

JAROSŁAW SKŁODOWSKI

Zoindykacyjna ocena różnych sposobów przygotowania gleby przy zalesieniach gruntów porolnych

Evaluation of different soil preparation techniques in afforesting former agricultural land using a zoindication method

ABSTRACT

Skłodowski J. 2005. Zoindykacyjna ocena różnych sposobów przygotowania gleby przy zalesieniach gruntów porolnych. Sylwan 11: 3-12.

Carabidae were used as a zoindicator to evaluate different soil preparation techniques applied to farmland prior to afforestation: full deep ploughing (MBS), full ploughing to a depth of 25 cm using agricultural tractor (OR), full ploughing to a depth of 25 cm with subsoil ploughing (ORP) and raising of soil horizons A0 and A1 (NW). The studies were conducted 4 and 5 years after afforestation. The total number of caught beetles was 13 869 individuals from 68 species. Taking into consideration the trapping ability, mean individual biomass and colonization by xerophylous or forest species the deep ploughing BMS and subsoil ploughing ORP was found to have the greatest impact on the carabid recolonisation rate and site degradation.

KEY WORDS

afforestation, former agricultural land, *Carabidae*, soil preparation

ADDRESSES

Jarosław Skłodowski – Katedra Ochrony Lasu i Ekologii SGGW;
ul. Nowoursynowska 159; 02-766 Warszawa; e-mail: sklodowski@wl.sggw.waw.pl

Wstęp

Zalesianie nieefektywnych gruntów porolnych jest alternatywą wobec pozostawiania ich odłogiem, a także wobec wolno postępującej spontanicznej sukcesji drzewostanu na takich gruntach. Zalesiając grunty porolne oczekujemy przyspieszenia powrotu drzewostanu. Problematyka ta doczekała się wielu badań. Między innymi rozpoznano procesy towarzyszące zalesianiu gruntów porolnych i porównano je z analogicznymi procesami zachodzącymi na gruntach leśnych w tzw. cyklu produkcyjnym drzewostanu [Szujecki i in. 1983; Szujecki 1988].

Zalesianie gruntów porolnych nie jest jednak łatwym zabiegiem, rezultat zależy od występowania barier utrudniających wprowadzenie drzewostanu na glebach użytkowanych wcześniej rolniczo. Znacznymi barierami między innymi są: „typowy” rolniczy profil gleby, często z tzw. „podeszwą płużną”, a ponadto: brak fauny saprofagicznej, „odwrócony” stosunek węgla i azotu w wierzchnich warstwach gleby, występowanie szkodników oraz patogenów typowych dla gleb terenów otwartych [Szujecki 1988]. Podjęte w Katedrze Ochrony Lasu i Ekologii badania nad możliwościami przełamania tych barier wykazały, że pomocne w tym mogą być zabiegi wprowadzania do gleby substratów: kory i trocin oraz introdukcji leśnego saprofagicznego wija [Szujecki i in. 1983; Szujecki 1988].

Ponieważ w dalekosiężnych planach gospodarczych Lasów Państwowych zalesienia gruntów porolnych stanowiły i nadal stanowią ważną pozycję, podjęto badania nad usprawnieniem tego

procesu. Celem badań było sprawdzenie na wielkopowierzchniowym poligonie (około 300 ha) możliwości jakie niesie przygotowanie gleby rolnej różnymi sposobami, przy jednoczesnym wprowadzeniu w różnych proporcjach tzw. domieszek biocenotycznych gatunków liściastych mających spełniać rolę fitomelioracyjną.

Efekty tych zróżnicowanych zabiegów oceniano w czwartym i piątym roku od momentu założenia uprawy. Oceny dokonano na podstawie zooindykatorów, wśród których ważną i sprawdzoną grupę stanowią epigeiczne biegaczowate (*Coleoptera*, *Carabidae*). Celem pracy jest ocena przy wykorzystaniu biegaczowatych jako grupy testowej efektów wprowadzania drzewostanu z różnymi sposobami przygotowania gleby.

Miejsce i metoda

Badania przeprowadzono na terenie Puszczy Człuchowskiej. Poligon doświadczalny to powierzchnia 330 ha przeznaczona do zalesienia. Przygotowanie gleby wykonano jesienią 1998 roku czterema różnymi sposobami:

- orką pełną głęboką 40-50 cm pługiem BMS – wariant BMS,
- orką pełną do 25 cm pługiem rolniczym PHX – wariant OR,
- orką pełną do 25 cm pługiem rolniczym PHX z pogłębianiem – wariant ORP,
- orką z równoczesnym wywyższeniem poziomów A0 i A1 i jednoczesnym pogłębianiem – wariant NW.

Tak przygotowane powierzchnie zalesiono wiosną 1999 roku sosną pospolitą z trzema dodatkowymi wariantami domieszek fitomelioracyjnych w liczbie 1500 (wariant 1,5), 3000 (wariant 3,0) i 5000 sadzonek na hektar (wariant 5,0).

