

QUANTITATIVE AND ECOLOGICAL CHARACTERISTIC OF SPRINGTAILS (HEXAPODA: COLLEMBOLA) ASSEMBLAGES ON WINTER RYE FIELD, CULTIVATED IN A LONG-TERM MONOCULTURE AND FIVE-CROP ROTATION

Summary

The aim of the study was to determine the abundance of springtails and classify them to certain ecological groups on winter rye plantation in a long-term monoculture (89 years) in comparison with a 5-crop rotation. The research was conducted at Experimental Station SGGW in Skierniewice, in 2010-2011. Collembola were extracted from soil using Tullgren apparatus. Springtails were more numerous in 5-crop crop rotation compared with monoculture. These mesofauna was very sensitive to changes of soil physicochemical properties and occurred in larger number in plots with higher organic carbon and humus content. Hemiedaphic springtails were the most numerous group in comparison with euedaphic and epigeic groups in both treatments of the experiment.

Key words: Collembola; springtails; winter rye; crop rotation; monoculture; experimentation

ILOŚCIOWA I EKOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA ZGRUPOWAŃ SKOCZOGONKÓW (HEXAPODA: COLLEMBOLA) NA PLANTACJI ŻYTA OZIMEGO UPRAWIANEGO W WIELOLETNIEJ MONOKULTURZE I W PIĘCIOPOLOWYM PŁODOZMIANIE

Streszczenie

Celem badań było określenie liczebności i przynależności ekologicznej zgrupowań skoczogonków występujących na plantacji żyta ozimego uprawianego w wieloletniej monokulturze (89-letniej) w porównaniu do pięciopolowego płodozmienu. Badania przeprowadzono w Stacji Doświadczalnej SGGW w Skierniewicach, w latach 2010-2011. Collembola wyłuszczone z gleby z wykorzystaniem aparatów Tullgrena. Skoczogonki liczniej występowały w płodozmienu pięciopolowym w porównaniu do monokultury. Stawonogi te okazały się wrażliwe na zmiany parametrów fizyko-chemicznych gleby i występowały w większych liczebnościach na poletkach o wyższej zawartości węgla organicznego i próchnicy. Skoczogonki hemiedaficzne były najliczniejszą grupą w porównaniu do form epigeicznych i euedaficznych w obu kombinacjach doświadczenia.

Słowa kluczowe: Collembola; skoczogonki; żyto ozime; płodozmienu pięciopolowy; monokultura; badania

1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych założeń rolnictwa ekologicznego jest stosowanie urozmaiconego płodozmienu. Obok wielu innych korzyści, system taki zwiększa ilość materii organicznej w glebie [20], co może decydować o liczebności i różnorodności organizmów glebowych [6]. Skoczogonki (Hexapoda: Collembola), odgrywają kluczową rolę głównie jako organizmy saprofagiczne. Regulują przepływ materii i energii w detrytusowej sieci troficznej (*bottom up strategy*), przyspieszają tempo dekompozycji substancji organicznej oraz wpływają na uwalnianie biogenów [19]. Na plantacji roślin zbożowych przyczyniają się do rozkładu słomy po zbiorze [11]. Stawonogi te, mogą prowadzić również drapieżny tryb życia lub żywić się strzępkami i zarodnikami grzybów [19].

Większość skoczogonków zasiedla glebę do głębokości 10 cm [19], a ich liczebność może wynosi średnio 100 tysięcy na m² gleby [3]. Zamieszkiwana warstwa gleby oraz związane z tym faktem zmiany w morfologii Collembola decydują o zaliczaniu ich do grupy gatunków euedaficznych, hemiedaficznych bądź epigeicznych [7, 8, 17]. Gatunki euedaficzne, żyją w głębszej warstwie gleby, najczęściej pozbawione są pigmentu i oczu oraz posiadają wydłużony kształt ciała [15]. Do tej grupy zaliczane są m.in. *Mesaphorura macrochaeta*, *Protaphorura armata* i *Folsomia*

