



Pożar – czynnik kształtujący liczebność mikroorganizmów i mezofauny w glebach leśnych

Izabella Olejniczak^{*}, *Ewa Beata Górska*^{**}, *Marek Kondras*^{**},
Lidia Oktaba^{**}, *Dariusz Gozdowski*^{**}, *Urszula Jankiewicz*^{**},
Anna Prędecka^{***}, *Jakub Dobrzyński*^{**}, *Anna Otręba*^{****},
Łukasz Tyburski^{****}, *Małgorzata Mickiewicz*^{****}, *Edyta Hewelke*^{**}

^{*}Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa

^{**}Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

^{***}Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa

^{****}Kampinoski Park Narodowy, Izabelin

1. Wstęp

Zespoły mikroorganizmów i mezofauny, w tym roztoczy (*Acari*) i skoczogonek (*Collembola*) zasiedlające środowisko glebowe zaangażowane są w rozkład i mineralizację substancji organicznej, przez co odgrywają znaczącą funkcję w biogeochemicznych cyklach pierwiastków, w tworzeniu próchnicy glebowej, co przekłada się na żyzność gleby i jej produktywność (Seastedt 1984, Gardi i in. 2009, Mummey i in. 2010; Carrillo i in. 2011, Scharenbroch i in. 2012, de Vries i in. 2013). Mezofauna może wpływać na mikroorganizmy zarówno bezpośrednio poprzez zjedanie bakterii i grzybów a także pośrednio, rozdrabniając materię organiczną ułatwiając w ten sposób mikroorganizmom zasiedlanie jej i rozkład (Lussenhop 1992, Heneghan & Bolger 1996, Berg i in. 2001). Z drugiej zaś strony rozwój, liczebność i różnorodność edafonu zależy między innymi od własności fizycznych i chemicznych gleby, wilgotności i temperatury oraz typu i bogactwa gatunkowego roślinności pokrywającej glebę (Petersen 1980, Huhta & Mikkonen 1982, Dighton i in. 1997).

Jednym z czynników stresowych, poważnie zaburzającym równowagę biologiczną gleby jest pożar (Dress & Boerner 2004, Banning i in. 2011, Mataix-Solera i in. 2009, Smith i in. 2008, Zaitsev i in. 2015, Xingjia i in. 2014, Sulwiński i in. 2017). Zaburzenia powodowane przez pożar zależą od siły, czasu trwania, sezonu i częstotliwości pojawiania się pożaru oraz jego natury, tj. czy jest ‘naturalny’ czy ‘antropogeniczny’ (Wikars & Schimmel 2001, Saint-Germain i in. 2005, Malmström 2010). Pożary podobnie jak zanieczyszczenia atmosfery wpływają na fizyczne, chemiczne i biologiczne własności gleby. Przyczyniają się do zmniejszenia liczebności mezo – i makrofauny (Wikars & Schimmel 2001), wpływają także na mikroorganizmy glebowe oraz aktywność enzymatyczną gleb (Dunn i in. 1985, Neary i in. 1999, De Vries i in. 2013, Köster i in. 2017, Pietikäinen i in. 1995). Na terenach popożarowych ekspansywnie rozwijają się grzyby pasożytnicze, które pogarszają strukturę zdrowotną drzewostanów, a tym samym obniżają wartość hodowlaną oraz zdolności produkcyjne gleb leśnych. Wiadomo przy tym, że charakter i siła zaburzeń decyduje o możliwościach odbudowy ekosystemów (Bengtsson 2002, Malmström i in. 2008, Malmström 2010).

Ponieważ zespoły mikroorganizmów i mezofauny glebowej mają kluczowe znaczenie w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych (Decaëns 2010, Carrillo i in. 2011) ważnym jest zrozumieć reakcję organizmów glebowych na pożary, zwłaszcza pochodzenia antropogenicznego.

Liczba pożarów z roku na rok zwiększa się, w tym również na obszarze Polski dlatego wydaje się koniecznym prowadzenie badań na obszarach pożarzysk.

Celem podjętych badań jest ocena wpływu intensywności pożaru na liczebność wybranych grup edafonu glebowego w tym bakterii heterotroficznych, grzybów mikroskopowych oraz mezofauny glebowej roztoczy (*Acari*) i skoczogonków (*Collembola*) w ściółce i w glebie na pożarzysku w Puszczy Kampinoskiej. Podczas pożaru powierzchniowego (jaki miał miejsce w Puszczy Kampinoskiej) organizmy zasiedlające wierzchnie warstwy gleby, są bezpośrednio narażone na działanie pożaru (Swengel 2001, Adeniyi 2010, Malmström 2010). Założono więc, że liczebność organizmów związanych z warstwą organiczną gleb powinna być znacznie niższa na obszarach wypalonych w porównaniu z niewypalonymi.