Dodatkowym elementem odtwarzanego ekosystemu były pasy ekotonowe o szerokości 30 metrów, zakładane po obu stronach dróg gruntowych na badanym poligonie. Pasy obsadzono różą faldzistolistną, kruszyną, tarniną, głogiem, jarząbkiem pospolitym, klonem zwyczajnym i polnym, jabłonią i gruszą pospolitą – w wieźbie 1,5 × 1,0 m.

Badania terenowe przeprowadzono w latach 2003 i 2004, przy wykorzystaniu pułapek Barbera do odłowu fauny epigeicznej. Pułapki rozstawiano w okresie maj-listopad. Potem, co sześć tygodni zbierano pułapki. W każdym roku zebrano po 900 prób (tab.).

Oznaczone do gatunku biegaczowate mierzono z dokładnością do 0,5 mm, zaś długości przeliczano na biomasę żywych osobników według formuły przedstawionej przez Szujekiego i innych [1983]. Średnia biomasę osobniczą SBO w poszczególnych zgrupowaniach wyznaczana była jako iloraz sumy biomasy i liczebności biegaczowatych tworzących zgrupowanie. Porównania statystyczne dokonano za pomocą pakietu Statistica. Niezgodność danych z rozkładem normalnym stwierdzono testem Shapiro-Wilka, dlatego dane porównywano testem U Manna-Whitneya, nazywanego dalej testem U. Wykorzystano również panel analizy wariancji ANOVA jednoczynnikowej.

Wyniki

Złowiono 13 869 osobników należących do 68 gatunków biegaczowatych. Średnio najwięcej osobników łowiło się w wariantcie OR (prawie tyle samo co w ekotonie), najmniej natomiast w wariantcie ORP (ryc. 1). Analiza wariancji wykazała na istotne zróżnicowanie łośności w poszczególnych wariantach: $F=10,8282$; $p<0,001$; $df=12$. Za pomocą testu NIR ustalono różnice pomiędzy średnimi w wariantach: BMS – 694 osobników vs. NW – 889 osobników ($p=0,0024$) i OR – 1007 osobników ($p=0,001$). Zanotowano również różnice pomiędzy wariantem ORP – 625,5 osobników a wariantami: NW ($p=0,004$) i OR ($p<0,001$).

Tabela.

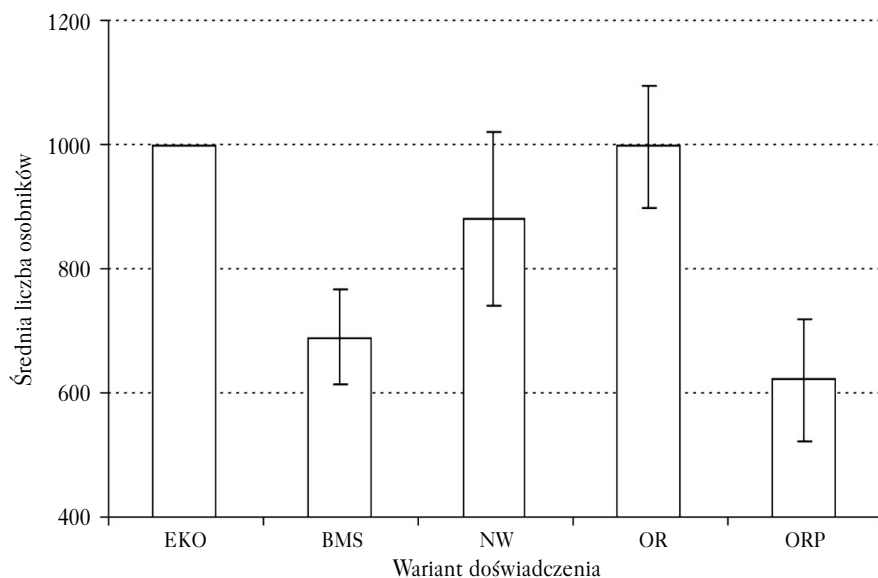
Ogólny wykaz gatunków biegaczowatych złowionych w różnych wariantach przygotowania gleby w procesie zalesiania gruntów porolnych

Specification of carabid species caught under different soil preparation variants prior the afforestation process

