



Wpływ nawadniania kropłowego na wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) poddanej mikoryzacji w nasadzeniu na gruncie porolnym oraz na aktywność enzymatyczną gleb

Roman Rolbiecki^{*}, *Stanisław Rolbiecki*^{*}, *Anna Figas*^{*},
Anetta Siwik-Ziomek^{*}, *Mirosław Kobierski*^{*}, *Barbara Jagosz*^{**},
Piotr Stachowski^{***}, *Wiesław Ptach*^{****}

^{*}Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

^{*}Uniwersytet Rolniczy, Kraków

^{***}Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

^{****}Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

1. Wstęp

Głównym celem polityki leśnej państwa jest zwiększenie lesistości kraju. Jego realizacja powinna zapewnić wzrost udziału lasów w Polsce do 30% w 2020 roku, a docelowo do 33% po roku 2050 roku. W Polsce dominującym gatunkiem lasotwórczym jest sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) dlatego w szkółkach leśnych roślina ta przeważa w produkcji sadzonek (Puchniarski 2008). Uzyskanie materiału szkółkarskiego o wysokiej jakości możliwe jest na glebach o korzystnych właściwościach fizyczno-biologicznych i zasobnych w składniki pokarmowe. Ze względu na niedostateczne ilości opadów i nierównomierny ich rozkład jednym z najważniejszych zabiegów melioracyjnych w szkółkach leśnych jest nawadnianie, które umożliwia systematyczne uzupełnianie wody dawkami optymalnymi dla młodych roślin. Ekonomicznym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu nawadniania kropłowego, dzięki któremu woda dostarczana jest bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin (Jeznach

i Pierzgałski 1996). Warunkiem uzyskania dobrej jakości sadzonek do odnowień i zalesień jest również stosowanie szczepionek mikoryzowych. Ma to szczególne znaczenie na terenach ubogich w życie biologiczne, takich jak: grunty porolne i zdegradowane (Grzywacz 2009). Mikoryzowane siewki sosny wysadzone na gruncie porolnym charakteryzują się większą przeżywalnością w porównaniu do niemikoryzowanych (Hilszczańska i Sierota 2006).

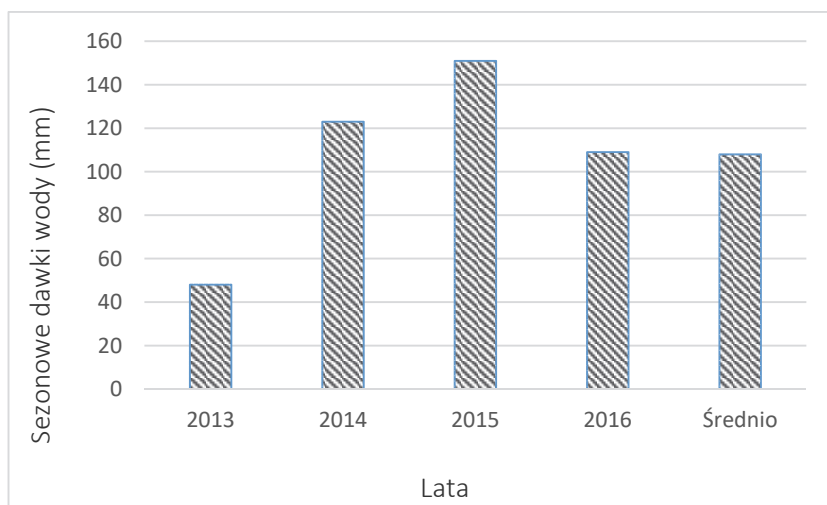
Jedną z korzyści mikoryzacji jest zwiększenie zdolności absorpcyjnej systemu korzeniowego, co wpływa na pobieranie przez rośliny wody i rozpuszczonych w niej soli mineralnych. Natomiast dzięki zwiększonemu zaopatrzeniu roślin w wodę wzrasta wielokrotnie ich tolerancja na suszę (Morte i in. 2001, Aleksandrowicz-Trzcńska 2002, Krupa 2004, Nieckuła 2006, Pritsch i Garbaye 2011). Ponadto niektóre grzyby mikoryzowe syntezują fitohormony, które regulują prawidłowy wzrost i rozwój drzew leśnych (Nieckuła 2006). Mikoryzacja wpływa również na zwiększenie odporności roślin na choroby i stresy środowiskowe oraz na ograniczenie patogenów (Garbaye 2000, Aleksandrowicz-Trzcńska 2004, Krupa 2004, Kowalski 2007).