2. Metodyka badań

Badania środowiska glebowego oraz mezofauny przeprowadzono w północno-wschodniej części Kampinoskiego Parku Narodowego, w Obrębie Ochronnym Laski, w Obwodzie Ochronnym Kaliszki, 15 miesięcy po pożarze. Dokładna lokalizacja pożarzyska to tereny oddziałów 76 oraz 77. Obejmowały one częściowo Obszar Ochrony Ścisłej Sieraków, stanowiący największy i najbardziej wartościowy teren KPN oraz jeden z bardziej atrakcyjnych terenów kraju. Wszystkie badane powierzchnie porastał zespół rośliny *Peucedano-pinetum* (Subkontynentalny bór sosnowy świeży), jako typ siedliskowy lasu określono bór świeży. Gleby zaklasyfikowano według Klasyfikacji gleb leśnych Polski (Biały i in. 2000) do gleb rdzawych właściwych o zasadniczej budowie profilu: Ol-Ofh-A-Bv-BvC-C oraz rdzawych bielcowych o profilu: Ol-Ofh-AEes-BvBfeh-Bv-C. Próchnicę glebową zaklasyfikowano, jako typ moder-mor świeży. Utwory z których wykształciły się badane gleby rdzawe, to dobrze wysortowane piaski eoliczne o uziarnieniu piasków luźnych.

Na badanym terenie doszło do dwóch pożarów, które objęły łącznie powierzchnię ponad 11 hektarów. Były to pożary przyziemne – spaleniu uległa w dużym stopniu pokrywa gleby (poziomy organiczne). Wydarzenia te miały miejsce odpowiednio 7 maja 2015 roku oraz 4 czerwca 2015 roku.

Ustalono pozycję systematyczną gleb według Klasyfikacji gleb leśnych Polski (Biały i in. 2000). Określono typ siedliskowy lasu oraz zespół roślinny. Z wyróżnionych w profilach gleb poziomów genetycznych pobrano próbki, w których oznaczono właściwości fizykochemiczne następującymi metodami Ostrowska i in. 1991; Bednarek i in. 2004: pH – w H₂O i 1M KCL·dm⁻³ potencjometrycznie; zawartość węgla organicznego ogółem (C_{org}) za pomocą automatycznego analizatora węgla firmy Shimadzu TOC 5000A; ogólną zawartość azotu (N_{og}) – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla stosując analizator Kjeltex-Tecator.

Do badań wytypowano stanowiska po mocnym i słabym pożarze oraz nie objęte ogniem oddalone o 10 m od linii ognia – stanowiące kontrolę, każde o łącznej powierzchni 10 m². Próbki do analiz chemicznych i mikrobiologicznych pobrano z zachowaniem zasad aseptyczności do pojemników jałowych z warstwy organicznej i poziomu mineralnego gleby (0-20 cm). Próbki były pobierane z 6 losowo wybranych punktów

na każdej powierzchni, z których przygotowywano próbę zbiorczą dla danego poziomu.

Na tych samych poletkach pobierano losowo po 6 prób do analizy mezofauny glebowej. Próby pobierano wycinakiem glebowym o powierzchni 10 cm² do głębokości 10 cm. Następnie tak pobrane walce gleby dzielono na dwie podpróbki, umieszczane w osobnych pojemnikach: pierwszą obejmującą warstwę 0-5 cm (organiczną) oraz drugą obejmującą warstwę 5-10 cm (mineralną). Mezofaunę z prób glebowych wyplaszano w aparacie MacFadyena i konserwowano w 70% alkoholu etylenowym.

W poziomie organicznym i mineralnym gleb oznaczono metodą posiewu wgłębnego ogólną liczbę bakterii heterotroficznych na podłożu Bunta i Roviry z dodatkiem wyciągu glebowego i cyklohexamidu – 50 µg·cm⁻³ (Bunt i Rovira 1955) oraz grzybów mikroskopowych na podłożu Martina z dodatkiem streptomycyny – 50 µg·cm⁻³ (Martin 1950). Liczebność mikroorganizmów wyrażano w jednostkach tworzących kolonie (jtk) w przeliczeniu na kg suchej masy ściółki i gleby.

Wyniki badań dotyczące wpływu pożaru na liczebność organizmów glebowych zweryfikowano jednoczynnikową analizą wariancji, grupy jednorodne wyróżniono testem Tukey'a dla $\alpha = 0,05$ stosując program Statgraphics ver. plus 4.1. Zależności między badanymi cechami oraz wielocechowe zróżnicowanie badanych obiektów oceniono stosując analizę składowych głównych (PCA).

3. Wyniki i dyskusja

Pożar lasu podczas jego trwania i po nim kształtuje właściwości abiotyczne i biotyczne środowiska, w tym zmienia liczebność i różnorodność taksonomiczną, a wraz z nią również metaboliczną wspólnoty mikroorganizmów oraz zespołów mezofauny glebowej (Dunn i in. 1985, Sgardelis & Margaris 1993, Neary i in. 1999, DeBano 2000). Powodem tych zmian jest między innymi drastyczny wzrost temperatury, zmniejszenie ilości łatwo przyswajalnej dla organizmów substancji organicznej w glebie, a także wytworzenie substancji toksycznych jako wynik spalania celulozy, lignin, żywic i innych aromatycznych związków chemicznych (Certin i in. 2005).