fimetaria [14]. Gatunki hemiedaficzne to formy o cechach pośrednich pomiędzy euedaficznymi a epigeicznymi, żyjące w ściółce lub przy powierzchni gleby [21]. Przykładowo należą do nich przedstawiciele rodzajów *Hypogastrura*, *Ceratophysella*, *Brachystomella* [25]. Gatunki epigeiczne natomiast, żyją na powierzchni gleby, mają większe rozmiary ciała, dobrze wykształcone odnóża i aparat skoczny [15]. W tej grupie wyróżniamy m.in. *Isotomurus* spp., *Isotoma* spp., *Sminthurus viridis* [2]. Collembola należące do danej grupy ekologicznej wskazują na podobny poziom przystosowania do środowiska glebowego, preferencje pokarmowe oraz model rozprzestrzeniania się [18]. Na występowanie skoczogonków w glebie uprawnej znacząco wpływa dobór roślin w płodozmienu, ale także system uprawy roli, warunki pogodowe, rodzaj gleby oraz termin pobierania prób [2, 23]. Reagują one wyraźnie na zmiany parametrów fizyko-chemicznych gleby, szczególnie odczynu, wilgotności i zawartości próchnicy. Występowanie Collembola jest negatywnie skorelowane z temperaturą gleby i pozytywnie z jej wilgotnością [22].

Celem badań było określenie liczebności i przynależności ekologicznej zgrupowań skoczogonków występujących na plantacji żyta ozimego uprawianego w wieloletniej monokulturze (89-letniej) w porównaniu do pięciopolowego płodozmienu.

2. Miejsce i metody badań

Badania prowadzono w latach 2010-2011, w Stacji Doświadczalnej Wydziału Biologii i Rolnictwa, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, w Skierniewicach. Próby glebowe pobierano z plantacji żyta ozimego odmiany Dańkowskie Żłote, uprawianego w technologii płuznej. Statyczne doświadczenie nawozowe w uprawie żyta jest prowadzone w niezmiennym układzie nieprzerwanie od 1923 roku. Doświadczenie założono na glebie płowej, opadowej w układzie doświadczalnym split-plot, w pięciu powtórzeniach. Wielkość jednego poletka wynosiła 36 m² (12 m x 3 m).

Występowanie skoczogonków porównywano na plantacji żyta ozimego uprawianego w dwóch kombinacjach, tj. pięciopolowym płodozmianie (ziemiaki, jęczmień jary, koniczyna czerwona, pszenica ozima, żyto ozime) i w monokulturze. W obu kombinacjach stosowano te same dawki nawozów CaNPK, tj. CaO w ilości 1,6 t ha⁻¹ co 4 lata oraz corocznie: N (saletra amonowa) - 90 kg·ha⁻¹, P₂O₅ (superfosfat) - 60kg ha⁻¹, K₂O (sól potasowa) - 91kg·ha⁻¹). Glebę nawożono również obornikiem w ilości 30 ton w przeliczeniu na 1 ha w odstępnie 5 lat w monokulturze oraz w ilości 30 t·ha⁻¹ pod ziemiaki w płodozmianie pięciopolowym. Obiekty doświadczenia wapnowano wiosną 2008 roku. Na każdym z pięciu poletek w obu kombinacjach, pobierano po 5 prób glebowych z głębokości 0-10 cm. W tym celu wykorzystano pobierak o średnicy 5 cm i zaokrąglonym brzegu tnącym. Próby pobierano wiosną w fazie krzewienia żyta ozimego (23-25 w skali BBCH) oraz w miesiącach październiku i listopadzie po zbiorze żyta.

Pobraną glebę przewożono do laboratorium, a do wypłazania z niej skoczogonków wykorzystano aparaty Tullgrena zmodyfikowane przez Murphy'ego (1956). Czas wystawienia próby na działanie światła i temperatury (żarówka 25 W) wynosił 24 h. Wypłoszone stawonogi przechowywano w 75% alkoholu etylowym. Skoczogonki liczono i rozpoznawano do grup ekologicznych w oparciu o charakterystykę zaproponowaną przez Gisin'a [8]. Do oznaczeń wykorzystano mikroskop biologiczny model XJS900.

W każdej kombinacji doświadczenia, w terminach pobierania prób glebowych mierzono temperaturę i wilgotność względną gleby za pomocą sondy WET (tab. 2). W pierwszym terminie badań pomiarów nie przeprowadzono (jesień 2010). Oznaczono również niektóre właściwości

chemiczne gleby pobranej z głębokości 10 cm z doświadczenia wiosną 2012 roku, tj. odczyn, zawartość węgla organicznego oraz zawartość próchnicy w glebie.

Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono w oparciu o jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA, p≤0,05), wykorzystując do tego celu oprogramowanie Statistica 9.0.

3. Wyniki badań

3.1. Analiza ilościowa

Łącznie w doświadczeniu zebrano 749 skoczogonków (tab. 1). We wszystkich terminach badań liczebność skoczogonków była wyższa w życie ozimym uprawianym w pięciopolowym płodozmianie (łącznie 549 osobników) w porównaniu do uprawy tej rośliny w monokulturze (200 osobników). W analizie statystycznej uzyskanych danych nie stwierdzono istotnych różnic w liczebności Collembola między porównywanymi kombinacjami. Najwięcej badanych organizmów stwierdzono w pierwszym terminie pobierania prób glebowych, tj. jesienią 2010 roku. Ich liczebność w przypadku kombinacji z płodozmianem wynosiła 360 osobników, natomiast w monokulturze 104. Średnia liczebność Collembola przeliczona na 1 m³ gleby wynosiła wówczas odpowiednio 18343,4 w płodozmianie oraz 5299,4 w wieloletniej uprawie żyta po życie. Najniższą liczbę skoczogonków odnotowano w obu kombinacjach jesienią 2011 roku. W przypadku płodozmianu z gleby wypłoszono 38 osobników (średnio 1936,3/m³), natomiast w monokulturze 26 (średnio 1324,8/m³). Prawdopodobnie niewielka liczebność skoczogonków jesienią 2011 roku związana była z niską wilgotnością gleby mierzoną w tym terminie (3,7% w monokulturze i 4,8% w płodozmianie) (tab. 2). Pomiary niektórych właściwości fizykochemicznych gleby na plantacji wskazują na wyraźne różnice pomiędzy badanymi kombinacjami doświadczenia. Zmiany w liczebności mezofauny glebowej mogły być zatem konsekwencją tych różnic. W przypadku uprawy żyta w płodozmianie notowano nieznacznie wyższą temperaturę gleby. Analiza pobranej w tej kombinacji gleby wykazała również więcej węgla organicznego (0,77%) oraz próchnicy (1,32%). Glebę uprawianą w pięciopolowym płodozmianie można zakwalifikować jako słabo kwaśną (pH_{KCl} 5,9 i pH_{H2O} 6,5), natomiast w monokulturze o odczynie obojętnym (pH_{KCl} 6,2 i pH_{H2O} 6,9).

Tab. 1. Łączna liczebność skoczogonków w uprawie żyta ozimego w latach 2010-2011

Table 1. Total number of springtails on winter rye in 2010-2011

		Jesień 2010 <i>Autumn</i>	Wiosna 2011 <i>Spring</i>	Jesień 2011 <i>Autumn</i>	Razem <i>Total</i>
		F _(1,48) =1,78, p=0,19*	F _(1,48) =1,49, p=0,23	F _(1,48) =0,32, p=0,57	
Płodozmian <i>Crop rotation</i>	Suma <i>Total</i>	360	151	38	549
	Średnio <i>Mean number</i>	14,4	6,04	1,5	
	Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i>	38,1	12,0	3,9	
	Średnio na 1 m ³ <i>Mean number per 1 m³</i>	18343,4	7694,3	1936,3	9324,8
Monokultura <i>Monoculture</i>	Suma <i>Total</i>	104	70	26	200
	Średnio <i>Mean number</i>	4,2	2,8	1,1	
	Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i>	4,4	5,7	1,7	
	Średnio na 1 m ³ <i>Mean number per 1 m³</i>	5299,4	3566,8	1324,8	3397,1
Suma <i>Total</i>		464	221	64	749

*analiza wariancji (ANOVA), p ≤ 0,05 – *analysis of variance*

Tab. 2. Parametry fizyko-chemiczne gleby uprawianej w monokulturze i płodozmianie na plantacji żyta ozimego
 Table 2. Soil physicochemical properties in monoculture and crop rotation in winter rye field

