorów, np: Evansa i Guilda [3], Fincka [4], Fursova [5], Gilarowa [6], Krugera [7], Tischlera [9], Wallworka [10] i Witkowskiego [12]. Dokładniejsze badania nad wpływem orania, jednakże bez statystycznego opracowania wyników, wałowania i bronowania gleby na owady bezskrzydłe, roztozcza, larwy owadów, dżdżownice i inne zwierzęta glebowe, przeprowadzili Edwards i Lofty [2]. Stąd celem niniejszej pracy było wykazanie, w jakiej mierze oranie gleby pługiem odbija się na parametrach liczebności i biomasy populacji dżdżownic.

Teren i metoda badań

Obserwacje prowadzono na trzech polach Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UMK w Koniczynie w latach 1980–1985, a więc po dwa lata na każdym z badanych pól. Gleba pola 1 należała do czarnych ziem właściwych, na drugim polu była gleba brunatna, a na trzecim – gleba płowa. W latach 1980–1981 badania prowadzono na polu pierwszym, w 1982–1983 na drugim i w 1984–1985 na trzecim polu. Dokładną charakterystykę wymienionych typów glebowych można znaleźć w pracy Dziadowiec i Plichty [1]. Ponieważ rozmieszczenie dżdżownic jest między innymi ściśle skorelowane z ilością wody w środowisku, prowadzono rejestracje opadów atmosferycznych za pomocą deszczomierza typu Hellmanna.

Każdego roku na jeden lub dwa dni przed wykonaniem zabiegu z każdego pola pobierano jeden raz 6 prób gleby w 10 powtórzeniach i na tej podstawie określano średnie zagęszczenie i średnią biomasę występujących w tym czasie gatunków badanej grupy zwierząt. Istotność różnic w zagęszczeniu i biomasie dżdżownic wyrażono za pomocą testu „t” S t u d e n t a.

Następnie po wykonanej orce zbierano do naczynek dżdżownice, które znalazły się na powierzchni gleby. Na każdym z pól w okresie orania gleby 6-krotnie w danym roku w 10 powtórzeniach zbierano dżdżownice. Powierzchnia jednego stanowiska wynosiła 75 m². W tabelach podano średnie ilości dżdżownic zebranych w poszczególnych dniach. Pozyskane z pola dżdżownice jeszcze tego samego dnia przenoszono do pracowni, gdzie poddano je płukaniu, początkowo w wodzie, a następnie w 10% roztworze alkoholu, celem zmycia znajdujących się na ich oskórku grudek gleby. Po oznaczeniu gatunku dżdżownic określano stopień uszkodzeń, mierzono oraz, po uprzedniej kąpeli ich w 99% alkoholu, ważono i wreszcie konserwowano w 4% roztworze formaldehydu. Biomasa po odliczeniu zawartości jelita wyrażono w jednostkach świeżej masy/1 m² powierzchni gleby.

Wyniki

Skład gatunkowy

W zebranym materiale znaleziono następujące gatunki dżdżownic: *Allolobophora caliginosa* (Sav.), *Lumbricus terrestris* L. i *Allolobophora rosea* (Sav). Najczęściej i najliczniej notowany był *A. caliginosa*, mniej liczne były osobniki gatunku *L. terrestris*. Trzeci gatunek występował sporadycznie (tab. 1–3). Wymienione gatunki dżdżownic należą do 3 różnych form życiowych: „epigeiczna” – *A. rosea*, „endogeniczna” – *A. caliginosa* i „aneciciczna” – *L. terrestris*. *Allolobophora rosea* penetruje warstwy podpowierzchniowe, *A. caliginosa* warstwy głębsze (od 20–30 cm), a *L. terrestris* warstwy głębokie (do 3 m). Na skutek orania pługiem warstwy powierzchniowe i podpowierzchniowe gleby, a wraz z nimi znajdujące się tam osobniki *A. rosea* zostały prawdopodobnie przemieszczone w głąb profilu glebowego. Stąd zapewne sporadyczne występowanie ich w zebranym materiale.