Gatunki	BMS	EKO	NW	OR	ORP
<i>Agonum fuliginosus</i> (Duftschmid, 1812)		1	1	2	
<i>A. piceus</i> (Linnaeus, 1758)		1			
<i>Amara aenea</i> (De Geer, 1774)	6	1	31	18	22
<i>A. aulica</i> (Panzer 1797)	3				
<i>A. apricaria</i> (Paykull, 1790)	58	15	106	84	79
<i>A. bifrons</i> (Gyllenhal, 1810)			2		
<i>A. communis</i> (Panzer, 1797)	12	3	1	15	3
<i>A. eurynota</i> (Panzer, 1797)			1	1	
<i>A. lunicollis</i> (Schiodte, 1837)	2	1	12	4	3
<i>A. majuscula</i> (Chaudoir, 1850)	5	1	3	1	3
<i>A. plebeja</i> (Gyllenhal, 1810)	1	3	10	4	25
<i>A. similata</i> (Gyllenhal, 1810)	1				
<i>A. spreta</i> (Dejean, 1831)			6		
<i>A. tibialis</i> (Paykull, 1798)	9	2	30	17	11
<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius, 1792)			1	1	1
<i>Bembidion lampros</i> (Herbst, 1784)	3	1	11	4	20
<i>B. properans</i> (Stephens, 1828)			2	3	17
<i>B. quadrimaculatum</i> (Linnaeus, 1761)				1	
<i>Bradycellus harpalinus</i> (Aud.-Serv. 1821)	1		1		1
<i>Brosicus cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)					1
<i>Carabus arcensis</i> (Herbst, 1784)	24	28	6	20	16
<i>Carabus auratus</i> (Linnaeus, 1761)			1		
<i>C. cancellatus</i> (Illiger, 1798)	471	248	731	556	251
<i>C. convexus</i> (Fabricius, 1775)			3	1	54
<i>C. granulatus</i> (Linnaeus, 1758)	1		23	10	1
<i>C. hortensis</i> (Linnaeus, 1758)	1			2	
<i>C. nemoralis</i> (O. F. Muller, 1764)	3	9	6	1	
<i>C. nitens</i> L. (1758)	1	3		3	5
<i>C. violaceus</i> (Linnaeus, 1758)	55	13	14	42	38
<i>Calathus ambiguus</i> (Paykull, 1790)	3		3	1	3
<i>C. erratus</i> (C. R. Sahlberg, 1827)	40	16	198	54	100
<i>C. fuscipies</i> (Goeze, 1777)	184	56	228	131	97
<i>C. melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	12	9	99	48	62
<i>C. micropterus</i> (Duftschmid, 1812)	16	7	3	6	2
<i>Clivina fossor</i> (Herbst, 1784)	33	2	6	25	6
<i>Cychrus caraboides</i> (Linnaeus, 1758)	9	4	2	3	5
<i>Cymindis macularis</i> (Manerheim 1824)			1		
<i>C. vaporariorum</i> (Linnaeus, 1758)		1	2		
<i>Dolichus halensis</i> (Schaller, 1783)	1		1	12	
<i>Harpalus affinis</i> (Schrank, 1781)	49	12	34	42	46
<i>H. anxius</i> (Duftschmid, 1812)	7		10	2	4
<i>H. fuliginosus</i> (Panzer, 1809)	3		3	2	1
<i>H. griseus</i> (Panzer, 1797)	14	1	6	21	3
<i>H. latus</i> (Linnaeus, 1758)	24	4	43	48	19
<i>H. picipennis</i> (Duftschmid, 1812)	2	7	27	15	11
<i>H. progrediens</i> (Schauberger, 1922)					1
<i>H. rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	12	3	48	49	17
<i>H. rufipes</i> (De Geer, 1774)	444	190	364	903	486
<i>H. quadripunctatus</i> (Dejean, 1829)	1	1	8	1	4
<i>H. rufitarsis</i> (Illiger, 1778)	17	10	62	164	40

Tabela cd.

Gatunki	BMS	EKO	NW	OR	ORP
<i>H. seripes</i> (Quensel in Schonherr, 1806)	4		4	6	
<i>H. signaticornis</i> (Duftschmid, 1812)				2	
<i>H. smaragdinus</i> (Duftschmid, 1812)	105	4	79	53	32
<i>H. tardus</i> (Panzer 1797)	292	85	601	623	219
<i>Leistus ferrugineus</i> (Linnaeus, 1758)	1				1
<i>Masoreus wetherhalli</i> (Linnaeus, 1767)			4		3
<i>Metabletus foveatus</i> (Fourcroy, 1785)	17	7	10	36	40
<i>Notiophilus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	7	1	2	1	5
<i>N. biguttatus</i> (Fabricius, 1799)	1	3			
<i>N. germinyi</i> (Fauvel in Grenier, 1863)		5			1
<i>P. caeruleus</i> (Linnaeus, 1758)	98	36	123	222	116
<i>P. cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	2		7	6	2
<i>P. melanarius</i> (Illiger, 1798)	8	5	1	5	20
<i>P. niger</i> (Schaller, 1783)	205	94	89	206	225
<i>P. oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)	5	8	5	2	4
<i>P. lepidius</i> (Leske, 1787)	494	105	459	545	360
<i>Panagaeus bipustulatus</i> (Fabricius, 1775)				1	1
<i>Synuchus nivalis</i> (Illiger, 1798)	9	1	22	3	15
Liczba osobników	2776	1007	3556	4028	2502



Ryc. 1.

