

Zmiany w składzie chemicznym gleby leśnej i porolnej po wprowadzeniu trocin iglastych na tle przebiegu elementów pogody

Chemical composition of soils on post-agricultural and forest sites before and after sawdust addition against the background of weather elements

Monika Małecka^{1*}, Józef Wójcik², Zbigniew Sierota¹

Instytut Badawczy Leśnictwa, ¹ Zakład Ochrony Lasu; ² Samodzielna Pracownia Chemii Środowiska Leśnego, ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn

* Tel. + 48 22 7150561, fax +48 22 7150557, e-mail: M.Malecka@ibles.waw.pl

Abstract. We analysed changes in soil chemical properties (pH, C:N, N, P, K, Ca, Na) inside two forest areas chosen for renewal (Lubartów A and B) and within one post-agricultural site (Świerczyna) designated for afforestation with Scots pine. The experimental plots were located in areas known as persistent cockchafer grub spots. The Lubartów A site was not fenced and showed signs of wild boar activity. Analyses were carried out in the autumn of 2011 and spring 2012, prior to pine sawdust application to the soil and before tree planting, respectively, and again one year later in May 2013. Precipitation as well as air and soil temperatures were recorded throughout the experimental period. We found that soil temperature and humidity, determined by changes in weather, differences in soil chemical properties between forest and agricultural sites as well as sawdust treatments differentially affected soil reaction, C:N ratios and nutrient content. In the unfenced area (Lubartów A), the content of nutrient forms available to plants decreased no more under sawdust treatment than under control conditions. In the remaining areas, sawdust treatment caused an increase or no change in soil concentrations of the investigated nutrients. Under suitable temperature and humidity conditions, sawdust can represent a significant source of energy-rich compounds promoting diversified edaphone activity, which appears to be the main reason for changes in soil nutrient content.

Key words: chemical composition, fallow soil, forest soil, sawdust, weather parameters

1. Wstęp

Mineralizacja substancji organicznej w przebiegu procesów glebotwórczych zachodzi przy udziale mikroorganizmów – głównie grzybów glebowych, bakterii i mikroświata zwierzęcego (roztoczy, nicieni), dla których istotne znaczenie ma dostępność źródeł energii oraz temperatura i woda. W glebie leśnej takim źródłem energii są między innymi systemy korzeniowe, a właściwie zawarte w nich drewno, zawierające celulozę, ligninę, ksylan, związki fenolowe, terpenowe i inne, oraz metabolity zasiedlających je mikroorganizmów. W wyniku procesów rozkładu mikrobiologicznego drewna

korzeni tworzy się humus (Lopez et al. 2006). Nie wnikając w istotę i przebieg tych złożonych procesów biochemicznych, opisanych m.in. przez Kowalińskiego i Goneta (1999), uwagę zwraca dostępność w glebie leśnej różnego rodzaju nisz ekologicznych (baz pokarmowych) dla destruentów. Ich aktywność, związana z realizacją właściwych im procesów życiowych, jest wykorzystywana w inżynierii środowiska m.in. w celu stymulowania tworzenia mikoryz (Różycki et al. 1986), przy remediacji terenów skażonych (Speir et al. 1992; Bielińska et al. 2009), czy przy odtwarzaniu struktur środowiska leśnego, na przykład na tzw. gruntach porolnych (Kwaśna et al. 2000). W procesach takich

wykorzystywane były zarówno trociny z drewna drzew iglastych (Sierota, Kwaśna 1999), jak i zrębki czy komposty, zawierające również pędy i liście (Siuta 2005; Oszako et al. 2005).

Przebieg procesów mikrobiologicznych w glebie jest determinowany przez elementy klimatu, będącego jednym z ważniejszych czynników glebotwórczych. Określa on w znacznym stopniu charakter wietrzenia skał oraz wpływa na kierunki procesów glebotwórczych, warunkuje reżim cieplny i wodny, od których z kolei zależy intensywność rozkładu i syntezy związków mineralnych i organicznych. Brak opadów i długotrwała wysoka temperatura powodują odparowanie dostępnej wody glebowej, co wyraża się w konsekwencji ograniczeniem przebiegu lub zanikiem procesów mineralizacji (Gulledge, Schimel 2000), m.in. wskutek ograniczonego oddychania mikroorganizmów glebowych, zwłaszcza bakterii (Pietikäinen et al. 2005). Nadmiar wody w glebie wywołuje z kolei zjawisko rozcieńczania lub wzmoczonego wymywania wielu pierwiastków, a także zanik oddychania mikroorganizmów glebowych (Overby et al. 2003). Niskie temperatury gleby zimą również mogą prowadzić do zmian aktywności enzymatycznej, zjawisk denaturyzacji struktur komórkowych, czy nawet zamarcia grzybów i innych organizmów uczestniczących w procesach glebotwórczych, jakkolwiek nie jest to zjawisko powszechne (Addy et al. 1994). Zjawiska implikowane przebiegiem pogody, a zwłaszcza jej anomaliami, w konsekwencji zmieniają funkcjonowanie mikroorganizmów i mogą doprowadzić do zaniku osobników czy populacji, ograniczając oczekiwany efekt ich aktywności (Bardgett et al. 2008).

Innym ważnym czynnikiem wpływającym na przebieg procesów mikrobiologicznych w glebie jest sposób użytkowania gruntu (Thornley, Cannell 2000). Glebę wcześniej użytkowaną rolniczo (tzw. grunt porolny) od gleby leśnej różni wiele cech fizykochemicznych i mikrobiologicznych, lecz przede wszystkim określa ją brak systemów korzeniowych drzew (jako bazy pokarmowej dla grzybów rozkładających drewno) oraz obecność tzw. podeszwy płuznej, utrudniającej prawidłowy rozwój systemów korzeniowych (Rykowski 1990). Choć zabiegi hodowlane w leśnictwie są z reguły mniej intensywne niż w rolnictwie, to jednak ich wpływu na edafon nie można pominąć. Zabiegiem zmieniającym warunki glebowe, w tym aktywność edafonu – przynajmniej na pewien czas, lecz w sposób najbardziej drastyczny, jest wykonanie zrębu zupełnego. Jego konsekwencją jest brak dopływu opadu liści/igieł, zakłócenia w rozwoju roślinności runa, zmniejszenie zasięgu systemów korzeniowych i mykoryz, zmiany reżimu wodnego i temperatury oraz zwiększona infiltracja światła przyspieszającego rozkład materii organicznej (Bekele et al. 2007).