Tabela 1

Dżdżownice, ich zagęszczenie, średnia długość oraz biomasa po wykonanej orce czarnych ziem właściwych

Data zbierania dżdżownic	Gatunki						Średnie zagęszczenie/ 1 m ² powierzchni gleby		Średnia długość osobnika w mm		Biomasa w g/m ² powierzchni gleby
	<i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)		<i>Lumbricus terrestris</i> L.		<i>Allolobophora rosea</i> (Sav.)		Razem	Osobników uszkodzonych	Nie uszkodzonego	Uszkodzonego	
	D	M	D	M	D	M					
3.09.1980	6	19	–	2	–	–	0,36	0,147	89,0	29,0	0,188
8.09.1980	16	3	6	–	–	–	0,333	0,11	71,9	49,3	0,186
15.09.1980	24	24	2	–	–	–	0,66	0,23	72,2	24,5	0,338
16.09.1980	27	13	7	1	–	–	0,64	0,23	77,6	36,9	0,428
30.09.1980	12	13	2	13	1	–	0,546	0,12	69,0	31,1	0,211
22.10.1980	7	30	3	21	9	3	0,973	0,37	96,0	30,7	0,23
Razem	92	102	20	37	10	3					
4.09.1981	1	5	3	7	–	–	0,214	0,067	94,0	49,0	0,178
10.09.1981	11	9	1	7	–	–	0,373	0,2	115,0	46,0	0,349
15.09.1981	2	29	7	1	–	–	0,52	0,187	99,0	49,0	0,319
23.09.1981	5	28	–	2	–	–	0,467	0,147	99,0	56,0	0,325
13.10.1981	1	16	–	10	–	–	0,36	0,107	71,0	44,0	0,246
22.10.1981	1	5	2	4	–	1	0,174	0,027	101,0	48,0	0,129
Razem	21	92	13	31	–	1					

D – dżdżownice dojrzałe
M – dżdżownice młodociane

Tabela 2

Dżdżownice, ich zagęszczenie, średnia długość oraz biomasa po wykonanej orce gleby brunatnej.

Data zbierania dżdżownic	Gatunki						Średnie zagęszczenie/ 1 m ² powierzchni gleby		Średnia długość osobnika w mm		Biomasa w g/m ² powierzchni gleby
	<i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)		<i>Lumbricus terrestris</i> L.		<i>Allolobophora rosea</i> (Sav.)		Razem	Osobników uszkodzonych	Nie uszkodzonego	Uszkodzonego	
	D	M	D	M	D	M					
6.09.1982	–	18	1	12	–	–	0,413	0,333	62,0	49,0	0,267
10.09.1982	–	1	–	5	–	–	0,08	0,053	71,0	47,0	0,019
16.09.1982	8	19	3	13	–	–	0,574	0,387	86,0	42,0	0,357
22.09.1982	2	19	–	5	–	1	0,36	0,147	80,0	40,0	0,15
27.09.1982	–	6	4	8	–	–	0,24	0,16	84,0	23,0	0,093
5.10.1982	3	1	–	4	1	–	0,12	0,067	77,0	58,0	0,055
Razem	13	64	8	47	1	1					
13.09.1983	2	8	1	5	1	–	0,227	0,107	75,0	52,0	0,145
16.09.1983	1	14	6	7	–	–	0,373	0,24	71,0	44,0	0,246
20.09.1983	1	2	1	–	–	–	0,052	0,026	68,0	32,0	0,011
28.09.1983	2	13	2	4	–	–	0,28	0,227	102,0	45,0	0,195
2.10.1983	1	5	–	2	–	–	0,106	0,053	108,0	87,0	0,082
14.10.1983	–	3	–	3	–	–	0,08	0,053	60,0	51,0	0,021
Razem	7	45	10	21	1	–					

D – dżdżownice dojrzałe
M – dżdżownice młodociane

Tabela 3

Dżdżownice, ich zagęszczenie, średnia długość oraz biomasa po wykonanej orce gleby płowej.