Aktywność enzymatyczna gleby została zaproponowana jako wskaźnik biologicznej jakości gleby pod plantacjami leśnymi (Lucas-Borja i in. 2012). Dehydrogenazy (DHA) i katalaza (CAT) należą do klasy enzymów oksydoredukcyjnych, które wykazują dużą wrażliwość na zmiany środowiska. Dehydrogenazy są uznawane za wskaźniki potencjalnej aktywności biologicznej, katalaza natomiast od dawna uważana jest za jeden z głównych enzymów o działaniu przeciwutleniającym i działa głównie w celu usunięcia nadmiaru H_2O_2 przez konwersję wody i tlenu we wszystkich organizmach tlenowych.

Celem przeprowadzonego doświadczenia było określenie wpływu nawadniania kropłowego w rzędowych nasadzeniach sosny zwyczajnej poddanej zabiegowi mikoryzacji na gruncie porolnym na wybrane parametry wzrostu badanych roślin oraz określenie aktywności enzymów dehydrogenaz i katalazy glebowej. Doświadczenie przeprowadzono w okolicy Bydgoszczy, gdzie istnieją duże potrzeby nawadniania roślin (Stachowski i Markiewicz 2011, Żarski i in. 2013).

2. Materiał i metody

Ścisłe czteroletnie (2013-2016) badania polowe przeprowadzono na gruncie porolnym przeznaczonym pod zalesienie zlokalizowanym w Kruszynie Krajeńskim (53°04'53"N, 17°51'52"E) koło Bydgoszczy (województwo kujawsko-pomorskie – centralna Polska). Doświadczenie polowe założono i przeprowadzono jako jednoczynnikowe w układzie losowanych bloków, w czterech powtórzeniach. Eksperyment obejmował łącznie 8 poletek (2 x 4). Nawadnianie zastosowano w dwóch wariantach: 0 – bez nawadniania (kontrola), K – nawadnianie kropłowe. Do nawodnień kropłowych używano linii kroplującej Euro Drip z emiterami rozmieszczonymi co 20 cm. Zastosowane w latach badań sezonowe dawki nawodnieniowe były ściśle związane z przebiegiem warunków termiczno-opadowych na obiektach badawczych (rysunek 1). Terminy wykonywania nawodnień ustalano na podstawie „Wytocznych nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych” (Pierzgałski i in. 2002). Sadzonki sosny zwyczajnej wyprodukowano w szkółce kontenerowej Bielawy znajdującej się na terenie Nadleśnictwa Dobrzejewice, w obrębie regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu i wysadzono do gruntu z bryłką gleby 19.10.2012 r. Nasadzenie wykonano przyjmując więźbę 1,4 m x 0,8 m. Do nasadzeń wykorzystano 1 roczne sadzonki sosny z zakrytym systemem korzeniowym (produkcja kontenerowa) (Szabla i Pabian 2003). **Sadzonki w trakcie produkcji były poddane połączonej mikoryzacji standardowej z zastosowaniem grzyba włośnianki rosistej [*Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél] oraz ściółkowania na bazie ektopróchnicy leśnej (Klimek i in. 2013b). W procesie produkcyjnym sadzonek sosny zwyczajnej, zastosowano na 1 m³ podłoża torfowego 24,5 dm³ substratu z grzybnią włośnianki rosistej. Materiał do ściółkowania pozyskano w dniu aplikacji z warstwy próchnicy nadkładowej dojrzałego boru świeżego. Materiał ten dwukrotnie rozdrobnilo przy użyciu rozdrabniacza ogrodowego VIKING GE 250, a po wysianiu nasion rozłożono 1 cm warstwą na powierzchni kontenerów.**