Zarówno gleby porolne, jak i powierzchnie zrębowe, czy gniazda w drzewostanie, stosownie do rodzaju terenu zalesia się lub odnawia. Równocześnie takie wolne od drzew, nasłonecznione przestrzenie są doskonałym miejscem rozwoju chrabąszczowatych (Melolonthidae) – składania jaj, 4-letniego cyklu rozwojowego pędraków i wywiedzenia kolejnej populacji tych owadów (Malinowski 2007). Problem ograniczania szkód od pędraków metodami niechemicznymi jest obecnie jednym z najważniejszych problemów zintegrowanej ochrony lasu (Malinowski 2010).

Trociny budziły od dawna zainteresowanie zarówno z uwagi na łatwość i dostępność ich uzyskiwania, jak i cechy fizykochemiczne, zapewniające łatwą penetrację przez grzyby, bakterie czy nicienie (Kwaśna et al. 2001). Nadają bowiem glebie, zwłaszcza porolnej, swoistą strukturę, nasiąkliwość i trwałość w środowisku. Dysponując przy tym dużymi zasobami energetycznymi zawartymi w celulozie, ligninie i ksylenie, trociny w glebie uzyskiwały cechy elicytora przemian mikrobiologicznych, wykorzystywanych w wielu aspektach. Sierota i Kwaśna (1998) wykazali możliwość wykorzystania trocin iglastych w glebie porolnej jako bazy energetycznej dla zwiększenia liczebności ubikwistycznych grzybów glebowych rodzaju *Trichoderma*, zasiedlających trociny na drodze pierwszeństwa. Miało to na celu zapewnienie inokulum grzybów antagonistycznych, skutecznego wobec patogenu *Heterobasidion annosum*, głównego sprawcy zamierania drzew na gruntach porolnych. Trociny i pozostałości pozbawione wykorzystywano zarówno w celu przyspieszenia przebiegu procesów przekształcania gleby porolnej w leśną (Olejarski et al. 2003), jak i nawożenia organicznego gruntów porolnych (Olejarski 2005). Trociny stosowane są także jako podłoże w celu zwiększenia plonowania roślin uprawnych – borówki (Ochmian et al. 2007), owsa, ziemniaków, pszenicy (Skowrońska 2007).

Trociny, na terenach uporczywego występowania pędraków, zastosowano jako elicytor przebiegu procesów mikrobiologicznych w glebie. Przesłanką takiego postępowania było zainicjowanie lub wzmoczenie oczekiwanych reakcji o charakterze antyfidantnym lub inhibicyjnym względem larw chrabąszczowatych, wykazywanym przez bakterie i grzyby glebowe w trakcie zasiedlania korzeni i trocin. Nie bez znaczenia są także reakcje przywabiające owady przez wydzielający się w trakcie rozkładu drewna dwutlenek węgla, który jest silnym atraktantem dla pędraków (Galbreath 1988; Weissteiner et al. 2012; Małecka et al. 2014). Prezentowane wyniki są fragmentem wieloaspektowych badań zrealizowanych w tym zakresie.

Celem niniejszych badań było określenie zmian w składzie chemicznym gleb, jakie zaszły w okresie roku od wprowadzenia trocin iglastych do gleby leśnej na

zrębie i do odługującej gleby porolnej oraz po wysadzeniu sadzonek sosny zwyczajnej. Zmiany te omówiono na tle przebiegu opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza i gleby w badanym okresie. Wyjaśnienie tych zależności może być przyczynkiem w analizie zmian w aktywności bakterii i grzybów zasiedlających glebę opisywanych powierzchni, także w kontekście ich wpływu na liczebność pędraków i przeżywalność sadzonek (Małecka et al. 2014; Kubiak – inf. ustna).

2. Materiały i metody

Wybór powierzchni doświadczalnych i wykonanie zabiegu

Powierzchnie doświadczalne (obiekty) zlokalizowano na terenie uporczywych pędraczysk wskazanych przez Zespoły Ochrony Lasu:

– Nadleśnictwo Lubartów (RDLP w Lublinie), leśnictwo Jawidz, oddz. 201c, zrąb zupełny, siedlisko LMśw na glebie rdzawej brunatnej, wytworzonej z piasków wodnolodowcowych, o uziarnieniu piasku gliniastego; powierzchnia nieogrodzona (Lubartów A; LA),

– Nadleśnictwo Lubartów, leśnictwo Jawidz, oddz. 159a, zrąb zupełny, siedlisko LMśw na glebie rdzawej brunatnej, wytworzonej z piasków wodnolodowcowych, o uziarnieniu piasku gliniastego; powierzchnia ogrodzona (Lubartów B; LB),

– Nadleśnictwo Świerczyna (RDLP w Szczecinku), leśnictwo Laski, oddz. 497f, grunt porolny odługujący, gleba rdzawa bielkowa, wytworzona z piasków wodnolodowcowych, o uziarnieniu piasku słabogliniastego, powierzchnia ogrodzona (Świerczyna; SW).

W każdym obiekcie jesienią 2011 r. wytyczono po 3 bloki przyszłej uprawy doświadczalnej o długości 40 m, a w każdym z nich po 3 pasy szerokości 1,2 m przeznaczone pod nasadzenia, jako różne warianty doświadczania (ryc. 1). Wiosną 2012 r. na odpowiednich pasach w każdym bloku wykonano:

– wariant T1 – w którym na powierzchni gleby w pasie o szerokości 40 cm rozsypano świeże trociny iglaste (0,3 m³/rzęd; 7,5 dm³ na metr bieżący) i przemieszano frezem leśnym (Lubartów) lub ręcznie (Świerczyna) na głębokość około 30 cm,

– wariant T2 – w którym trociny podsypywano bezpośrednio pod korzeń sadzonki sosny w momencie sadzenia (0,3 dm³ trocin/sadzonkę),

– wariant K – wariant kontrolny bez trocin.

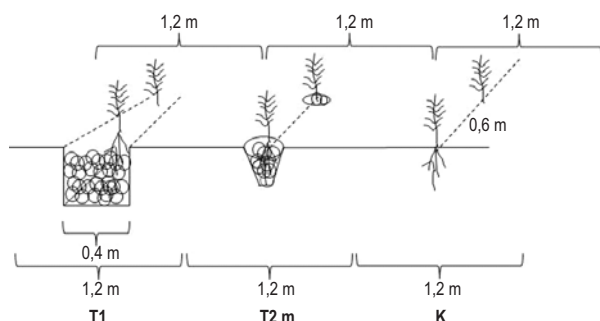
Jednoroczne sadzonki sosny zwyczajnej, pochodzące z lokalnych szkółek, wysadzono w maju 2012 r. w więźbie 0,6×1,2 m, bezpośrednio po wykonaniu zabiegu trocinowania gleby.