Data zbierania dżdżownic	Gatunki						Średnie zagęszczenie/ 1 m ² powierzchni gleby		Średnia długość osobnika w mm		Biomasa w g/1m ² powierzchni gleby
	<i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)		<i>Lumbricus terrestris</i> L.		<i>Allolobophora rosea</i> (Sav.)		Razem	Osobników uszkodzonych	Nie uszkodzonego	Uszkodzonego	
	D	M	D	M	D	M					
5.09.1984	–	12	2	9	–	–	0,307	0,2	71	44	0,129
12.09.1984	–	3	2	4	–	–	0,12	0,08	77	58	0,052
21.09.1984	4	3	–	3	1	2	0,173	0,08	75	52	0,154
3.10.1984	2	–	4	–	1	–	0,08	0,067	60	51	0,029
8.10.1984	3	16	5	12	–	–	0,48	0,227	99	56	0,264
12.10.1984	1	1	–	5	–	–	0,094	0,067	74	44	0,023
Razem	10	35	13	33	2	2					
4.09.1985	1	8	–	1	–	–	0,133	0,12	71	32	0,035
7.09.1985	8	–	2	–	–	–	0,133	0,04	87	45	0,048
13.09.1985	9	13	1	–	–	–	0,306	0,133	80	40	0,129
27.09.1985	1	16	–	10	–	–	0,36	0,16	71	44	0,246
4.10.1985	2	6	–	–	–	–	0,107	0,067	108	87	0,082
9.10.1985	–	2	1	3	–	–	0,08	0,053	65	48	0,073
Razem	21	45	4	14	–	–					

D – dżdżownice dojrzałe

M – dżdżownice młodociane

Zagęszczenie

Liczbę dżdżownic oraz średnie zagęszczenie znalezionych na powierzchniach świeżo zaoranej gleby w poszczególnych terminach badań zestawiono w tych tabelach 1–3. Z danych zawartych w tych tabelach wynika, że niezależnie od typu gleby liczba wyoranych dżdżownic w drugim roku obserwacji była we wszystkich doświadczeniach mniejsza od notowanej w pierwszym roku. I tak w 1981 roku liczba dżdżownic z zaoranych powierzchni gleby czarnych ziem właściwych była o 44,5% mniejsza od stwierdzonej w roku 1980. Z zaoranych powierzchni gleby brunatnej w 1983 roku zebrano 37,3% mniej dżdżownic aniżeli w 1982 roku. Kilkakrotnie mniejsze różnice (9,6%) w liczbie dżdżownic zebranych w drugim roku doświadczeń stwierdzono na powierzchniach gleby płowej.

Przedstawiony trend zmniejszanej liczby wyoranych dżdżownic w drugim roku obserwacji znajduje potwierdzenie w danych uzyskanych przed zabiegiem, ale tylko w doświadczeniach, które przebiegały na czarnych ziemiach właściwych i w okresie o największych rocznych opadach atmosferycznych (tab. 4 i 5). W pozostałych dwóch typach przed oraniem gleby brunatnej i płowej, prawidłowość ta nie została potwierdzona, gdyż stwierdzona w drugim roku badań liczba i zagęszczenie dżdżownic były większe o 7,2% i o 6,7% od tychże parametrów z pierwszego roku obserwacji.

Tabela 4

Średnie zagęszczenie (ilość osobników/1m² powierzchni gleby)
i biomasa dżdżownic (w g/1m² powierzchni gleby)
w glebie poszczególnych pól przed wykonaną orką