Badane poziomy organiczne oraz mineralne w zależności od intensywności pożaru różniły się właściwościami chemicznymi, co przedstawia tabela 1. Zwykle obserwuje się zubożenie gleby w główne makroskładniki. W wyniku pożaru może nastąpić wyraźne wzbogacenie w poziomach popiołowych w dostępne formy wapnia, magnezu, sodu i potasu. Pożar w istotny sposób wpływa na wzrost pH gleby. Spowodowane to jest z jednej strony powstawaniem tlenków metali alkalicznych, a także wodorotlenków i węglanów, z drugiej – spalanie materii organicznej wiąże się z uwolnieniem do atmosfery związków o charakterze zasadowym (Neary i in. 1999, Kennard & Gholz 2001, Otsuka i in. 2008). W badanych glebach stwierdzono alkalizację poziomów organicznych na powierzchniach objętych pożarem w stosunku do powierzchni kontrolnych. Wykazano także znaczny spadek zawartości węgla organicznego oraz azotu ogólnego na powierzchniach objętych mocnym pożarem w stosunku do kontroli oraz powierzchni objętych słabym pożarem. Proporcja C/N w glebach objętych mocnym pożarem ma wyższą wartość, niż na pozostałych stanowiskach. Świadczy to o większym ubytku azotu ogólnego w stosunku do węgla organicznego.

Literatura przedmiotu wykazuje niejednoznaczny wpływ pożarów i ich następstwa na właściwości biologiczne gleby, w tym na liczebność i różnorodność taksonomiczną mikroorganizmów (Ditomaso i in. 2006, Dunn i in. 1985, Neary i in. 1999, Guerro i in. 2005, Mataix-Solera i in. 2009). W krótkim okresie po pożarze wielu badaczy obserwowało wzrost liczebności bakterii na wypalonych obszarach (Badia & Marti 2003, Guerro i in. 2005), co mogłoby mieć związek ze wzrostem pH gleby i dostępnością nutrientów (Jokinen i in. 2006) czy brakiem konkurencji o zasoby pokarmowe (Bauhus i in. 1993). Przy czym wraz z upływem czasu od pożaru notowano spadek liczebności bakterii do poziomu sprzed pożaru i związane było to z sukcesją roślinności (Grasso i in. 1996). Wyniki badań prezentowanych w pracy wykazały, że w rok po pożarze liczebność bakterii heterotroficznych zmniejszyła się w ściółce (nieistotnie statystycznie) i glebie mineralnej na terenie który był objęty mocnym pożarem porównując z liczebnością na powierzchni kontrolnej, co nie zawsze potwierdziła analiza statystyczna (tab. 2). Być może uzyskane wyniki odzwierciedlają opisane powyżej zjawisko. Odmienne relacje stwierdzono w obu badanych poziomach genetycznych w przypadku grzybów mikroskopowych. Obszar po słabym pożarze charakteryzował

się zmniejszoną liczebnością grzybów w porównaniu z powierzchnią objętą mocnym ogniem (tab. 2).

Grzyby dzięki intensywniejszemu zarodnikowaniu po pożarze, który jest wynikiem wzrostu pH w środowisku oraz dzięki zdolności do wytwarzania tzw. propaguli (artrospory, sklerocja, artrospory, zoospory i inne) mogą przetrwać niesprzyjające warunki środowiska (w tym działanie ognia) dzięki czemu biorą udział w regeneracji wspólnoty grzybów po pożarze. Tworzenie propaguli przez grzyby mikoryzowe może być również spowodowane przez zmniejszenie ilości łatwo przyswajalnej substancji w tkankach drzewa w wyniku powolnego obumierania systemu korzeniowego roślin po pożarze (Cerde & Robichaud 2009). Wspólnota bakterii w glebie po pożarze ulega regeneracji, między innymi dzięki endosporom, cystom, zarodnikom konidialnym, jak również może być naniesiona z odtwarzającej się na pożarzysku flory i/lub z liści naniesionych w wyniku ruchów powietrza z innych terenów.

Pożar selekcjonuje liczebność mikroorganizmów (Pizarro-Tobías i in. 2014), które dominowały w środowisku w okresie poprzedzającym pożar, stąd zmiana warunków fizycznych i chemicznych w glebie po pożarze mogła wpłynąć na zwiększenie liczebności grzybów między innymi dlatego, że stopniowo mogły rozwijać się wszystkie grzyby mikroskopowe, które przeżyły w formie propaguli, a nie tylko te które dominowały przed pożarem.

W przypadku mezofauny: roztoczy i skoczogonek obserwowano pewne trendy w kształtowaniu się ich liczebności. Wydają się one mniejsze na obszarach po słabym pożarze (różnice jednak nie są istotne statystycznie) w porównaniu z obszarem po silnym (tab. 3). Reakcja mezofauny na zaburzenia spowodowane przez pożar są niejednoznaczne. Lussenhop (1976) nie stwierdzał różnic w liczebności mezofauny w krótkim czasie po pożarze. Podczas gdy Sgardelis i Margaris (1993) stwierdzili mniejsze liczebności mezofauny na obszarach wypalonych w porównaniu z niewypalonymi po 3 latach od pożaru a Malmström ze współpracownikami (2009) nawet po 5 latach po pożarze. Ponadto Malmström i in. (2009) stwierdzili, że odbudowa zespołów mezofauny może trwać nawet dłużej niż 5 lat. Także Huhta i in. (1969) uważają że fluktuacje liczebności skoczogonek i roztoczy mogą trwać kilka lat. Spadek liczebności mezofauny może wynikać z faktu, że pożary niszczą warstwę ściółki i próchnicy, w których zwierzęta te najliczniej występują (Malmström

2010). Znajdują tam nie tylko optymalne warunki mikroklimatyczne i możliwość ochrony przed drapieżnikami, ale także źródło pokarmu.