	Temperatura [°C] Temperature [°C]		Wilgotność względna [%] Soil moisture [%]		Odczyn gleby Soil pH		C-org %	Próchnica % Humus
	2011		2011		pH _(KCl)	pH _(H2O)		
	Wiosna Spring	Jesień Autumn	Wiosna Spring	Jesień Autumn				
Płodozmian / Crop rotation	13,0	13,5	12,9	3,7	5,9	6,5	0,8	1,3
Monokultura / Monoculture	12,8	13,4	12,3	4,8	6,2	6,9	0,4	0,7

3.2. Charakterystyka ekologiczna

Łącznie, w obu kombinacjach doświadczenia najliczniej występowały skoczogonki hemiedaficzne. Stanowiły one 79% spośród wszystkich oznaczonych osobników w glebie pobranej z plantacji żyta ozimego uprawianego w wieloczłonowym płodozmianie oraz 60% w uprawie w monokulturze. Mniej licznie występowały gatunki euedaficzne, tj. 12% wypłoszonych Collembola w płodozmianie i 25% w monokulturze. Najmniej oznaczono skoczogonków epigeicznych, tj. 9% w przypadku uprawy w płodozmianie i 15% w monokulturze.

Najliczniejszą grupą we wszystkich terminach badań były skoczogonki hemiedaficzne, czyli o cechach pośrednich między występującymi na powierzchni (epigeicznymi), a żyjącymi w głębszych warstwach gleby (euedaficznymi) (tab. 3). Najwięcej Collembola zaliczanych do tej grupy ekologicznej stwierdzono w przypadku kombinacji z płodozmianem jesienią 2010 roku, tj. 10597 osobników w przeliczeniu w 1 m³ gleby. Najmniej natomiast stawonogów tych notowano w monokulturze żyta jesienią 2010 i wiosną 2011 roku (po 815 osobników w 1 m³ gleby). Mniej liczną grupą były skoczogonki euedaficzne (najwięcej 1631 osobników w terminie wiosennym 2011 roku, a najmniej, tj. 51 sztuk, jesienią tego samego roku). Zarówno wartość największą, jak i najmniejszą wykazano w przypadku kombinacji z płodozmianem. Collembola epigeiczne najliczniej występowały wiosną 2011 roku w płodozmianie, a najrzadziej w kolejnym terminie, jesienią, tj. 121 osobników).

4. Dyskusja wyników

Agrocenozy to środowiska silnie przekształcane przez człowieka [1]. Cyklicznie powtarzane zabiegi uprawowe są czynnikiem ograniczającym występowanie organizmów glebowych. Dlatego też skoczogonki na polach uprawnych występują mniej licznie w porównaniu do ekosystemów

łąkowych i leśnych [9, 24, 25]. Skoczogonki reagują szybko na jakąkolwiek ingerencję człowieka w strukturę gleby [4, 18]. Szczególnie uprawa płuźna bezpośrednio poprzez bezpośrednie uśmiercanie lub pośrednio poprzez modyfikację środowiska życia i ograniczenie dostępności pokarmu oddziałuje na występowanie organizmów glebowych [23]. Skoczogonki, szczególnie formy euedaficzne, silnie reagują na zwiększenie zagęszczenia gleby i redukcję wolnych przestrzeni glebowych [10]. Także uprawa roślin w monokulturze może istotnie wpływać na liczebność i bioróżnorodność skoczogonków [12, 25]. Powtarzalność zabiegów uprawowych i uprawa jednej rośliny przez wiele lat może sprzyjać stabilizacji specyficznego zespołu organizmów glebowych. W płodozmianie, ze względu na następstwo roślin uprawnych i zmienność stosowanych zabiegów uprawowych, liczebność i skład gatunkowy skoczogonków mogą być poddawane większym fluktuacjom [12].