Średnia liczebność wraz z odchyleniem standardowym biegaczowatych łowionych w poszczególnych wariantach: BMS – pług; NW – orka z naorywaniem wałków; OR – orka rolnicza; ORP – orka rolnicza z pogłębieniem. Dla porównania pokazano liczebność biegaczowatych w ekotonie

Mean abundance and standard deviation of carabids caught in individual variants: BMS – plough; NW – ploughing to form ridges; OR – agricultural ploughing; ORP – agricultural and subsoil ploughing. Abundance of carabids in the ecotone was taken for comparison

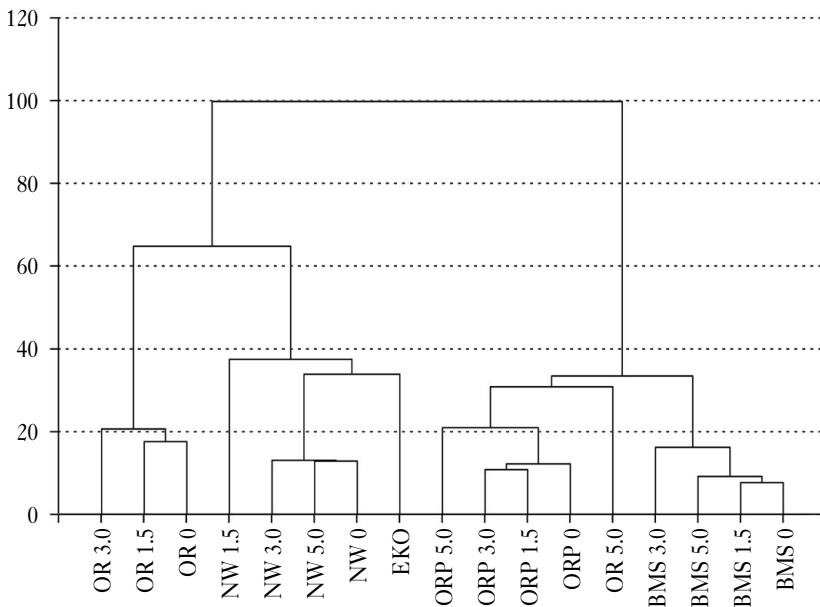
Ponieważ liczba gatunków biegaczowatych notowana w poszczególnych wariantach nieznacznie wahała się na poziomie 35 gatunków, nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych. Najczęściej dominantami w poszczególnych wariantach doświadczenia były: mały eurytopowy

zoofag *Pterostichus lepidus*, duży eurytopowy *Carabus cancellatus*, czy też hemizoofag terenów otwartych *Harpalus tardus*. Struktura domianacyjna zgrupowań biegaczowatych nie odbiegała zatem od tych notowanych zarówno w uprawach sosnowych rosnących na gruntach porolnych, jak i leśnych.

Wśród biegaczowatych z rodzaju *Pterostichus* dwa gatunki są zbliżone do siebie wielkością, jak i preferowaną dietą. Są to *P. niger* oraz mniejszy od niego *P. melanarius* – gatunki, o których sądzi się, że mogą być potencjalnymi konkurentami. Leśny *P. niger* preferuje gleby bardziej zacienione i nieco uboższe niż eurytopowy *P. melanarius*. Zauważono, że w zebranych materiale zdecydowanie przeważa *P. niger*, na tle którego *P. melanarius* jest mało „widoczny”. W niektórych wariantach doświadczenia (BMS i ORP), wskaźnik dominacji *P. niger* waha się w stosunkowo „wysokich”, jak na leśny gatunek w odtwarzanej biocenozie granicach 7-10%. Wartości takie gatunek ten osiągnął w ekotonie. W pozostałych wariantach *P. niger* jest mniej liczny.

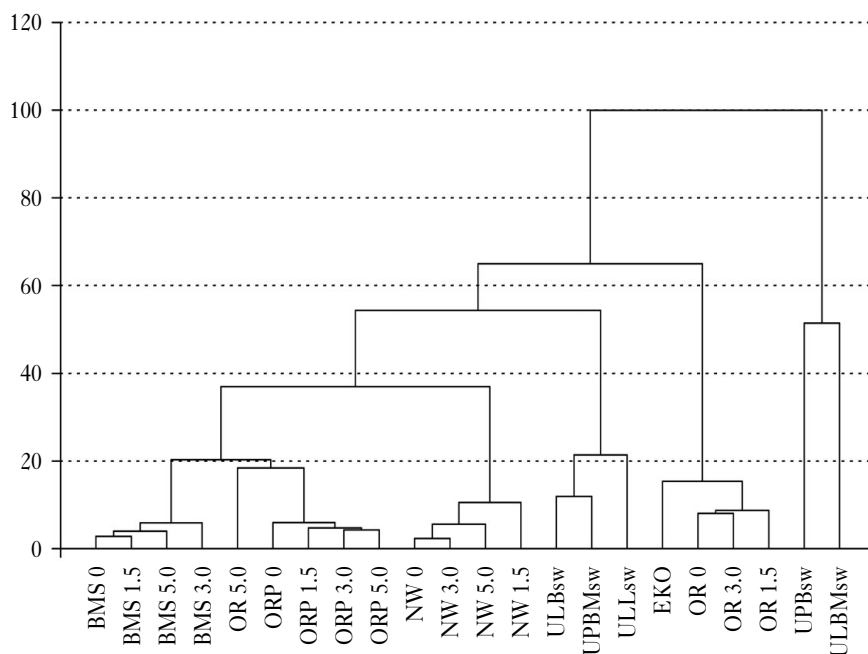
Za pomocą analizy numerycznej Warda oceniono podobieństwo gatunkowe zgrupowań biegaczowatych. Użyto do tego dwóch sposobów. Po pierwsze porównano zgrupowania obserwowane w bieżącym eksperymencie (ryc. 2). Analiza utworzyła dendrogram z dwoma pniami, zawierającymi po dwa skupienia zgrupowań. W pierwszym pniu znalazły się zgrupowania wariantów OR i NW wraz z badanym ekotonem, zaś w drugim zgrupowania wariantów ORP i BMS.