Numer pola	1				2				3			
	Czarne ziemie właściwe				Gleba brunatna				Gleba płowa			
Lata	1980		1981		1982		1983		1984		1985	
Gatunki	Z	B	Z	B	Z	B	Z	B	Z	B	Z	B
<i>L. terrestris</i>	17,62	19,78	11,37	10,85	10,46	10,81	10,16	9,27	11,85	10,23	14,85	9,23
<i>A. caliginosa</i>	29,21	11,36	20,71	7,26	14,49	4,93	16,62	5,87	25,65	9,35	25,65	11,35
<i>A. rosea</i>	6,54	1,01	1,02	0,38	0,49	0,19	0,63	0,29	0,47	1,56	0,15	0,41
Razem	57,37	32,15	33,1	18,49	25,44	15,93	27,41	15,43	37,97	21,14	40,69	20,99

Z – zagęszczenie dżdżownic

B – biomasa dżdżownic

Biomasa

Wartość biomasy wyoranych dżdżownic w drugim roku obserwacji we wszystkich doświadczeniach była mniejsza od wartości z roku pierwszego. Stwierdzona w 1981 roku biomasa dżdżownic wyoranych z czarnych ziem właściwych była o 2,2% mniejsza od biomasy z roku 1980. Na glebach brunatnych w 1983 r. biomasa dżdżownic była wielokrotnie mniejsza (25,6%) od wartości notowanej w roku 1982. Podobnie w doświadczeniach przeprowadzonych w 1985 r. na glebach płowych stwierdzona biomasa także była (o 5,8%) mniejsza od obserwowanej w roku 1984. Prawdopodobnie tę potwierdzają dane uzyskane z okresów przed wykonywanymi zabiegami, a mianowicie w 1981 roku stwierdzona biomasa dżdżownic była mniejsza o 42,5%, w 1983 – 3,2% i w 1985 o 0,7% w stosunku do wartości z lat poprzedzających, tj. 1980, 1982 i 1984 (tab. 4).

Struktura wiekowa

Tabela 5

Stosunki liczbowe form dojrzałych do młodocianych
Allolobophora caliginosa (Sav.) i *Lumbricus terrestris* L.
oraz roczne sumy opadów atmosferycznych
w poszczególnych latach różnych typów glebowych

Typ gleby	Czarne ziemie właściwe		Gleba brunatna		Gleba płowa	
	1980	1981	1982	1983	1984	1985
<i>Allolobophora caliginosa</i>	1 : 1,1	1 : 4	1 : 4,9	1 : 6,4	1 : 3,4	1 : 2,2
<i>Lumbricus terrestris</i>	1 : 1,8	1 : 2,4	1 : 5,9	1 : 2,1	1 : 2,5	1 : 3,5
Roczna suma opadów atmosferycznych (mm)	1050,5	766	371,5	454,6	563,5	658,3

Stosunek liczby wyoranych form dojrzałych do młodocianych w populacjach dwóch gatunków dżdżownic występujących najczęściej i najliczniej w poszczególnych latach i w różnych typach gleb przedstawiono w tabeli 5. W populacjach *Allo-*

lobophora caliginosa i *Lumbricus terrestris* najmniej larw na jednego osobnika dojrzałego przypadało w 1980 roku na powierzchniach czarnych ziem właściwych. Największą natomiast liczbę form młodocianych w stosunku do dojrzałych w populacjach *Lumbricus terrestris* stwierdzono w 1982 na glebie brunatnej. W przypadku drugiego gatunku – *Allolobophora caliginosa* najszerszy zakres stosunku larw do osobników dojrzałych odnotowano również na czarnej ziemi właściwej, ale w 1983 roku. Zatem można stwierdzić, że najmniejsza wartość stosunku liczby form młodocianych do dojrzałych wystąpiła w roku o największych opadach atmosferycznych. Największą natomiast wartość odnotowano przy średnich, bądź nieznacznie mniejszych od średnich wieloletnich, rocznych sumach opadów atmosferycznych (tab. 5).

Udział w populacji dżdżownic uszkodzonych

Wśród znalezionych na powierzchniach zaoranej w latach 1980 i 1981 gleby (czarnych ziem właściwych) dżdżownic, 1/3 część populacji stanowiły osobniki w różnym stopniu uszkodzone. Na powierzchniach gleb brunatnych i płowych w latach 1982, 1983 i 1984 udział uszkodzonych dżdżownic stanowił 2/3 populacji wyoranych dżdżownic (tab. 1–3). W ostatnim roku badań – 1985 – na glebie płowej stwierdzony udział uszkodzonych osobników stanowił połowę populacji wyoranych dżdżownic. Można więc przyjąć, że przeciętnie osobniki uszkodzone stanowiły około połowy ogółu wyoranych dżdżownic.