Skoczogonki odżywiają się różnorodnym pokarmem, najłatwiej dostępnym w środowisku (Ngosong i in. 2009). Nie dziwi, więc ścisła korelacja skoczogonek z licznymi występującymi na pożarzysku grzybami (rys. 1 i rys. 2). Podobnie na obszarach kontrolnych, w warstwie organicznej, dużej obfitości grzybów towarzyszyła duża liczebność skoczogonek (rys. 3). Można przypuszczać, że zarówno na pożarzysku jak i obszarach kontrolnych przeważały skoczogonki grzybożerne lub że skoczogonki wybierały najłatwiej dostępny pokarm.

Roztocza obejmują różne grupy troficzne (Boczek & Błaszak 2005). Są wśród nich gatunki drapieżne, które mogą odżywiać się skoczogonkami, ale także grzybożerne czy saprofagiczne, które mogą konkurować ze skoczogonkami o pokarm. W prezentowanej pracy stwierdzono ujemne relacje między liczebnościami skoczogonków i roztoczy (rys. 1 i rys. 2). Z jednej strony mogły tu działać zależności ofiara-drapieżca (rys. 2), z drugiej zaś konkurencja (rys. 1) efektem której było wykorzystywanie przez skoczogonki i roztocza odmiennych źródeł pokarmu.

Otrzymane wyniki badań zweryfikowane analizą statystyczną uprawniają do stwierdzenia, że w ponad rok od pożaru na pożarzysku zachodzi stopniowa regeneracja populacji mikroorganizmów zarówno w poziomie organicznym jak również w poziomie mineralnym gleby.

Tabela 1. Właściwości chemiczne gleby

Table 1. Chemical properties of soil

Intensywność pożaru	C-org g·kg ⁻¹		N-org g·kg ⁻¹		C:N		pH w KCl		pH w H ₂ O	
	Poziom genetyczny gleby									
	org.	min.	org.	min.	org.	min.	org.	min.	org.	min.
K – kontrola	351,7	9,62	7,23	0,37	48,6	26,0	3,13	3,91	3,27	4,46
Sp – słaby pożar	387,1	10,9	7,17	0,30	53,9	36,0	3,04	4,11	3,30	4,22
Mp – mocny pożar	317,3	12,6	5,67	0,21	55,9	60,0	3,46	3,43	3,68	3,62

Tabela 2. Wpływ intensywności pożaru na wybrane wskaźniki mikrobiologiczne gleby, grupy jednorodne – a, b wyróżniono testem Tukeya dla $\alpha = 0,05$

Table 2. The influence of fire intensity on the selected microbiological indicators of soils, homogeneous groups – a, b were distinguished by the Tukey test for $\alpha = 0,05$

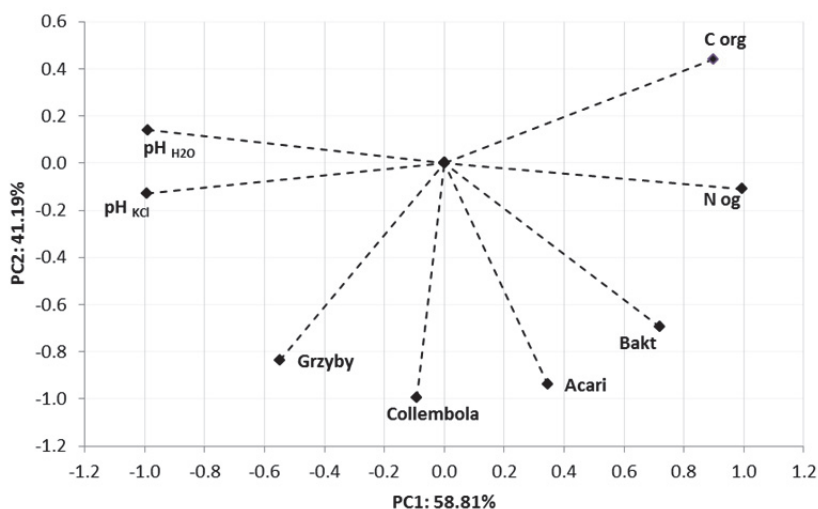
Intensywność pożaru	Liczebność bakterii $\cdot 10^7$ jtk \cdot kg $^{-1}$ suchej masy gleby		Liczebność grzybów mikroskopowych $\cdot 10^6$ jtk \cdot kg $^{-1}$ suchej masy gleby	
	Poziom genetyczny gleby			
	org.	min.	org.	min.
K – kontrola	354,0 a	38,0 ab	177,0 b	8,1 a
Sp – słaby pożar	254,0 a	41,0 b	35,0 a	4,8 a
Mp – mocny pożar	199,4 a	22,0 a	174,0 b	17,0 b
Odchylenie standardowe	102,5	14,1	69,7	6,1