Druga analiza polegała na porównaniu zgrupowań biegaczowatych badanych obecnie ze zgrupowaniami obserwowanymi w poprzednim badaniu, a zamieszkującymi analogiczne uprawy na siedliskach: boru świeżego (gleby porolne i leśne), boru mieszanego świeżego (gleby porolne i leśne) oraz lasu świeżego (gleby leśne). Tym razem obraz podobieństwa okazał się nieco bardziej skomplikowany (ryc. 3). Największe podobieństwo obserwowano pomiędzy zgrupowaniami wariantów BMS i ORP, a także wariantu OR 5.0. Do tego skupienia analiza dołączyła



Ryc. 2.

Podobieństwo zgrupowań biegaczowatych badanych w wariantach o różnym przygotowaniu gleby
Similarity in carabid assemblages among the variants to which different soil preparation techniques were applied



Ryc. 3.

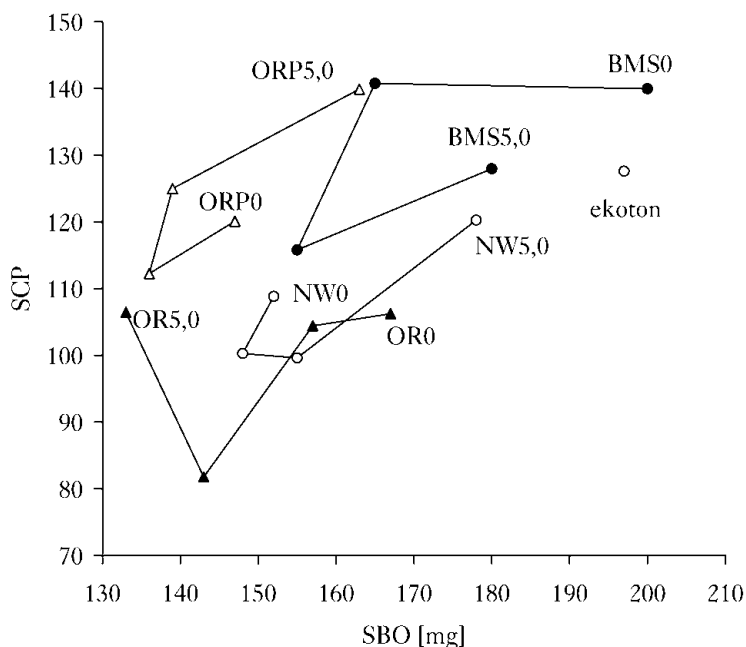
Podobieństwo zgrupowań biegaczowatych badanych w wariantach o różnym przygotowaniu gleby i zgrupowań badanych we wcześniejszych badaniach Katedry: UP – uprawa porolna; UL – uprawa na glebie leśnej (Bsw – bór świeży, BMsw – bór mieszany świeży, Lsw – las świeży)

Similarity between carabid assemblages in the variants where different soil preparation techniques were applied and assemblages in previous studies carried out by the Department: UP – plantation established on former agricultural soil; UL – plantation established on forest soil (Bsw – fresh coniferous forest habitat, BMsw – fresh mixed coniferous forest habitat, Lsw – fresh broadleaved forest habitat)

zgrupowania wariantu NW, w następnej kolejności sekcje zawierające trzy zgrupowania upraw na glebach: leśnych – Bśw i Lśw oraz porolnych – BMśw. Do tych aglomeracji doklejone jak najmniej podobne zostały zgrupowania badane w wariantach: EKO, OR i upraw na siedliskach Bśw (gleby porolne) i BMśw (gleby leśne).

Porównanie średniej biomasy osobniczej SBO zgrupowań biegaczowatych wykazało istotne różnice pomiędzy wszystkimi badanymi wariantami (Test U; $p < 0,001$). Największą wartość SBO, wskazującą zarazem na najbardziej zaawansowane procesy regeneracyjne zanotowano w zgrupowaniu wariantu ekotonowego EKO (SBO=197,2 \pm 26,0 mg). Mniejsze wartości SBO, chociaż w dalszym ciągu stosunkowo wysokie, charakteryzowały wariant BMS (SBO=173,6 \pm 81,6 mg). Wielkości SBO w pozostałych zgrupowaniach, chociaż różniące się statystycznie, faktycznie odbiegały od siebie w nieznacznym stopniu: NW (SBO=157,2 \pm 28,7 mg), OR (SBO=150,5 \pm 24,2 mg) i ORP (SBO=147,5 \pm 22,5 mg).

Wyniki badań w formie syntetycznej przedstawiono za pomocą modelu SBO/SCP na rycinie 4. W modelu takim zgrupowania biegaczowatych żyjące w ekosystemach odtwarzanych (upraw, młodników) zajmują położenia w lewym dolnym narożniku, zaś zgrupowania biegaczowatych obserwowane w drzewostanach starszych – w górnym prawym narożniku [Skłodowski 1995]. Zgrupowania biegaczowatych, które szybciej regenerują się, w odpowiedzi na korzystniejsze warunki środowiska, powinny układać się bliżej prawego górnego narożnika.