Ze stosunku długości dżdżownic uszkodzonych lemieszem pługa do długości nie uszkodzonych osobników (tab. 1–3) można wnioskować, że zebrane dżdżownice w latach 1980, 1981, 1982 po zaoraniu czarnych ziem właściwych i gleby brunatnej nie były zdolne do regeneracji. Za zdolne do regeneracji uszkodzonych części ciała należy uznać dżdżownice zebrane z zaoranej gleby brunatnej i płowej w latach 1983–1985.

Wielkość populacji dżdżownic przed i po wykonanej orce

Porównanie zagęszczenia i biomasy dżdżownic określonego na jeden lub dwa dni przed zaoraniem gleby (tab. 4) z wynikami uzyskanymi w poszczególnych latach po wykonanej orce gleby pozwoliło ocenić, jaki procent populacji stanowiły wyorane dżdżownice. Doświadczenia z roku 1980 dowodzą, że liczba dżdżownic znalezionych na powierzchni zaoranej gleby wahała się od 0,62–1,82%. Nieco mniejszy procent (0,52–1,6%) odnotowano w 1981 roku. Najszerszy zakres udziału procentowego zagęszczenia dżdżownic (0,31–2,26%) odnotowano w 1982 roku. W poszczególnych latach obserwacji wartość udziału osobników wyoranych była mniejsza i stanowiła od 0,19–1,4% populacji dżdżownic przed zaoraniem gleby. W świetle przytoczonych danych wnioskować można, że znalezione na powierzchni zaoranej gleby osobniki stanowiły niewielką część populacji dżdżownic.

Zestawienie wyników

Prowadzone w ciągu 6 lat obserwacje wykazały, że:

– Najliczniej i najczęściej na powierzchniach zaoranej gleby notowany był *Allolo-*

bophora caliginosa, mniej licznie i nieczęsto *Lumbricus terrestris*, a sporadycznie *Allolobophora rosea*.

- Wśród wyoranych gatunków dżdżownic formy młodociane dominowały nad dojrzałymi.
- Największą liczbę dżdżownic na zaoranych powierzchniach gleby czarnych ziem właściwych znaleziono w 1980 roku, najmniejszą natomiast na glebie płowej w 1985 roku.
- Wyorywanie największej liczby dżdżownic na powierzchnię pola pierwszego (czarne ziemie właściwe) występowało w latach o największych rocznych opadach atmosferycznych.
- Największą wartość biomasy dżdżownic stwierdzono w 1981 roku na czarnych ziemiach właściwych, najmniejszą zaś w 1985 na glebie płowej.
- Udział dżdżownic uszkodzonych w czasie orki pługiem na powierzchniach czarnych ziem właściwych w latach 1980 i 1981 wynosił 1/3 populacji zebranych osobników. W latach 1982–1984 (gleby brunatne i płowe) udział uszkodzonych dżdżownic wynosił 2/3, a w ostatnim roku badań, tj. w 1985, na glebie płowej stanowił tylko połowę znalezionych dżdżownic.
- W stosunku do zagęszczenia dżdżownic przed wykonanym zabiegiem znaleziona w 1980 roku na zaoranych powierzchniach czarnych ziem właściwych liczba dżdżownic wahała się od 0,62–1,82%. Nieco mniejszy procent (0,52–1,6%) odnotowano w 1981 roku. Najszerzy zaś zakres udziału procentowego zagęszczenia (0,31–2,26%) stwierdzono w 1982 roku na glebie brunatnej.