Warunki meteorologiczne

Do oceny warunków pogodowych panujących na terenie obiektów doświadczalnych w Nadleśnictwach Lubartów i Świerczyna w okresie trwania prac badawczych wykorzystano interpolowane dane meteorologiczne z najbliższej położonych stacji synoptycznych IMiGW (stacje hydrologiczno-meteorologiczne odpowiednio w Lublinie i Chojnicach). Analizie poddano następujące parametry meteorologiczne: miesięczną sumę opadów atmosferycznych, średnią miesięczną temperaturę powietrza, minimalną temperaturę powietrza przy gruncie, minimalną temperaturę gruntu na głębokości 5 cm oraz wyliczono współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa $K = 10P / \sum t$ dla sezonów wegetacyjnych w okresie styczeń 2011 r. – lipiec 2013 r. Dane źródłowe zaczerpnięto z ogólnodostępnych Biuletynów Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej.

Analizy chemiczne gleby

Próby pobrano przy wytyczaniu powierzchni w wrześniu 2011 r. oraz w maju 2012 r. – przed wykonaniem zabiegów i w maju 2013 r. – po roku wzrostu upraw. Z każdego pasa wariantów T1 i K oraz z bezpośredniej bliskości korzeni w wariantcie T2 pobierano świdrem glebowym z głębokości 0–20 cm po 3 próbki gleby i tworzą próbkę zbiorczą. Badania wykonano zgodnie z metodyką przyjętą w międzynarodowym programie monitoringu lasów ICP Forests. Uziarnienie gleb oznaczano metodą pipetową według PN-ISO 11277, odczyn gleb (pH-H₂O i pH-KCl) – metodą potencjometryczną według PN-ISO 10339:1997, zawartość węgla organicznego (%) – metodą analizy elementarnej według PN-ISO 10694:2002, zawartość azotu ogólnego (%) – metodą analizy elementarnej według PN-13878:2002, zawartość potasu, wapnia, magnezu (mg/100g) w wyciągu octanu amonu według procedury PB-05 ed.2, zaś



Rycina 1. Schemat usytuowania sadzonek w wariantach T1, T2 i K w bloku doświadczalnym

Figure 1. Layout of seedlings in variants T1, T2 and K in the experimental block

fosfor przyswajalny (P_2O_5) metodą Egnera-Riehma, przeliczony na P (mg/100g). Analizy wykonała Samodzielna Pracownia Chemii Środowiska Leśnego Instytutu Badawczego Leśnictwa, posiadająca akredytację PCA nr AB740.

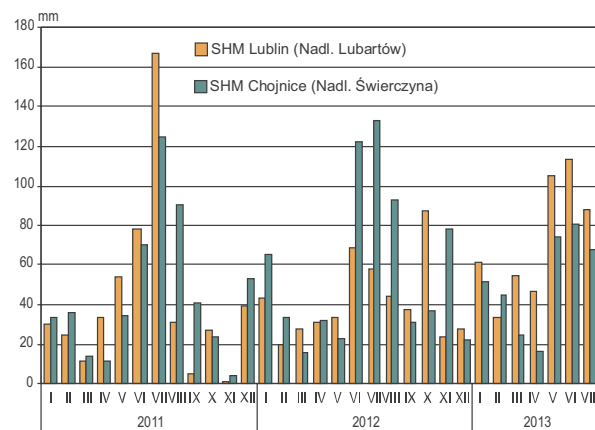
Do oceny związków między wariantem zabiegu a parametrami elementów chemicznych gleb w każdym z obiektów, po przetransformowaniu niektórych danych (C% i N% oraz stosunek C:N) wg wzoru Blissa, zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji, a różnice post-hoc oceniono testem HSD Tukey'a (program Statgraphics™ Centurion).

3. Wyniki

Przebieg elementów pogody

Opady atmosferyczne

Pod względem wielkości opadów, lato poprzedzające okres wykonania zabiegu trocinowania gleb było wilgotne – w lipcu na obydwu powierzchniach wystąpiły największe w 2011 r. opady atmosferyczne, osiągające 165 mm w okolicach Lubartowa oraz 125 mm w okolicach Świerczyny (ryc. 2). Z kolei jesienią 2011 r. zanotowano drastyczny niedobór opadów – największy we wrześniu w Lubartowie (5 mm). Okres zimy 2011/2012 był zbliżony pod względem wielkości opadów na obydwu powierzchniach, podobnie jak wiosna 2012 r. Dopiero od czerwca, zwłaszcza w rejonie obiektu Świerczyna, wystąpiły wyjątkowo obfite opady deszczu, osiągające w lipcu 2012 r. ponad 135 mm. Z kolei w Lubartowie październik obfitował w opady rzędu



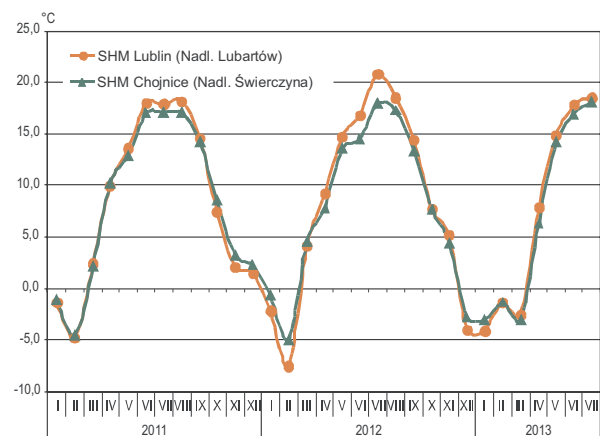
Rycina 2. Wielkość opadów atmosferycznych w latach 2011–2013 na terenie obiektów doświadczalnych Lubartów i Świerczyna (SHM – stacje hydrologiczno-meteorologiczne)

Figure 2. Atmospheric precipitation in 2011–2013 on the Lubartów and Świerczyna experimental plots (SHM – hydrometeorological station)

90 mm. Zima 2012/2013 była w tym rejonie dość śnieżna, co wraz z opadami deszczu, trwającymi od marca do lipca (113 mm w czerwcu), uzupełniło niedobór wilgoci w glebie. Z kolei w obiekcie Świerczyna w marcu i kwietniu opady były niewielkie (około 20 mm) i dopiero deszcze (70–80 mm) w okresie maj – lipiec zwiększyły wilgotność gleby.