Ryc. 4.

Model SCP/SBO przedstawiający stan rozwoju zgrupowań biegaczowatych badanych w różnych wariantach przygotowania gleby porolnej przed zalesieniem

SCP/SBO model illustrating the state of development of carabid assemblages under different variants of soil preparation prior to afforestation of former agricultural land

Model SCP/SBO wskazuje wariant BMS z najszybciej regenerującą się fauną biegaczowatych, zwłaszcza w wariantcie bez domieszki fitomelioracyjnej (BMS) i z domieszką 5000 sztuk (BMS 5,0). Również wysoki stopień regeneracji stwierdzono w zgrupowaniach strefy ekotonowej. Na nieco wolniejszą regenerację zgrupowań wskazał model SCP/SBO w wariantach: ORP 5,0, NW 5,0 i OR 0 bez domieszki fitomelioracyjnych.

Część wymienionych spostrzeżeń potwierdzono porównując statystycznie wielkości SBO otrzymane w poszczególnych zgrupowaniach. W wariantcie BMS pomiędzy dwoma najlepszymi wersjami: BMS vs. BMS 5,0 nie stwierdzono różnic, natomiast porównując wielkość SBO obu wersji odtwarzania ekosystemu z BMS 3,0, otrzymano istotne różnice (Test U; $p < 0,001$). Podobnie, najlepiej opisany wskaźnikami SCP/SBO wariant NW 5,0 różnił się istotnie w stosunku do pozostałych w tym typie przygotowania gleby (test U; $p = 0,002$ do $p < 0,001$). Również zaklasyfikowany jako „najlepszy” wariant OR 0, różnił się istotnie w stosunku do pozostałych wariantów OR, w których stosowano domieszki fitomelioracyjne (test U; $p < 0,001$).

Podsumowanie

Przedstawione badania ukazują stan regeneracji zgrupowań biegaczowatych w czwartym i piątym roku odtwarzania ekosystemu leśnego na nieefektywnych gruntach porolnych. Analizując stan rozwoju zgrupowań biegaczowatych, należy brać pod uwagę dwa różne procesy:

- przygotowania gleby przed posadzeniem drzewek,
- powolnej regeneracji ekosystemu, wymuszonej równomiernym posadzeniem sadzonek.

Wykonywane czterema sposobami przygotowanie gleby to słabsze lub silniejsze „rozbitcie” tradycyjnego profilu gleby rolnej. Ale zaoranie gleby powoduje zanik niektórych biegaczowatych żyjących w terenie otwartym, a w dalszej konsekwencji zastąpienie ich gatunkami kolonizującymi odtwarzane leśne środowiska. Jednak opinie wyrażające silnie redukcyjny wpływ orki na przeżywanie biegaczowatych nie do końca są jednoznaczne. Na przykład z pracy Lorenza i innych [1994] można wnioskować, że dorosłe formy biegaczowatych są mniej czułe na mechaniczne zabiegi agrarne, niż się powszechnie uważa.

Orka, zwłaszcza pełna, to całkowite zniszczenie zwartej pokrywy roślinnej i zastąpienie jej rozległą przestrzenią „gołej” ziemi. Najczęściej jednak, już w drugim roku, pokrywa zielna ulega daleko idącej regeneracji, a z nią wraca fauna terenów otwartych, zwłaszcza kserofile.

Wiosenna kultywacja gleby może spowodować osiemdziesięcioprocentową śmiertelność pre-imaginalnych stadiów *Pterostichus melanarius* [Purvis, Fadl 1996]. Ponieważ jest to gatunek wiosennego typu rozwojowego, czas wiosennych prac polowych pokrywa się z okresem dojrzwania larw i ich przepoczwarczaniem. W Polsce *P. melanarius* bardzo często występuje w terenie otwartym, głównie na glebach zasobniejszych. W zgrupowaniach biegaczowatych żyjących na zalesianych gruntach porolnych, zwłaszcza w czwartym i w piątym roku od przygotowania gleby, *P. melanarius* powinien być jednym z współdominujących gatunków. Jednak w bieżących badaniach gatunek ten występował nielicznie. Ponieważ przygotowanie gleby wykonano jesienią, a nie wiosną, tak małą liczebność *P. melanarius* należy chyba łączyć ze słabą żyznością zalesianej gleby (gleba rdzawa).

Purvis i Fadl [2002] uważają, że orka może przyczynić się do redukcji występowania sześciu gatunków biegaczowatych: *Bembidion obtusum*, *Calathus fuscipes*, *Harpalus rufipes*, *Pterostichus melanarius*, *P. cupreus* i *P. madidus*. Według Cole i innych [2002], obecność w uprawach rolnych zwłaszcza dużych gatunków z rodzaju *Carabus*, zależy odwrotnie proporcjonalnie od intensywności ludzkiej działalności. Podobne reakcje dużych gatunków z rodzaju *Carabus* wobec silnych oddziaływań antropogennych znane są również z terenów leśnych [Szyszko 1990; Skłodowski 1995]. Znakomitego przeglądu wpływu różnych form aktywności agrarnej człowieka na biegaczowate terenów otwartych dokonał Kromp [1999].