W doświadczeniu określono liczebność oraz przynależność ekologiczną skoczogonków na plantacji żyta ozimego uprawianego na tym samym stanowisku nieprzerwanie aż 89 lat. Collembola to jedna z licznie występujących w glebie grup stawonogów [5, 19]. Według tych autorów liczebność analizowanej grupy mezofauny może wynosić w glebie do 100 tysięcy, a nawet do 100 milionów na 1 m³. W badaniach własnych liczebność skoczogonków nie przekraczała 2 tysięcy osobników w przeliczeniu na 1 m³ gleby. Tak nieliczne występowanie skoczogonków jest prawdopodobne dla gleb intensywnie użytkowanych, o złej mikrostrukturze [19]. Łącznie, skoczogonki występowały zdecydowanie liczniej na plantacji żyta ozimego uprawianego w pięciopolewym, urozmaiconym płodozmianie w porównaniu do wieloletniej monokultury. Zaobserwowano również, że omawiane stawonogi, występowały w większej liczbie w glebie o wyższej zawartości węgla organicznego oraz próchnicy w przypadku pięciopolewego płodozmianu. Dodatnią korelację pomiędzy liczebnością skoczogonków a zawartością węgla organicznego i próchnicy opisuje wielu autorów [13, 16].

Tab. 3. Liczebność skoczogonków epigeicznych, hemiedaficznych i euedaficznych na 1 m³ w monokulturze i płodozmianie w uprawie żyta ozimego

Table 3. Total number of epigeic, hemiedaphic and euedaphic springtails per 1 m³ in monoculture and crop rotation in winter rye

Grupa ekologiczna Ecological group	Jesień 2010 Autumn		Wiosna 2011 Spring		Jesień 2011 Autumn	
	Płodozmian Crop rotation	Monokultura Monoculture	Płodozmian Crop rotation	Monokultura Monoculture	Płodozmian Crop rotation	Monokultura Monoculture
Epigeiczne Epigeic	509,6	254,8	1121,1	662,4	50,9	101,9
Hemiedaficzne Hemiedaphic	10596,8	815,3	3363,1	815,3	1274,9	2445,8
Euedaficzne Euedaphic	560,5	590,6	1630,6	764,3	50,9	407,6

W badaniach własnych skoczogonki hemiedaficzne były zdecydowanie najliczniejszą grupą ekologiczną w porównaniu do form epigeicznych i euedaficznych w obu kombinacjach doświadczenia. Podobne wyniki uzyskali Winkler i Traser [25], w badaniach prowadzonych na Węgrzech, w odniesieniu do mezofauny występującej w monokulturze pszenicy ozimej. Autorzy ci, w strukturze gatunkowej wykazali wyraźną dominację gatunków hemiedaficznych w porównaniu z mniej licznymi epigeicznymi i euedaficznymi. W badaniach własnych stwierdzono również duże zróżnicowanie liczebności skoczogonków hemiedaficznych wypłaszanych w różnych terminach. Dużą zmienność różnorodności biotycznej oraz liczebności skoczogonków w różnych porach roku wyraźnie wykazał również Twardowski [23]. W badaniach własnych liczebność stawonogów hemiedaficznych w zależności od terminu wahała się od ok. 800 w monokulturze do ponad 10 tysięcy w wieloczonowym płodozmianie, w przeliczeniu na 1 m³ gleby. Duże zmiany ilościowe hemiedaficznych Collembola stwierdził Kanal [12] w uprawie jęczmienia. W badaniach tego autora w ciągu kilku miesięcy liczebność skoczogonków wahała się od 50 do 450 osobników na 1 m² pola uprawnego. Stosunkowo najmniejsze fluktuacje ilościowe stwierdzono w przypadku skoczogonków euedaficznych. Można podejrzewać, że ta grupa skoczogonków stale związana z głębszymi warstwami gleby, jest najbardziej odporną na czynniki zewnętrzne, w tym również na zmianę sposobu uprawy danej rośliny. W przypadku skoczogonków hemiedaficznych oraz epigeicznych uzyskane wyniki wskazują na słabe przywiązanie do badanych kombinacji doświadczenia.

5. Wnioski

1. We wszystkich terminach badań skoczogonki występowały liczniej na plantacji żyta ozimego uprawianego w pięciopolewym płodozmianie w porównaniu do monokultury. Prawdopodobnie są one następstwem zmian właściwości fizykochemicznych gleby w badanych kombinacjach.
2. Najliczniej oznaczaną grupą ekologiczną zarówno w uprawie żyta w płodozmianie, jak i w monokulturze były skoczogonki hemiedaficzne. Mniej licznie występowały formy euedaficzne, a najmniej epigeiczne.