Średnia miesięczna temperatura powietrza

Przebieg linii opisujących wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza w obydwu obiektach był w latach 2011–2013 zbliżony, osiągając jedynie okresowo większe odchylenia (ryc. 3). Latem 2011 nieco wyższe średnie temperatury powietrza zanotowano w Lubartowie, natomiast zimą 2012 r. (luty) były one o kilka stopni niższe niż w Świerczynie. Od kwietnia 2012 r. rejon Lubartowa cechowały wyższe temperatury niż rejon Świerczyny i stan ten utrzymywał się aż do września. Okres zimy 2012/2013 był w obydwu obiektach dość łagodny, przykładowo – średnia temperatura powietrza dla lutego wynosiła niecałe -2°C . Wiosna 2013 r. była łagodna, osiągając w maju średnio $14\text{--}15^{\circ}\text{C}$ w obydwu obiektach, natomiast temperatura w czerwcu i lipcu była wyższa od przeciętnej w obydwu obiektach.

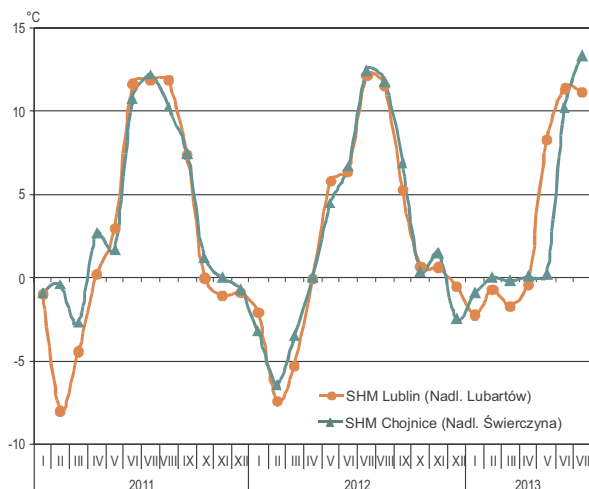


Rycina 3. Przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza w latach 2011–2013 na terenie obiektów doświadczalnych Lubartów i Świerczyna

Figure 3. Monthly mean air temperature in 2011–2013 on the Lubartów and Świerczyna experimental plots

Temperatura minimalna gruntu na głębokości 5 cm

Zimą w kolejnych latach obserwacji najniższe temperatury minimalne gruntu notowano na terenie obiektu Lubartów – w lutym 2011 i 2012 r. osiągały niemal $-8,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 4). Przebieg zimy 2013 r. był łagodniejszy, temperatura gruntu nie spadała poniżej $-2,0^{\circ}\text{C}$. W sezonie wegetacyjnym przebieg temperatury minimalnej



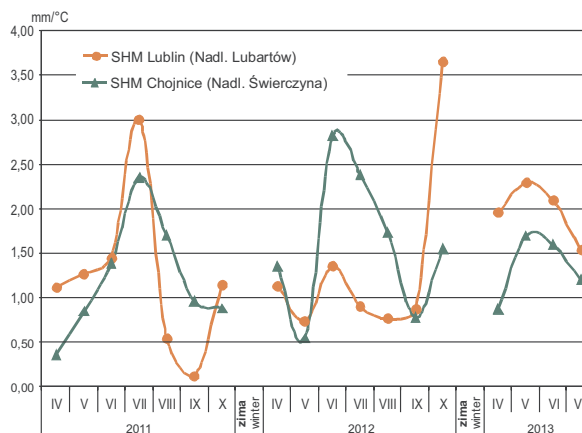
Rycina 4. Przebieg minimalnej temperatury gruntu na głębokości 5 cm w latach 2011–2013 na terenie obiektów doświadczalnych Lubartów i Świerczyna

Figure 4. Minimal temperature at ground level at a depth of 5 cm in 2011–2013 on the Lubartów and Świerczyna experimental plots

gruntu był zbliżony w obydwu obiektach, natomiast w miesiącach letnich kształtował się on na poziomie 11,0–12,0°C.

Współczynnik hydrotermiczny K

Wartości współczynnika hydrotermicznego K , opisujące relacje między temperaturą powietrza a opadami w sezonie wegetacyjnym, w sposób syntetyczny odzwierciedlają przebieg tych meteorologicznych elementów pogody. Tylko latem 2011 r. warunki wegetacji były lepsze w Lubartowie niż w Świerczynie, gwałtownie pogarszając się od sierpnia (ryc. 5). Okres wiosny (do maja) 2012 r. na obydwu powierzchniach był mało sprzyjający rozwojowi roślin. Sytuacja poprawiła się w czerwcu i lipcu, przede wszystkim na terenie Świerczyny, gdzie wartość współczynnika osiągała 2,5–3,0 (średnia wieloletnia wartość współczynnika dla tego rejonu wynosi 1,44). W tym czasie na terenie Lubartowa warunki wzrostu roślin można określić jako niekorzystne (susza, $K < 1$). We wrześniu 2012 r. w obiekcie Świerczyna nastąpiło załamanie warunków pogody i współczynnik hydrotermiczny osiągnął wartość 0,78, co świadczy o bardzo dużym zaburzeniu wegetacji pod koniec sezonu rozwojowego. Podobny układ warunków pogody wystąpił we wrześniu także na terenie Lubartowa. Nieoczekiwanie koniec sezonu wegetacyjnego (październik) w obu obiektach zaznaczył się poprawą warunków wilgotnościowych, zwłaszcza na terenie Lubartowa, co wyraziło się bardzo wysoką wartością współczynnika hydrotermicznego $K=3,7$. Wiosna i początek lata 2013 r. w tym regionie były sprzyjające



Rycina 5. Wartości współczynnika hydrotermicznego w miesiącach sezonu wegetacyjnego w okresie 2011–2013 na terenie obiektów doświadczalnych Lubartów i Świerczyna

Figure 5. The values of the hydrothermal coefficient in individual months of the growing season 2011–2013 in the Lubartów and Świerczyna experimental plot

rozwojowi roślin, natomiast obiekt Świerczyna cechowały nieco gorsze warunki termiczno-wilgotnościowe.

Parametry chemiczne gleby

Porównanie cech chemicznych gleby tych samych wariantów, ocenianej jesienią 2011 r. i wiosną 2012 r., wskazuje na wiele istotnych zmian, które zaistniały zarówno między obiektami, jak i między terminami oceny (tab. 1). Szczególnie uwidoczniły się one w przypadku obiektu Lubartów A – w ciągu kilku miesięcy nastąpił istotny wzrost odczynu gleby z pH 4,53 do pH 4,91 (w Lubartowie B z pH 4,52 do pH 4,68). Wiosną 2012 r. (przed sadzeniem) w glebie tego obiektu (Lubartów A) stwierdzono także trzykrotny wzrost zawartości magnezu, dwukrotny wzrost zawartości wapnia oraz znaczący wzrost zawartości potasu i fosforu. Dwukrotnie wzrósł udział azotu, przy nieznacznym wzroście udziału węgla, co zróżnicowało wartości stosunku C:N – w Lubartowie A stosunek ten uległ obniżeniu z 27 jesienią 2011 r. do 14 wiosną 2012 r. (w Lubartowie B – odpowiednio z 21 do 14). W obiekcie Lubartów B nastąpiło z kolei zmniejszenie (choć nieistotne statystycznie) zawartości badanych pierwiastków w glebie. Zmniejszeniu uległ także udział azotu i węgla w glebie. Wartość stosunku C:N w analizowanych obiektach w obu terminach badania gleby była wyższa w glebach spod zrębów zupełnych (Lubartów A oraz B) niż w odłogowanym gruncie porolnym (Świerczyna).