Z prac Szujeckiego i innych [1983] oraz Skłodowskiego i Cieślaka [1999] wynika, że wpływ przygotowania gleby powinien być odzwierciedlony utratą dużych gatunków biegaczowatych. Być może utrata dużych gatunków po kilku latach wzrostu nowego drzewostanu przestanie być widoczna na skutek postępującej sukcesji regeneracyjnej. Dużymi gatunkami, które w normalnych warunkach występują w terenie otwartym, zaś w bieżących badaniach wystąpiły zaledwie pojedynczo, są *Brosicus cephalotes* oraz *Carabus auratus*.

Pierwszy z nich jest koloru czarnego, gorące słoneczne dni spędza w wykopanych norkach, dochodzących nawet do 50 cm głębokości. Każda orka, zwłaszcza pełna, głęboka, niszczy norki, w których giną chrząszcze. Gatunek ten jest uskrzydłony i cechuje się dużą siłą dyspersji [Turin 2000]. Teoretycznie zaorany teren mogą kolonizować osobniki migrujące, jednak do wykopania norek potrzebna jest gleba zbita, a nie spulchniona.

Natomiast nieliczne występowanie *C. auratus* wydaje się, że można wiązać ze słabą siłą dyspersji tego bezskrzydłego gatunku oraz małą liczbą osobników tworzących niewielkie lokalne populacje.

Dominującymi gatunkami były eurytopy: duży zoofag *Carabus cancellatus* oraz średniej wielkości hemizoofagi *Harpalus rufipes*, który posiadając skrzydła dobrze lata i bardzo szybko rekolonizuje zaburzone siedliska. Natomiast duża liczebność bezskrzydłego *C. cancellatus* sugeruje możliwość przeżycia tego gatunku podczas orki.

Ponadto wśród dominatów notowano gatunki terenów otwartych: *Poecilus lepidus*, *Harpalus tardus*, był obecny także leśny duży zoofag *P. niger*. Przewaga któregoś z wymienionych gatunków może sugerować zmianę zaawansowania sukcesji regeneracyjnej. Można przyjąć, że w siedliskach najbardziej zbliżonych do modelu pionierskiego dominować będzie *H. tardus* i w dalszej kolejności *P. lepidus*. W wyniku sukcesji regeneracyjnej coraz liczniej powinny występować *C. cancellatus* i *H. rufipes*. Natomiast pojawienie się wśród gatunków współdominujących *P. niger* może sugerować znaczne przyspieszenie sukcesji regeneracyjnej.

W większości wariantów dominowały: *C. cancellatus*, *P. lepidus* i *H. rufipes*, które najczęściej osiągały wskaźnik dominacji na poziomie 15-19%. W wariantach orki głębokiej BMS oraz orki rolniczej z pogłębieniem do dominatów dołączył leśny *P. niger*, przy czym jego wskaźnik dominacji dochodził do 8-10%. Gatunek ten w badaniach prowadzonych przy użyciu przyżyciowej metody CMR [Skłodowski 1999, 2002] wychodził z drzewostanu w otwartą przestrzeń ugoru. Z innych obserwacji wynika, że *P. niger* potrafi penetrować środowiska nieleśne [Wallin 1985, 1986; Wallin, Ekblom 1988]. Prawdopodobnie w bieżących badaniach uchwycono początek kolonizacji *P. niger* upraw leśnych wariantów BMS i ORP. Ponieważ w innych wariantach gatunek ten osiągał znacznie mniejsze wartości wskaźnika dominacji, można przypuszczać, że jego obecność na działkach BMS i ORO wskazuje na najszybciej zachodzące procesy regeneracyjne.

Z kolei w wariacie orki z naorywaniem wałków NW, gatunek ten występuje bardzo nielicznie, co wraz z wysoką dominacją *H. tardus* (10-22%) sugeruje najwolniej postępującą sukcesję regeneracyjną.

Bardzo podobne wnioski wynikają z modelu SCP/SBO (ryc. 4). Zgrupowania zamieszkujące warianty upraw z najszybciej postępującą regeneracją układają się blisko prawego górnego narożnika. Są to zgrupowania wariantów BMS, ORP i ekotonowe. Do grupy tej można dołączyć zgrupowanie badane w wariacie NW – a właściwie jego wariantu, w którym wykorzystano 5000 sadzonek (na 1 ha) domieszki liściastej. Należy przyznać, że również w przypadku wariantów: BMS i ORP, najlepsze cechy zanotowano w zgrupowaniach badanych w odmianie z 5000 sadzonek domieszki liściastej (na 1 ha).

W wariantach BMS i ORP, które uzyskały najlepszą ocenę, liczebność biegaczowatych była istotnie mniejsza w porównaniu z pozostałymi wariantami. Wydaje się, że to prawidłowa obserwacja, świadcząca o zmniejszeniu roli gatunków, które wiązane są bardziej ze stadiami pionierskimi.