Rys. 1. Sezonowe dawki wody zastosowanej do nawodnień sosny w okresie badań (mm)

Fig. 2. The seasonal irrigation water rates used for irrigation of Scots pine during the study period (mm)

W przygotowanych zgodnie z normą (PN-ISO 11464. 1999) próbkach glebowych pobranych z każdego wariantu doświadczenia oznaczono skład granulometryczny laserowym miernikiem wielkości cząstek – Mastersizer 2000 firmy Malvern. Odczyn określono potencjometrycznie na pH-metrze po dodaniu do próbek glebowych roztworu 1M KCl, przy stosunku gleba/roztwór 1:2,5 (ISO 10390: 2005). Zawartość węgla i azotu oznaczono analizatorem Vario Max CN firmy Elementar.

W celu oceny aktywności DHA oraz CAT próbki gleby pobrano z każdego wariantu doświadczenia z głębokości 0-25 cm i 25-50 cm i w odległości od linii kroplującej: 50 (K50 oraz O50), 100 (K100 oraz O100) i 150 cm (K150 oraz O150). Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach. Aktywność dehydrogenaz (E.C. 1.11.1.) wykonano zgodnie z metodyką Thalmanna (1968), a katalazy (E.C. 1.11.1.6) metodą Johnson i Temple (1964).

Pomiary biometryczne roślin sosny (cechy siły wzrostu) obejmowały wysokość części nadziemnej (cm), średnicę pędu (mm), długość pędu bocznego (cm). Pomiary te wykonywano jesienią we wszystkich latach badań.

Parametry wzrostu roślin sosny wykonano w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano jednoczynnikowej analizie wariancji w układzie całkowicie losowym. Istotność różnic między średnimi weryfikowano testem Tukeya na poziomie ufności $p = 0,05$. Do obliczeń wykorzystano program FR-ANALWAR na bazie Microsoft Excel.

2.1. Charakterystyka warunków glebowych i meteorologicznych na badanym obiekcie

Glebę, na której przeprowadzono doświadczenie określono jako czarną ziemię zdegradowaną i zaliczono do V i VI klasy bonitacyjnej, kompleksu żytniego słabego oraz bardzo słabego. Na podstawie procentowej zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych zakwalifikowano badane gleby do dwóch podgrup granulometrycznych – piasku luźnego na obiekcie nawadnianym kropłowo i piasku słabo gliniastego na obiekcie kontrolnym (PTG, 2009). Wyniki dotyczące uziarnienia gleby oraz wybranych parametrów gleby przedstawiono w tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Zawartość poszczególnych frakcji granulometrycznych (%) według PTG (2009)

Table 1. Content of individual granulometric fractions (%) according to PTG (2009)

Miejsce poboru	Procentowy udział frakcji granulometrycznych (%)		
	Piasek (mm) ϕ 2,0-0,05	Pył (mm) ϕ 0,05-0,002	İł (mm) ϕ <0,002
0-bez nawadniania (kontrola)	86,97	12,28	0,75
K-nawadnianie kropłowe	91,16	8,58	0,26

Tabela 2. Właściwości fizyczne i chemiczne typowego profilu glebowego według PTG (2009)

Table 2. Physical and chemical properties of a typical soil profile according to PTG (2009)

Miejsce poboru	pH	EC	Corg	N _t	C/N	Mg
		$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			$\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$
0-bez nawadniania (kontrola)	5,16	62,4	9,6	0,9	10,7	4,1
K-nawadnianie kropłowe	5,24	58,7	8,3	0,9	9,2	3,3