W przypadku obiektu Świerczyna różnice w wartościach parametrów chemicznych gleby mierzonych jesienią 2011 r. i wiosną 2012 r. nie były istotne sta-

Tabela 1. Średnie wartości badanych cech gleby, wartości *F* oraz istotności *p* w analizie wariancji ANOVA w okresach jesień 2011 r. i wiosna 2012 r., przed wykonaniem zabiegu trocinowania i sadzeniem (wariant kontrolny)

Table 1. Mean values of the examined soil properties, F values and significance p values in the Analysis of Variance (ANOVA) in the autumn of 2011 and spring of 2012, prior to sawdust application and planting (control variant).

Obiekt	Terminy / Anova Dates / Anova	pH-H ₂ O	pH-KCl	Ca	Mg	K	P	N	C	C : N
				mg/100 g				%		
LA	jesień 2011 / autumn 2011	4,53	3,69	8,94	0,82	4,58	1,68	0,082	2,24	27,26
	wiosna 2012 / spring 2012	4,91	3,85	19,77	2,93	7,24	2,46	0,163	2,31	14,25
	<i>F</i>	18,23	25,51	20,96	51,75	11,98	9,53	104,42	0,42	85,54
	<i>p</i>	0,0130	0,0072	0,0102	0,0020	0,0258	0,0367	0,0005	0,5521	0,0008
LB	jesień 2011 / autumn 2011	4,52	3,55	21,98	2,73	6,82	3,07	0,15	3,22	21,48
	wiosna 2012 / spring 2012	4,68	3,80	9,01	1,34	4,09	1,03	0,09	1,28	14,56
	<i>F</i>	0,67	2,14	4,82	4,05	1,58	3,40	32,27	157,55	63,51
	<i>p</i>	0,4598	0,2171	0,0930	0,1144	0,2772	0,1388	0,0047	0,0002	0,0013
SW	jesień 2011 / autumn 2011	5,92	4,61	36,57	3,66	7,78	7,46	0,079	1,07	13,07
	wiosna 2012 / spring 2012	5,97	4,55	31,11	4,02	9,06	4,65	0,097	1,03	10,56
	<i>F</i>	0,10	0,12	0,18	0,14	0,70	5,52	1,28	0,00	4,38
	<i>p</i>	0,7713	0,7483	0,6971	0,7250	0,4497	0,0786	0,3213	0,9640	0,1046

Pogrubioną czcionką oznaczono istotne różnice między średnimi ($p < 0,05$)

Bold letters indicate significant differences between the means ($p < 0,05$)

tystycznie. Analizy wskazały na generalnie mniej kwaśny odczyn gleby w obiekcie Świerczyna niż w obiektach Lubartów. Potwierdza to większa zawartość wymiennego wapnia w glebie, przekraczająca w terminach 2011 r. i 2012 r. wartość 30 mg/100 g w porównaniu do 19–20 mg/100g w obiektach Lubartów A i Lubartów B (tab. 1).

Analiza gleby po roku trwania doświadczenia wskazała na pewne zmiany parametrów chemicznych badanych gleb. W porównaniu do stanu wyjściowego (wiosna 2012) odczyn gleb uległ nieznacznym, jednak istotnym statystycznie, zmianom; stwierdzono także istotne różnice w zawartości poszczególnych pierwiastków (tab. 2). W obiekcie Lubartów A w przypadku jonów Ca, Mg, K i P po upływie roku zwracają uwagę wyższe ich wartości na poletkach kontrolnych (zwłaszcza w przypadku wapnia) i niższe na poletkach trocinowanych. W wariantach T1 i T2 zawartość magnezu, potasu i fosforu była zbliżona, w porównaniu z kontrolą.

Analiza gleby w obiekcie Lubartów B również wskazuje na pewne zmiany odczynu gleby – zmniejszenie kwasowości. Zawartość fosforu nie uległa większym zmianom, natomiast wprowadzenie trocin w wariantie T2 (trocin wprowadzone punktowo) spowodowało zmniejszenie zawartości pozostałych pierwiastków w poletkach zabiegowych. Poletka bez dodatku trocin wykazywały mniejszą zawartość omawianych pierwiastków niż w poprzednim roku (tab. 2).

Ocena zawartości badanych cech gleby kontrolnej pobranej do badań w obiekcie Świerczyna wskazuje na brak istotnych zmian odczynu gleby, zawartości pierwiastków i stosunku C:N pomiędzy wiosną 2012 r.

i wiosną 2013 r. (tab. 2). Trocinowanie gleby w wariantie T1 zwiększyło istotnie ilość wapnia w stosunku do kontroli oraz nieznacznie w porównaniu z wariantem T2. W przypadku magnezu, potasu i fosforu nie stwierdzono istotnych różnic, zarówno w stosunku do kontroli (bez trocin), jak i gleby wyjściowej (przed zabiegiem).

Ocena zróżnicowania zawartości węgla i azotu w badanych glebach wskazuje, że w wariantcie kontrolnym (K) i zabiegowym (T2), po roku wzrostu sadzonek sosny udział węgla i w mniejszym stopniu azotu, zmniejszył się (za wyjątkiem obiektu Lubartów B) (tab. 2). We wszystkich obiektach, pod wpływem zabiegu trocinowania w wariantie T1, zaznaczył się wzrost zawartości węgla w glebie, największy wystąpił w obiekcie Lubartów A. W glebie trocinowanej punktowo (wariant T2) ilość węgla była zawsze niższa względem kontroli. Ogólnie udział węgla na powierzchni w Lubartowie A był niemal dwukrotnie większy niż w obiekcie Lubartów B i niemal 2,5 krotnie większy niż w glebie porolnej obiektu Świerczyna. Udział azotu w glebie był na zbliżonym poziomie we wszystkich obiektach.