Reasumując, zgrupowania biegaczowatych, pomimo niedużych różnic w składzie gatunkowym, wykazały jednak odpowiednie różnice jakościowe, z których można wnioskować:

- najlepszymi wariantami, w największym stopniu przyspieszającym rekolonizację biegaczowatych oraz regenerację siedliska jest orka głęboka BMS oraz orka z pogłębieniem,
- wariantami, w których procesy regeneracyjne były najwolniejsze, są te, w których wykorzystano orkę rolniczą OR oraz z naorywaniem wałków,
- szybkim tempem regeneracji charakteryzował się tzw. ekoton, czyli uprawa z wykorzystaniem liściastych gatunków drzew,
- w wariantach BMS, ORP i NW najlepszymi charakterystykami cechowała się fauna badana w kombinacji sosny z dużą domieszką gatunków liściastych – 5000 sadzonek/ha.

Literatura

- Cole L., McCracken D., Dennis P., Downie I., Griffin A., Foster G., Murphy K., Waterhouse T. 2002. Relationships between agricultural management and ecological groups of ground beetles (*Coleoptera: Carabidae*) on Scottish farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 323-336.

- Kromp B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement Agriculture, Ecosystems and Environment 74 :187-228.
- Lorenz, E., Ulber B., Poehling H. -M. 1994. Einfluß verschiedener mechanischer Unkrautbekämpfungsverfahren auf die Abundanz von Laufkäfern (*Coleoptera, Carabidae*) in Zuckerrüben. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft 14: 635-664.
- Purvis G., Fadl A. M. 1996. Emergence of *Carabidae* (*Coleoptera*) from pupation: a technique for studying the 'productivity' of carabid habitats. Annales Zoologici Fennici 33: 215–223.
- Purvis G., Fadl A. 2002. The influence of cropping rotations and soil cultivation practice on the population ecology of carabids (*Coleoptera: Carabidae*) in arable land Pedobiologia 46: 452–474.
- Skłodowski J. 1995a. Antropogenne przeobrażenia zespołów biegaczowatych (*Col. Carabidae*) w ekosystemach borów sosnowych Polski. W: A. Szujceki i inni: Antropogeniczne przeobrażenia epigeicznej i glebowej entomofauny borów sosnowych. Katedra Ochrony Lasu i Ekologii. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa. 17-174.
- Skłodowski J. 1999. Movement of selected carabid species (*Col. Carabidae*) through a pine forest-fallow ecotone. Fol. Forest. Pol. A. – For. 41: 5-23.
- Skłodowski J. 2002. System kolonizacji zrębów leśnych przez biegaczowate oraz możliwości jego doskonalenia. Wydawnictwo SGGW. 134.
- Szujceki A. 1988. Ekologiczne aspekty odtwarzania ekosystemów leśnych na gruntach porolnych. Sylwan 134: 23–40.
- Szujceki A., Mazur S., Perliński S., Szyszko J. 1983. The process of forest soil macrofauna formation after afforestation of farmland. Warsaw Agricultural University Press.
- Szyszko J. 1983. State of *Carabidae* (*Col.*) fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment. Warsaw Agricultural University Press, Warszawa.
- Turin H. 2000. De nederlandse loopkevers. Verspreiding en oecologie (*Coleoptera: Carabidae*). Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis KNNV Uitgeverij.
- Wallin K. 1985. Spatial and temporal distribution of some abundant carabid beetles (*Coleoptera Carabidae*) in cereal fields and adjacent habitats. Pedobiologia 28: 19–34.
- Wallin H. 1986. Habitat choice of some field-inhabiting carabid beetles (*Coleoptera, Carabidae*) studied by recapture of marked individuals. Ecological Entomology 11: 457–466.
- Wallin H., Ekbohm B. S. 1988. Movements of carabid beetles (*Coleoptera, Carabidae*) inhabiting cereal fields: a field tracing study. Oecologia 77: 39–43.

SUMMARY

Evaluation of different soil preparation techniques in afforesting former agricultural land using a zoindication method

Carabidae were used as a zoindicator to evaluate different soil preparation techniques applied to farmland prior to afforestation: full deep ploughing (MBS), full ploughing to a depth of 25 cm using an agricultural tractor (OR), full ploughing up to 25 cm with subsoil ploughing (ORP) and raising soil horizons.

The prepared sites were afforested in the spring 1999 with Scots pine using additionally three variants with phytomelioration admixture species in the amount of 1500 (variant 1.5), 3000 (variant 3.0) and 5000 (variant 5.0) seedlings per hectare.

The total number of caught beetles was 13 869 individuals from 68 species. The mean trapping ability of carabids in individual variants is illustrated in Fig. 1, and the similarity among assemblages – in Fig. 2.

Taking into consideration the trapping ability, mean individual biomass and colonization by xerophylous or forest species deep ploughing BMS and subsoil ploughing ORP was found to have the greatest impact on the carabid recolonisation rate and site degradation. The slowest regeneration processes were in the variants where agricultural ploughing OR and ridge formation methods were applied. The so-called "ecoton", or cultivation using broadleaved tree species featured quick regeneration rate.