Dyskusja

Porównanie przedstawionych w niniejszej pracy wyników z danymi uzyskanymi przez innych autorów jest trudne, głównie z uwagi na stosowanie innych metod, uwzględniających między innymi różne aspekty badanego zagadnienia. Z nielicznych prac opublikowanych na wymieniony temat, na uwagę zasługują wyniki uzyskane przez Edwardsa i Lofty'ego [2]. Mimo że w pracy obaj autorzy oceniali wpływ orania gleby i częstotliwość jego stosowania na zwierzęta (między innymi na dżdżownice) w aspekcie zmian dłuższych niż w niniejszej pracy – dwu- i pięcioletnich – to ogólne wnioski okazały się zbieżne. Mianowicie to, że oranie pługiem gleby w niewielkim tylko stopniu wpływa na redukcję populacji dżdżownic. Całkiem odmienny pogląd prezentują inni badacze: Evans i Guild [3], Finck [4], Fursov [5], Gilarow [6], Tischler [9], Wallwork [10]; w swoich pracach zgodnie stwierdzają, że oranie pługiem gleby powoduje zmniejszenie populacji dżdżownic.

Dane zawarte w niniejszej pracy jednoznacznie wskazują, że oranie pługiem gleby w niewielkim stopniu zmniejszało populację dżdżownic. Stwierdzone natomiast, w liczbie znalezionych zarówno uszkodzonych jak i nie uszkodzonych dżdżownic na powierzchniach zaoranych pól, różnice były statystycznie nieistotne.

Literatura

- [1] Dziadowiec H., Plichta W.: Materiały do przyrodniczej charakterystyki gleb Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Koniczynie i pól doświadczalnych we wsi Grębocin. A. U. N. C. Biologia 35, Nauki Mat.-Przyr., z. 72: 41–62, 1987.
- [2] Edwards C. A., Lofty J. F.: The influence of cultivations on soil animal populations. W: Progress in soil zoology Ed. Vanek J., Prague: 399–407, 1975.
- [3] Evans A., Guild W.: Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. V. Field populations. Ann. appl. Biol. 35: 485–493, 1948.
- [4] Finck A.: Ökologische und bodenkundliche Studien über die Leistungen der Regenwürmer für die Bodenfruchtbarkeit. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 58: 120–145, 1952.
- [5] Fursov V.: Earthworms upon grassland and cotton plantations of South Turkmenia. Dokł. Akad. Nauk SSSR 122: 134–137, 1958.
- [6] Gilarow M.: General trends of changes in soil animal populations of arable land. W: Progress in soil zoology Ed. Vanek J. Prague: 31–39, 1975.
- [7] Krüger W.: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Tierwelt der Felder. Z. Acker-u. Pflanzenbau. 93: 261–302, 1952.
- [8] Satchell T.: Procedures for the study of population metabolism in *Lumbricidae*. Preprint of Colloque sur les methodes d'etudes de L'Ecologie. Paris, 1967.
- [9] Tischler W.: Effect of agricultural practice on the soil fauna. W. Soil zoology Ed. Kevan D. K.: 215–230, 1955.
- [10] Wallwork J. A.: Ecology of soil animals. McGraw-Hill 253 pp, 1970.
- [11] Witkowski T.: Oddziaływanie fumiganta glebowego Telone II na dżdżownice. Roczn. Nauk Roln. E, 11, z. 1–2:169–179, 1981.
- [12] Witkowski T.: Zagęszczenie i biomasa dżdżownic *Lumbricidae* w warunkach krótkiego cyklu zmianowania. Roczn. Glebozn. 34: 86–102, 1983.
- [13] Witkowski T.: Zróżnicowanie liczebności i biomasy dżdżownic w uprawie lucerny w dwóch typach gospodarstw rolnych. Roczn. Glebozn. 36: 65–73, 1985.
- [14] Witkowski T.: Zagęszczenie i biomasa *Lumbricus terrestris* L. i *Allolobophora caliginosa* (Sav.) w siedliskach skażonych dwoma różnymi typami zanieczyszczeń. Arch. Ochr. Środow., 1992.