4. Dyskusja i wnioski

Spadek zasobów glebowego węgla organicznego (SOC), jaki ma miejsce po wykonaniu zrzębu, jest głównie wynikiem wymieszania bogatej w materię organiczną ektopróchnicy oraz górnej warstwy gleby, z położonymi głębiej warstwami mineralnymi (Nyland 2001; Yanai et al. 2003). Destrukcja gleby z tego powodu powoduje zwiększoną respirację mikroorganizmów

Tabela 2. Średnie wartości badanych cech gleb, wartości *F* oraz istotności *p* w analizie wariancji ANOVA w okresach wiosna 2012 r. i wiosna 2013 r., po wykonaniu zabiegu trocinowania i sadzenia (Warianty zabiegowe: K – kontrola, bez trocin, T1 – trociny wymieszane z glebą w rzędzie, T2 – trociny podane pod sadzonkę)
 Table 2. Mean values of the examined soil properties, *F* values and significance *p* values in the Analysis of Variance (ANOVA) in the spring of 2012 and the spring of 2013, after sawdust application and planting (treatment variants: K – control, without sawdust, T1 – sawdust mixed with soil in rows, T2 – sawdust applied under seedlings).

Obiekt Sites	Terminy / ANOVA Dates / ANOVA	Wariant Treatment variant	pH-H ₂ O	pH-KCl	Ca	Mg	K	P	N		C	C:N
									mg/100g	%		
LA	wiosna 2012 spring 2012	stan wyjściowy initial state	4,91 b	3,85 b	19,8 b	2,93 c	7,63 b	2,46 b	0,16 c	2,31 d	14,25 b	
		K	4,84 b	4,80 d	50,0 a	5,79 d	14,69 c	5,36 c	0,12 b	1,64 b	13,30 a	
	wiosna 2013 spring 2013	T1	4,70 a	3,70 a	17,0 b	2,22 b	4,04 a	1,23 a	0,15 c	2,11 c	14,10 b	
		T2	5,00 c	4,00 c	12,0 c	1,53 a	3,76 a	1,69 a	0,10 a	1,36 a	13,20 a	
	<i>F</i>		46,84	949,85	374,41	165,93	1570,75	87,6	55,47	171,91	21,36	
	<i>p</i>		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	
LB	wiosna 2012 spring 2012	stan wyjściowy initial state	4,68 a	3,8 a	9,1 bc	1,34 b	4,09 d	1,03 ab	0,09 b	1,28 b	14,56	
		K	4,80 b	3,8 a	8,0 b	0,78 a	2,28 a	0,95 a	0,09 b	1,29 b	13,80	
	wiosna 2013 spring 2013	T1	5,00 c	3,8 a	10,0 c	1,31 b	3,60 c	1,11 b	0,10 c	1,43 c	14,70	
		T2	4,70 a	3,9 b	5,0 a	0,64 a	2,56 b	0,93 a	0,08 a	1,10 a	13,80	
	<i>F</i>		177,33	42,86	27,34	64,84	331,53	11,50	28,95	31,26	2,68	
	<i>p</i>		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0028	0,0001	0,0001	0,1181	
SW	wiosna 2012 spring 2012	stan wyjściowy initial state	5,97 ab	4,54 a	31,1 ab	4,02	9,06	4,65	0,097	1,03	10,60	
		K	5,80 a	4,40 a	25,0 a	3,16	6,07	4,68	0,092	0,95	10,40	
	wiosna 2013 spring 2013	T1	6,20 b	4,90 b	47,0 b	4,32	7,65	4,44	0,092	0,99	10,80	
		T2	6,10 b	4,70 ab	34,0 ab	3,40	5,02	3,77	0,085	0,90	10,70	
	<i>F</i>		7,20	7,75	4,29	3,04	1,70	3,42	1,30	1,49	2,12	
	<i>p</i>		0,0116	0,0094	0,0443	0,0929	0,2433	0,0728	0,3407	0,2901	0,1761	

Pogrubioną czcionką oznaczono istotne różnice między średnimi ($p < 0,05$)

Bold letters indicate significant differences between the means ($p < 0,05$)

(Besnard et al. 1996; Diochon et al. 2009) co może, w przypadku skrajnie nieprawidłowych technik pozyskania, doprowadzić do strat ilości SOC rzędu $20 \pm 2,5$ Mg C na hektar. Covington (1981) oszacował, że w ciągu pierwszych 20 lat po wykonaniu zrębu zasoby SOC zmniejszają się gwałtownie o 50% lub nawet więcej. Zummo i Friedland (2011) podają natomiast, że różnice w zasobach węgla glebowego, spowodowane stosowaniem prawidłowych i nieprawidłowych technik pozyskania, mogą sięgać 25% całkowitej puli SOC. Podobny efekt częściowego wymieszania poziomów górnych warstw gleby nastąpił, jak się wydaje, na skutek buchtowania dzików w uprawie obiektu Lubartów A (uprawa nieogrodzona), jakkolwiek trwał tylko jeden rok.

Porównując stany wyjściowe zawartości węgla organicznego z jego ilością w glebach kombinacji kontrolnych, stwierdzono, że w obydwu obiektach ulokowanych na zrębie (LA i LB) ma miejsce gwałtowny rozkład materii organicznej. W obiekcie LA zawartość SOC w okresie wiosna 2012 r. – wiosna 2013 r. zmniejszyła się aż o 29%. Tempo mineralizacji było także modyfikowane poprzez warunki pogodowe, zwłaszcza przez wysokie temperatury powietrza latem. W obiekcie SW (odługujący grunt porolny) rozkład materii organicznej był znacznie mniej intensywny, zapewne z braku grzybów rozkładających celulozę i ligninę. Świadczy o tym również stały stosunek C:N, oscylujący wokół wartości 10, charakterystyczny dla gleb użytkowanych rolniczo. W glebie odługowanej istniał stan równowagi pomiędzy ilością C docierającą do niej z resztkami roślinnymi, a utratą C poprzez, przede wszystkim, rozkład materii organicznej.

Zwiększona, w warunkach zrębu zupełnego, aktywność edafonu (Yanai et al. 2003) powoduje zwiększenie tempa mineralizacji materii organicznej do prostych związków nieorganicznych, takich jak: CO_2 , NH_3 , H_2O , oraz jonów NO_3^- , SO_4^{2-} , czy HPO_4^{2-} . Namnażający się gwałtownie edafon wykorzystuje do budowy swoich organizmów glebowe składniki pokarmowe, konkurując o nie z roślinami wyższymi. Zjawisko to znane jest jako sorpcja biologiczna (immobilizacja). W badanych obiektach ulokowanych na zrębach zupełnych (LA i LB) następowało stopniowe, wyraźne zmniejszanie się puli wymiennych i przyswajalnych form składników pokarmowych. Było to spowodowane pobieraniem tych składników przede wszystkim przez edafon (Kubiak et al., w przygotowaniu), a także przez rośliny wyższe, głównie grzybnię ektomykoryzową (Smith, Read 1997). W obiekcie na odługowanym gruncie porolnym (SW), gdzie mineralizacja materii organicznej przez edafon nie była tak intensywna (Kubiak – inf. ustna), spadek ilości wymiennych i przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie był nieznaczny.