Tabela 3. Wpływ intensywności pożaru na liczebność wybranych grup mezofauny glebowej, grupy jednorodne – a, b wyróżniono testem Tukey'a dla $\alpha = 0,05$

Table 3. The influence of fire intensity on the number of selected soils mesofauna groups, homogeneous groups – a, b were distinguished by the Tukey test for $\alpha = 0,05$

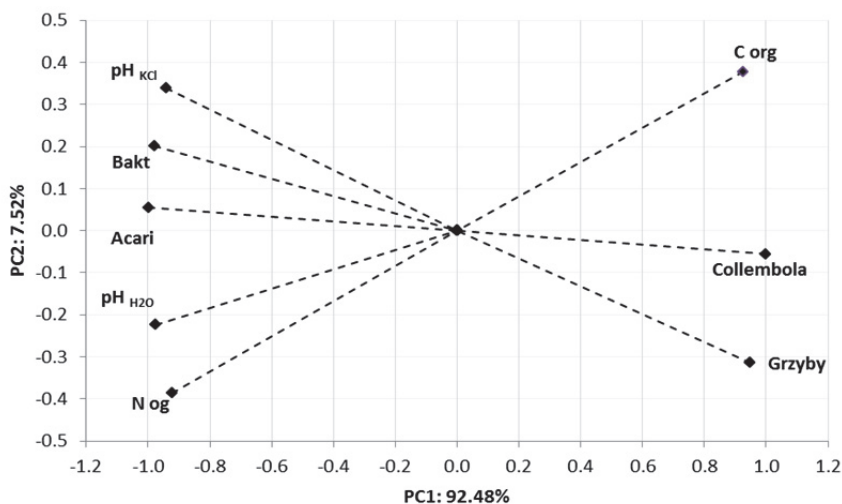
Intensywność pożaru	Liczebność roztoczy (<i>Acarri</i>) $\cdot 10^3 \cdot m^{-2}$		Liczebność skoczogonków (<i>Collembola</i>) $\cdot 10^3 \cdot m^{-2}$	
	Poziom genetyczny gleby			
	Organiczny	Mineralny	Organiczny	Mineralny
K – kontrola	21,0 b	0,3 a	23,5 a	0,0 a
Sp – słaby pożar	8,5 ab	0,3 a	1,7 a	0,0 a
Mp – mocny pożar	9,8 a	0,2 a	12,9 a	0,2 a
Odchylenie standardowe	9,74	0,48	18,45	0,28

Na podstawie rysunku 1 można określić powiązania między poszczególnymi cechami ocenionymi dla warstwy organicznej. Np. stwierdzono silną ujemną korelację między zawartością węgla organicznego (C-org) a pH. Ponadto dodatni związek stwierdzono między liczebnością bakterii, zawartością azotu ogólnego (N-og) i liczebnością roztoczy (*Acari*). Te trzy cechy były dodatnio, lecz słabo skorelowane z liczebnością grzybów i skoczogonków (*Collembola*).



Rys. 1. Wyniki analizy składowych głównych (PCA) dla warstwy organicznej przedstawiające powiązania między badanymi cechami

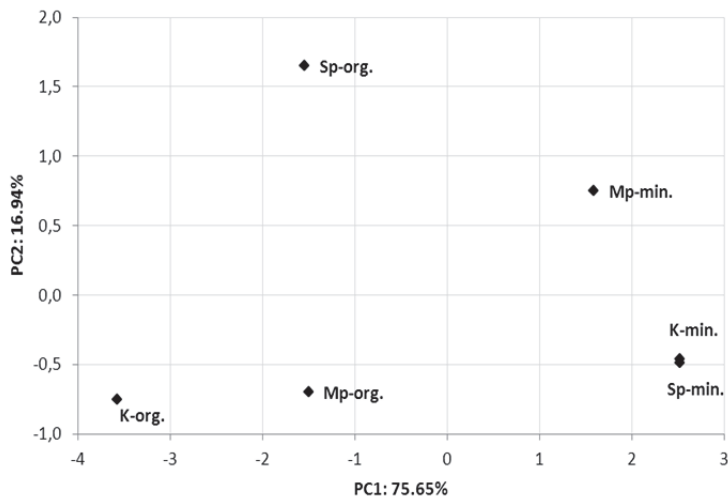
Fig. 1. The results of main components analysis (PCA) for the organic layer showing the relationships between the tested features



Rys. 2. Wyniki analizy składowych głównych (PCA) dla warstwy mineralnej przedstawiające powiązania między badanymi cechami

Fig. 2. The results of main components analysis (PCA) for the mineral layer showing the relationships between the tested features

Na podstawie rysunku 2 można określić powiązania między poszczególnymi cechami ocenionymi dla warstwy mineralnej. Np. stwierdzono dodatnią silną korelację między zawartością C-org i liczebnością skoczogonków (*Collembola*) oraz grzybów, a jednocześnie ujemną korelację tych trzech cech z wszystkimi pozostałymi cechami, tj. pH, bakteriami, zawartością N i liczebnością roztoczy (*Acari*). Ponadto te cechy (pH, liczebnością bakterii, zawartością N-org i liczebnością roztoczy (*Acari*)) były ze sobą dodatnio powiązane.