6. Bibliografia

- [1] Altieri M.G.: How can we best use biodiversity in agroecosystems? *Outlook on Agriculture*, 1991, 20: 15-21.
- [2] Alvarez T., Frampton G., Goulson D.: Epigeic Collembola in winter wheat under organic, integrated and conventional farm management regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 83, 95-110.
- [3] Axelsen J.A., Thorup-Kristensen K.: Collembola and mites in plots fertilized with different types of green manure. *Pedobiologia*, 2000, 44, 556-566.
- [4] Brennan A., Fortune T., Bolger T.: Collembola abundances and assemblage structures in conventionally tilled and conservation tillage arable systems. *Pedobiologia*, 2006, 50, 135-145.
- [5] Cannings R.A., Scudder G.G.: The springtails (Collembola) of British Columbia. *The Insect Families of British Columbia*, 2005, www.geog.ubc.ca.
- [6] Cassagne N., Gers Ch.: Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France), *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 37, 355-361.
- [7] Gardi C., Menta C., Parisi V.: Use of microarthropods as biological indicators of soil quality: the BSQ synthetic indicator. *Options Méditerranéennes, Série A*, 2002, 50, 297-304.
- [8] Gisin H.: Ökologie und Lebensgemeinschaften der Collembolen im Schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. *Revue Suisse de Zoologie*, 1943, 50, 131-224.
- [9] Górny M.: Zoekologia gleb leśnych. Warszawa: Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1975, 87-110.
- [10] Heisler C., Kaiser E.: Influence of agricultural traffic and crop management on collembola nad microbial biomass in arable soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19, 159-165.
- [11] Hurej M., Twardowski J., Smolis A.: Wpływ przyorywania słomy oraz nawożenia azotem i wapniem na Collembola występujące w glebie. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu*, 2001, Rolnictwo LXXVIII, 105-118.
- [12] Kanal A.: Effects of fertilization of edaphic properties on soil associated Collembola in crop rotation. *Agronomy Research*, 2004, 2 (2), 153-168.
- [13] Kovac L., Miklisova D.: Collembolan communities (Hexapoda, Collembola) in arable soils of East Slovakia. *Pedobiologia*, 1997, 41, 62-68.
- [14] Larsen T., Schjønning P., Axelsen J.: The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. *Applied Soil Ecology*, 2003, 26 (3), 273-281.
- [15] Lavelle P., Spain A.: *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, 2002, 267-269.
- [16] Mema Devi W., Binoy Singh Th., Joymati Devi L.: Monthly changes of collembolan population under the gradients of moisture, organic carbon and nitrogen contents in a sub-tropical forest soil, Manipur. *Journal of Experimental Sciences*, 2011, 2(12): 10-12.
- [17] Olejniczak I.: Communities of soil microarthropods with special reference to Collembola in midfield shelterbelts. *Polish Journal of Ecology*, 2004, 52 (2), 123-133.
- [18] Petersen H.: General aspects of collembolan ecology at the turn of the millenium. *Pedobiologia*, 2002, 46: 26-260.
- [19] Rusek J.: Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 1998, 7, 1207-1219.
- [20] Rychcik B., Adamiak J., Wójciak H.: Dynamics of the soil organic matter in crop rotation and long-term monoculture. *Plant, Soil and Environment*, 2006, 52, 15-20.
- [21] Sławska M.: Możliwości wykorzystania fauny glebowej w monitoringu ekosystemów leśnych. *Studia i materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 2006, 8(14), 184-192.
- [22] Sousa P.J., Gama M.M., Pinto C., Keating A., Calhoa F., Lemos M., Castro C., Luza T., Leita P., Dias S.: Effects of land-use on Collembola diversity patterns in a Mediterranean landscape. *Pedobiologia*, 2004, 48, 609-622.
- [23] Twardowski J.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli pod pszenicę ozimą na zgrupowania stawonogów epigeicznych i glebowych. *Monografie CVII, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, 2010, 1-141.
- [24] Tischner W.: *Agroekologia*. Warszawa: Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1971, 111-124.
- [25] Winkler D., Traser G.: Collembola Diversity in Agricultural Environments. *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint*, 2012, 1-5.