Wraz z materią organiczną w postaci trocin iglastych, do gleb wniesiono dodatkowe ilości azotu, fosforu, potasu, wapnia oraz magnezu. W wyniku mikrobiologicznego rozkładu trocin, przede wszystkim przez bakterie kopiotroficzne oraz niektóre grzyby (Kubiak – inf. ustna; Kwaśna – inf. ustna), uwalniały się z nich mineralne formy tych składników pokarmowych. Były one konsumowane przez edafon (wtórna immobilizacja) lub pozostawały w glebie w formach wymiennych, bądź przyswajalnych. Efektem netto zabiegu mógł być wzrost, spadek lub brak zmian w zawartości N, P, K, Ca, Mg w glebach.

Porównując stan wyjściowy gleb nietrocinowanych (wiosna 2012 i wiosna 2013 – powierzchnia kontrolna K) stwierdzono, że w obiekcie Lubartów A (powierzchnia nieogrodzona) nastąpił bardzo wyraźny wzrost zawartości wymiennych form wapnia, magnezu, potasu i przyswajalnych form fosforu. Było to prawdopodobnie spowodowane działalnością dzików i zostawianymi przez nie odchodami. W glebie obiektu LA wiosną 2013 r. w kombinacjach z trocinami miał miejsce spadek zawartości dostępnych dla roślin form składników pokarmowych, w porównaniu do gleby kontrolnej. Buchtowanie, a więc napowietrzanie gleby oraz obecność mocznika, przy braku trocin w wariantach kontrolnych mogło wpłynąć na wzrost zawartości kationów badanych związków, w tym także na dwukrotny wzrost udziału azotu (N%). W tym samym okresie na ogrodzonych obiektach LB oraz SW wzrósł zawartości składników pokarmowych nie stwierdzono.

Niezależnie od obiektu zawartość składników pokarmowych w glebie była wyższa w wariantach T1, gdzie zastosowano trociny w rzędach w dawce $0,3 \text{ m}^3/\text{rzęd}$, niż w wariantach T2, w których trociny podsypywano bezpośrednio pod korzeń sadzonki w momencie sadzenia, w dawce $0,3 \text{ dm}^3/\text{sadzonkę}$. Było to spowodowane większą aktywnością edafonu w wariantach T2 (Kubiak et al., w przygotowaniu; Kwaśna et al., w przygotowaniu), determinowaną dużą punktowo ilością materii organicznej, a co za tym idzie zwiększoną sorpcją biologiczną składników pokarmowych.

Klimat, poprzez takie składowe jak: temperatura, ilość opadów, czy wielkość ewapotranspiracji, wywiera duży wpływ na aktywność edafonu, tempo gromadzenia materii organicznej i inne fizykochemiczne właściwości gleby (Post et al. 1982; Andrews et al. 2000; Gulledge, Schimel 2000; Prichard et al. 2000; Wilcox et al. 2002). Zmiany krótkookresowe są jednak trudne do jednoznacznego zinterpretowania, a wyniki uzyskane w okresie dwuletnich badań są jedynie informacją sygnałną o zachodzących zmianach.

Uzyskane wyniki wskazują, że:

– warunki termiczno-wilgotnościowe wynikające z przebiegu pogody w badanym okresie, różnice w skła-

dzie chemicznym gleb leśnych oraz gleby porolnej, a także zastosowanie zabiegu trocinowania – w zróżnicowany sposób wpłynęło na zmiany ich odczynu, stosunku C:N oraz wartości badanych właściwości chemicznych gleby,

– wzrost zawartości dostępnych dla roślin form składników pokarmowych stwierdzono w glebie obiektu nieogrodzonego (Lubartów A), co wiąże się z buchtowaniem gleby przez dziki.

– dodatek trocin do gleby, zależnie od sposobu ich podania pod sadzonkę, powodował wzrost lub brak zmian w zawartości badanych składników pokarmowych,

– zmiany zawartości składników pokarmowych gleb należy tłumaczyć przede wszystkim wzrastającą aktywnością bakterii i grzybów, dla których w odpowiednich warunkach termiczno-wilgotnościowych trociny stanowią istotne źródło związków energetycznych (wyniki niepublikowane), przez co można określić je mianem elicytora.

Podziękowanie

Praca została zrealizowana w ramach projektu rozwojowego dofinansowanego w latach 2010–2013 przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, zgodnie z umową nr N R12 0096 10. Autorzy pragną podziękować Panom Nadleśniczym i pracownikom Nadleśnictw Lubartów i Świerczyna za umożliwienie prowadzenia badań oraz życzliwość i udzieloną pomoc.