Rys. 3. Wyniki analizy składowych głównych (PCA) dla warstwy organicznej i mineralnej przedstawiające wielocехowe zróżnicowanie badanych obiektów
Fig. 3. The results of main components analysis (PCA) for organic and mineral layer presenting multifocal differentiation of examined objects

Natomiast na podstawie wykresu 3 można stwierdzić, że największa zmienność między obiektami była oznaczona dla PC1 (ponad 75% zmienności), czyli dla osi X, co oznacza, że znacznie ważniejsze są różnice między obiektami w poziomie, niż w pionie. Obiekty K-min. i Sp-min. charakteryzowały się wysokim pH gleby, a jednocześnie dość niskimi wartościami dla pozostałych cech. Obiekt Mp-min. charakteryzował się dość niskimi wartościami większości cech. W przypadku warstwy organicznej wyróżniał się najbardziej obiekt K-org, który charakteryzował się wysokimi zawartościami grzybów mikroskopowych i skoczogonków (*Collembola*), jak również niskim pH.

4. Wnioski

- Właściwości chemiczne i biologiczne gleby ulegają stopniowej regeneracji w glebie i ściółce w 15 miesięcy po pożarze.
- Intensywność pożaru ma istotne znaczenie w odtwarzaniu liczebności mikroorganizmów i mezofauny. Słaby pożar działa bardziej selekcyjnie na mikroorganizmy i mezofaunę niż pożar mocny.
- Uzyskane wyniki badań uprawniają do stwierdzenia, że pożar może być jednym z czynników stymulujących rozwój grzybów zarówno w poziomie organicznym jak i mineralnym gleb leśnych

Badania zrealizowano w ramach zadania badawczego „Właściwości fizyczne, chemiczne gleb, różnorodność roślin, grzybów, mikrofauny na pożarzysku w Palmirach w Kampinoskim Parku Narodowym – etap I” dofinansowanego ze środków Funduszu Leśnego PRL LP w 2016 roku.

Literatura

- Adeniyi, A. S. (2010). Effect of slash and burning on soil microbial diversity and abundance in the tropical rainforest ecosystem, Ondo State, Nigeria, *African Journal of Plant Science*, 4(9), 322-329.
- Badia, D., Marti, C. (2003). Effect of simulated fire on organic matter and selected microbiological properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 17, 55-69.
- Banning, N. C., Gleeson, D. B., Grigg, A. H., Grant, C. D., Andersen, G. L., Brodie, E. L., and Murphy, D. V. (2011). Soil microbial community successional patterns during forest ecosystem restoration. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(17), 6158-64.
- Bauhus, J., Khanna, P.K., Raison, R.J. (1993). The effect of fire on carbon and nitrogen mineralization and nitrification in Australian forest soil. *Australian Journal of Soil Research*, 31, 621-639.
- Bednarek, R., Charzyński P., Kabała C. (2009). *Klasyfikacja zasobów glebowych Świata*. Toruń: Wyd. UMK.
- Bengtsson, J. (2002). Disturbance and resilience in soil animal communities. *European Journal of Soil Biology*, 38, 119-125.
- Berg, M., De Ruiter, P., Didden, W., Janssen, M., Schouten, T., Vrhoeft, H. (2001). Community food web, decomposition and nitrogen mineralisation in a stratified Scots pine forest soil. *Oikos*, 94, 130-142.

- Biały, K., Brożk, S., Chojnicki, J., Czępińska-Kamońska, D., Januszek, K., Kowalkowski, A., Krzyżanowski, A., Okołowicz, M., Sienkiewicz, A., Skiba, S., Wójcik, J., Zielony, R. (2000). *Klasyfikacja gleb leśnych Polski*. Warszawa: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Boczek, J., Błaszak, C. (2005). *Roztocze (Acari). Znaczenie w życiu i gospodarce człowieka*. Warszawa: Wydawnictwo.
- Bunt, Y.S., Rovira, A.D. (1955). Microbiological studies of some subarctic soils. *Journal of Soil Sciences*, 6, 119-128.
- Carrillo, Y., Ball, B.A., Bradford, M.A., Jordan, C.F., Molina, M. (2011). Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 1440-1449.
- Cerda, A., Robichaud, P.R. (2009). *Fire effects on soils and restoration strategies*. Taylor and Francis.
- Certin, G., (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- DeBano, L.F. (2000). Water repellent soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*, 231, 4-32.
- Decaëns, T. (2010). Macroecological patterns in soil communities. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 287-302.
- De Vries, F.T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A., Bjørnlund, L., Jørgensen, H.B., Brady, M.V., Christensen, S., De Ruiter, P., d'Hertefeldt, T., Frouz, J., Hedlund, K., Hemerik, I., Holk, W.H.G., Hotes, S., Mortimer, S.N., Setälä, H., Sgardelis, S.P., Uteseny, K., van der Putten, W.R., Wolters, V., Bargett, R.D. (2013) Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 14296-14301.
- Dighton, J., Jones, H.E., Robinson, C.H., Becken, J. (1997). The role of abiotic factors, cultivation practices and soil fauna in the dispersal of genetically modified microorganisms in soils. *Applied Soil Ecology*, 5, 109-131.
- Ditomaso, J.M., Brooks, M.L., Allen, E. B., Minnich, R., Rice, P.M., Kyser, G.B. (2006). Control of Invasive Weeds with Prescribed Burning Review Article, *Weed Technology*, 20, 535-548,
- Dress, W.J., Boerner, R.E.J. (2004). Patterns of microarthropod abundance in oak-hickory forest ecosystems in relation to prescribed fire and landscape position. *Pedobiologia*, 48, 1-8.
- Dunn, P.H., Barro, S.C., Poth, M. (1985). Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral fire. *Soil Biology and Biochemistry*, 17, 143-148.

- Gardi, C., Montanarella, L., Arrouays, D., Bispo, a., Lemanceau, P., Jolivet, C., Menta, C. (2009). Soil biodiversity monitoring in Europe: ongoing activities and challenges. *European Journal of Soil Science*, 60(5), 807-819.
- Grasso, G.M., Ripabelli, G., Sammarco, M.L., Mazzoleni, S. (1996). Effects of heating on the microbial populations of grassland soil. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 67-70.
- Guerro, C., Mataix-Solera, J., Gómez, I., García-Orenes, F., Jordán, M.M. (2005). Microbial recolonization and chemical changes in soil heated at different temperatures. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 385-400.
- Heneghan, L., Bolger, T. (1996). Effects of component of 'acid' rain on soil microarthropods' contribution to ecosystemfunction. *Journal Applied of Ecology*, 33, 1329-1344.
- Huhta, V., Nurminen, M., Valpas, A. (1969). Further notes on the effects of silvicultural practices upon soil fauna of coniferous forest soil. *Annales Zoologici Fennici*, 6, 327-334.
- Huhta, V., Mikkonen, M. (1982). Population structure of *Entomobryidae* (*Collembola*) in mature spruce stand and in a clear-cut reforested area in Finland. *Pedobiologia*, 24, 231-240.
- Jokinen, H.K., Kiikkilä, O., Fritze, H. (2006). Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood chips application. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2285-2291.
- Kennard, D.K., Gholz, H.L. (2001). Effects of high – and low – intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. *Plant and Soil*, 234, 119-129.
- Köster, K., Berninger, F., Heinonsalo, J., Lindén, A., Köster, E., Ilvesniemi, H., Pumpanen, J. (2017) The long-term impact of low-intensity surface fires on litter decomposition and enzyme activities in boreal coniferous forests. *International Journal of Wildland Fire*, 25(2), 213-223.
- Lussenhop, J. (1976). Soil arthropod response to prairie burning. *Ecology*, 57, 88-98.
- Lussenhop, J. (1992). Mechanisms of microarthropod - microbial interactions in the soil. *Advances in Ecological Research*, 23, 1-33.
- Malmström, A., Persson, T., Ahlström, K. (2008). Effects of fire intensity on survival and recovery of soil microarthropods after clearcut burning. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 2465-2475.
- Malmström, A., Persson T., Ahlström K., Gongalsky K.B., Bengtsson J. (2009). Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. *Applied and Soil Ecology*, 43, 61-74.
- Malmström, A. (2010). The importance of measuring fire severity-Evidence from microarthropod studies. *Forest Ecological Management*, 260, 62-70.

- Martin, J.P. (1950). Use of acide rose Bengal and steptomycin in the plate method for estimating of fungi. *Soil Sciences*, 69, 215-233.
- Mataix-Solera, J., G. Barcenas-Moreno, F. Garcia-Orenes, (2009). Forest fire effects on soil microbiology. <http://www.researchgate.net/publication/229163976>, DOI:101201/9781439843338-c5.
- Mummey, D. L., Clarke, J. T., Cole, C. A., O'Connor, B. G., Gannon, J. E., Ramsey, P. W. (2010). Spatial analysis reveals differences in soil microbial community interactions between adjacent coniferous forest and clearcut ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(7), 1138-1147.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., Folliott, F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.
- Ngosong, C, Raupp, J, Scheu, S, Ruess, L. (2009). Low importance for a fungal based food web in arable soils under mineral and organic fertilization indicated by *Collembola* grazers. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 2308-2317.
- Ostrowska, A., Gawliński, S., Szczubińska Z. (1991). *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- Otsuka, S, Sudiana, I, Komori, A, (2008). Community structure of soil bacteria in a tropical rainforest several years after fire. *Microbes and Environments*, 23(1), 49-56.
- Petersen, H. (1980). Population dynamic and metabolic characterization of *Collembola* species in a beech forest ecosystem. *Soil Biology as Related to Land Use Practices*. Ed. D.L. Dindal EPA, Washington, 806-833.
- Pietikäinen, J., Fritze, H. (1995). Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 101-109.
- Pizarro-Tobías, P., Fernández, J. L., Niqui, J. Solano, E. Duque, J.-L. Ramos, Roca, A. (2014). Restoration of a Mediterranean forest after a fire: bioremediation and rhizoremediation field-scale trial. *Applied Microbiology, Microbial Biotechnology*, 8, 77-92.
- Saint-Germain, M., Larrivé, M., Drapeau, P., Fahrig, L., Buddle, Ch.M. (2005). Short-term response of ground beetles (*Coleoptera: Carabidae*) to fire and Logging in a spruce-dominated boreal landscape. *Forest Ecological Management*, 212, 118-126.
- Scharenbroch, B. C., Nix, B., Jacobs, K. A., and Bowles, M. L. (2012). Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*, 183-184, 80-91.