Literatura

- Addy H.D., Schaffer G.F., Miller M.H., Peterson R. L. 1994. Survival of the external mycelium of a VAM fungus in frozen soil over winter. *Mycorrhiza*, 5(1): 1–5.
- Andrews J.A., Matamala R., Westover K.M., Schlesinger W.H. 2000. Temperature effects on the diversity of soil heterotrophs and the delta 13C of soil respired CO₂. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 699–706.
- Bardgett R.D., Freeman Ch., Ostle N.J. 2008. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. *International Society for Microbial Ecology*, 2: 805–814.
- Bekele A., Kellman L., Beltrami H. 2007. Soil profile CO₂ concentrations in forested and clear cut sites in Nova Scotia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 242: 587–597.
- Besnard E., Chenu C., Balesdent J., Puget P., Arrouays D. 1996. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*, 47: 495–503.
- Bielińska E.J., Węgorok T., Mocek A., Puchała A. 2009. Wpływ ryzosfery na aktywność enzymatyczną gleb w uprawie regeneracyjnej sosny zwyczajnej w zasięgu dłużej emisji azotowej w: Tereny zdegradowane i rekultywowane – możliwości ich zagospodarowania (red. S. Stankowski, K. Pacewicz) Szczecin, PPH Zapol Dmochowski, Sobczyk Sp.j., s. 25–34.
- Covington W.W. 1981. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. *Ecology*, 62: 41–48.
- Diochon A., Kellman L., Beltrami H. 2009. Looking deeper: an investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chrono-sequence. *Forest Ecology and Management*, 257: 413–420.
- Galbreath R. A. 1988. Orientation of grass grub *Costelytra zealandica* (Coleoptera: Scarabaeidae) to a carbon dioxide source. *New Zealand Entomologist*, 11 (1): 6–7.
- Gulledge J., Schimel J.P. 2000. Controls on soil carbon dioxide and methane fluxes in a variety of taiga for stands in interior Alaska. *Ecosystems*, 3: 269–282.
- Kowaliński S., Gonet S. 1999. Materia organiczna gleb, w: Gleboznawstwo (red. S. Zawadzki), Warszawa, PWRiL, s. 237–263.
- Kwaśna H., Sierota Z., Bateman G.L. 2000. Fungal communities in fallow soil before and after amending with pine sawdust. *Applied Soil Ecology*, 14:177–182.
- Kwaśna H., Brzeski M.W., Sierota Z. 2001. Mikroorganizmy środowiska glebowego odługujących gruntów porolnych – zmiany w zbiorowiskach grzybów i nicieni po dodaniu trocin iglastych, w: Drobnoustroje środowiska glebowego – aspekty fizjologiczne, biochemiczne, genetyczne (red. H. Dahm, A. Pokojka). Toruń, Wyd. A. Marszałek, s. 57–66.
- Lopez M.J., Vargas M.C.G., Suarez F., Moreno J. 2006. Biodegradation and humification of horticultural plant residues by fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 57: 165–179.
- Malinowski H. 2007. Aktualne problemy ochrony lasu związane ze zwalczaniem chrabąszczy (*Melolontha* spp.). *Postępy w Ochronie Roślin*, 47(1): 314–322.
- Malinowski H. 2010. Niechemiczne metody ochrony szkółek i upraw leśnych przed owadami uszkadzającymi systemy korzeniowe drzew i krzewów. Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, 80 s. ISBN 97883878647926.
- Małecka M., Sierota Z., Tarwacki G. 2014. Próba oceny wpływu zastosowania trocin w uprawie 1-roczonej sosny zwyczajnej na liczebność pędraków chrabąszczy. *Sylwan* (w druku).
- Nyland R.D., 2001. *Silviculture: Concepts and Applications*, 2nd ed. Boston, McGraw Hill, 682 s.
- Ochmian I., Grajkowski J., Ostrowska K., Mikiciuk G. 2007. Wzrost, plonowanie oraz jedność owoców dwóch odmian borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.) uprawianej w trzech typach podłoża organicznych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarnictwa*, 15: 47–54.
- Olejarski I. 2005. Wykorzystanie pozostałości zrębowych do nawożenia organicznego gruntów porolnych. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 92: 20–24.
- Olejarski I., Oszako T., Hilszczańska D., Wójcik J., Zwoliński J. 2003. Możliwości wykorzystania odpadów zrębowych, kompostów, trocin na gruntach porolnych w celu inicjowania procesów przekształcania gleby rolnej w leśną. Sękocin Stary, Dokumentacja Naukowa Instytutu Badawczego Leśnictwa.

- Oszako T., Olejarski I., Szewczyk W. 2005. Initiation of processes of soil transformation from post-agricultural to forest one as a way to limit damage caused by *Heterobasidion annosum*, w: Root and Butt Rots of Forest Trees. Proc. 11th Int. Conf. Poznań-Białowieża (red. M. Mańka, P. Łakomy). Poznań, Uniwersytet Przyrodniczy, s. 449–459.
- Overby S.T., Hart S.C., Neary D.G. 2003. Impacts of natural disturbance on soil carbon dynamics in forest ecosystems, w: The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect (red. J. Kimble, L. Heath, R. Birdsey, R. Lal) CRC Press, Boca Raton, FL, s. 159–172.
- Pietikäinen J., Pettersson M., Bååth E. 2005. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. *FEMS Microbiology Ecology*, 52(1): 49–58.
- Post W.M., Emanuel W.R., Zinke P.J., Stangenberger A.G. 1982. Soil carbon pool and world life zones. *Nature*, 298: 156–159.
- Prichard S.J., Peterson D.L., Hammer R.D., 2000. Carbon distribution in sub-alpine forests and meadows of the Olympic Mountain, Washington. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 1834–1845.
- Różycki H., Dahm H., Strzelczyk E., Prusinkiewicz Z., Kowalski S. 1986. Wpływ nawożenia mineralnego na liczebność, skład rodzajowy i gatunkowy oraz potrzeby pokarmowe bakterii gleby, ryzosfery i mikoryzosfery sosny (*Pinus silvestris* L.) w borze chrobotkowym (*Cladonio-Pinetum*). *Folia Forestalia Polonica*, Ser. A Leśnictwo, 28: 5–24.
- Rykowski K. 1990. Problemy ochrony lasu na gruntach polnych. *Sylwan*, 134: 75–88.
- Sierota Z., Kwaśna H. 1998. Effect of pine sawdust on the structure of fungi communities in the soils of post agricultural land. *Acta Mycologica*, 33(1): 77–90.
- Sierota Z., Kwaśna H. 1999. Ocena mikologiczna zmian zachodzących w glebie gruntu porolnego po dodaniu trocin iglastych. *Sylwan*, 4: 57–66.
- Siuta J. 2005. Odpady czynnikiem degradacji i naprawy środowiska, w: Degradacja i rekultywacja gruntów – przyrodnicze użytkowanie odpadów. (red. J. Siuta, J. Ostrowski, B. Żukowski), Inżynieria Ekologiczna, 10, Lublin, Wyd. Naukowe Gabriel Borowski, s. 37–57. ISBN 8389263181.
- Skowrońska M. 2007. Wpływ stosowania odpadów na wybrane wskaźniki jakościowe gleby. *Proceedings EC Opole*, 1 (1/2): 227–232.
- Smith S.E., Read D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd Edition, San Diego, London, Academic Press.
- Speir T.W., August J.A., Feltham C.W. 1992. Assessment of the feasibility of using CCA-treated nad boric acid-treated sawdust as soil amendments. I. Plant growth and element uptake. *Plant Soil*, 42: 235–248.
- Thornley J.H.M., Cannell M.G.R. 2000. Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Physiology*, 20: 477–484.
- Weissteiner S., Huetteroth W., Kollmann M., Weissbecker B., Romani R. 2012. Cockhafer larvae smell host root scents in soil. *PLoS ONE* 7(10): e45827. doi:10.1371/journal.pone.0045827.
- Wilcox C.S., Dominguez J., Parmelee R.W., McCartney D.A. 2002. Soil carbon and nitrogen dynamics in *Lumbricus terrestris*, L. middens in four arable, a pasture and a forest ecosystems. *Biology and Fertility of Soils*, 36: 26–34.
- Yanai R.D., Currie W.S., Goodale C.L. 2003. Soil carbon dynamics after forest harvest: an ecosystem paradigm reconsidered. *Ecosystems*, 56: 197–212.
- Zummo L.M., Friedland A.J. 2011. Soil carbon release along a gradient of physical disturbance in a harvested northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 261: 1016–1026.