- Seastedt, T.R. (1984). The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 29, 25-46.
- Sgardelis, S.P., Margaris, N.S. (1993). Effects of fire on soil microarthropods of a phryganic ecosystem. *Pedobiologia*, 37, 83-94.
- Smith, N. R., Kishchuk, B. E., Mohn, W.W. (2008). Effects of wildfire and harvest disturbances on forest soil bacterial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, 216-224.
- Sulwiński, M., Mętrak, M., Suska-Malawska, M. (2017). Study of old ecological hazards, oil seeps and contaminations using earth observation methods – spectral library for oil seep. *Archives of Environmental Protection*, 43(1), 11-19.
- Swengel, A. B. (2001). A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. *Biodiversity Conservation*, 10, 1141-1169.
- Wikars, L.O., Schimmel, J. (2001). Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forest. *Forest Ecological Management*, 141, 189-200.
- Xingjia XiangYu Shi, Jian Yang, Jianjian Kong, Xiangui Lin, Huayong Zhang, Jun Zeng, Haiyan Chu, (2014). Rapid recovery of soil bacterial communities after wildfire in a Chinese boreal forest. *Scientific Reports*, 4, 3829.
- Zaitsev, A.S., Gongalsky, K.B., Malmström, A., Persson, T. (2015). Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review. *Applied of Soil Ecology*, 98, 261-271.

Fire – a Factor Forming the Numbers of Microorganisms and Mesofauna in Forest Soils

Streszczenie

Jednym z czynników stresogennych poważnie zakłócającym równowagę biologiczną gleby jest pożar. Charakter zaburzeń powodowanych przez pożar zależy od siły, czasu trwania, sezonu i częstotliwości jego pojawiania się. Pożary wpływają na fizyczne, chemiczne i biologiczne własności gleby. Przyczyniają się do zmniejszenia liczebności mezo – i makrofauny oraz wpływają na mikroorganizmy glebowe. Celem podjętych badań była ocena wpływu intensywności pożaru na liczebność wybranych grup edafonu glebowego w tym bakterii heterotroficznych, grzybów mikroskopowych oraz mezofauny glebowej roztoczy (*Acari*) i skoczogonek (*Collembola*) w ściółce i w glebie na pożarzysku w Puszczy Kampinoskiej. Podczas pożaru powierzchniowego (jaki miał miejsce w Puszczy Kampinoskiej) organizmy zasiedlające wierzchnie warstwy gleby, są bezpośrednio narażone na działanie pożaru. Założono, że liczebność organizmów związanych z warstwą organiczną gleb powinna być znacznie niższa na

obszarach wypalonych w porównaniu z niewypalonymi. Do badań wytypowano stanowiska po mocnym i słabym pożarze oraz nie objęte ogniem oddalone o 10 m od linii ognia – stanowiące kontrolę, każda o łącznej powierzchni 10 m². Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że właściwości chemiczne i biologiczne gleby ulegają stopniowej regeneracji w glebie i ściółce w 15 miesięcy po pożarze. Ponadto intensywność pożaru ma istotne znaczenie w odtwarzaniu liczebności mikroorganizmów i mezofauny. Słaby pożar działa bardziej selekcyjnie na mikroorganizmy i mezofaunę, niż pożar mocny. Uzyskane wyniki badań uprawniają do stwierdzenia, że pożar może być jednym z czynników stymulujących liczebność grzybów zarówno w poziomie organicznym, jak i mineralnym gleb leśnych.

Abstract

One of the stressors that seriously disturbs the biological balance of soil is fire. The nature of disorder caused by the fire depends on the strength, duration, season and the frequency of occurrence. Fires affect physical, chemical and biological properties of soil. They contribute to reducing the population of meso- and macrofauna and affect micro-organisms living in the soil. The purpose of the study was to evaluate the effect of fire intensity on the number of selected soil edafon groups including heterotrophic bacteria, microscopic fungi, *Acari* and *Collembola*, both in the leaf litter and soil in Kampinos Forest. During the surface fire (which took place in Kampinos National Park) organisms inhabiting the surface of the soil were directly exposed to fire. It was assumed that the number of organisms in the organic layer should be considerably lower in areas burned compared to non-burned. Research was conducted on sites that had encountered high severity fires, low severity fires and on those not affected - 10 m from the fire line - each with a total area of 10 m². Based on the obtained results, it was found that the chemical and biological properties of soil gradually recovered in the soil and litter within 15 months from the fire. In addition, the intensity of the fire is important in reproducing the population of microorganisms and mesofauna. A low severity fire works more selectively on microorganisms and mesofauna than a severe one. The results of the research indicate that the fire can be one of the factors stimulating fungal growth both in the organic and mineral layers of the forest soils.

Słowa kluczowe:

pożar, liczebność mikroorganizmów, mezofauna, gleby leśne

Keywords:

fire, number of microorganisms, mezofauna, forest soils