EC-przewodnictwo elektrolityczne

W okresie przeprowadzonych badań średnia z lat od 2013 do 2016 temperatura powietrza w okresie wegetacji wyniosła 14,9°C i była o 0,3°C wyższa od średniej z wielolecia (tabela 3). Najcieplejszy – z temperaturą 15,4°C (0,8°C powyżej średniej wieloletniej) – był okres wegetacyjny 2014 roku. Najcieplejszym miesiącem okresu wegetacji był lipiec, w którym średnia temperatura powietrza wyniosła 19,3°C i była wyższa o 0,5°C od średniej z wielolecia. W okresie wegetacji 2014 roku średnia temperatura powietrza w lipcu wyniosła aż 21,5°C (wyższa o 2,7°C od średniej z wielolecia).

Średnia – w czterolecu 2013-2016 – suma opadów w okresie wegetacji wyniosła 303,2 mm i była o 7,3 mm niższa od średniej z wielolecia (tabela 4). Najwyższe opady wystąpiły w okresie wegetacji roku 2016 – wyniosły one 375,4 mm (64,8 mm powyżej średniej wieloletniej). Najniższa suma opadów okresu wegetacji – wynosząca 193,3 mm (117,3 mm poniżej średniej wieloletniej) – wystąpiła w roku 2015. Sumy opadów w tym okresie, z wyjątkiem września w roku 2015, stanowiły od 34% do 71% normy wieloletniej. Średnie w okresie 2013-2016 sumy opadów maja, czerwca i lipca były wyższe od średniej z wielolecia. Najwyższą miesięczną sumę opadów (133,8 mm) stwierdzono w lipcu 2012 roku.

Tabela 3. Temperatura powietrza w okresie wegetacji w latach 2013-2016 (°C)
Table 3. Air temperature during the vegetation period in 2013-2016 (°C)

Wyszczególnienie	Miesiące okresu wegetacji						Średnio IV-IX
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
2013	7	14,2	17,4	18,9	18,1	10,7	14,4
2014	9,9	13,3	16	21,5	17,2	14,4	15,4
2015	7,5	12,4	15,7	18,5	20,9	13,8	14,8
2016	8,3	14,7	17,7	18,3	16,4	14,3	14,9
2013-2016	8,2	13,6	16,7	19,3	18,1	13,3	14,9
1986-2015	8,1	13,3	16,3	18,8	18,0	13,1	14,6

Tabela 4. Sumy opadów atmosferycznych w okresach wegetacji w latach 2013-2016 (mm)

Table 4. Sum of precipitation in the vegetation period in 2013-2016 (mm)

Wyszczególnienie	Miesiące okresu wegetacji						Suma IV-IX
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
2013	13,6	91,7	49,3	79	56,6	64,1	354,3
2014	40,7	65,7	44,9	55,4	57,3	25,9	289,9
2015	15,6	21,6	33	50,4	20,3	52,4	193,3
2016	28,7	51,4	98,1	133,8	55,3	8,1	375,4
2013-2016	24,6	57,6	56,3	79,6	47,4	37,6	303,2
1986-2015	26,9	50,2	54,9	71,4	59,7	47,5	310,6

3. Wyniki i dyskusja

Sadzonki sosny poddane połączonej mikoryzacji standardowej z zastosowaniem grzyba *Hebeloma crustuliniforme* oraz mikoryzacją ściółką na bazie ektopróchnicy leśnej, w czteroletnim okresie badań (2013-

2016) charakteryzowały się 100% przeżywalnością zarówno na obiekcie nawadnianym kropłowo jak i kontrolnym (bez nawadniania). Jak zauważają Villeneuve i in. (1991), Aleksandrowicz-Trzcińska (2004), Hilszczańska i Sierota (2006) mikoryzy utworzone na korzeniach w szkółce pomagają pokonać sadzonkom stress związany z przeniesieniem do nowych warunków uprawy.

Zastosowane nawadnianie kropłowe istotnie wpłynęło na kształtowanie rozpatrywanych cech biometrycznych badanych roślin sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) poddanej mikoryzacji. We wszystkich latach badań (2013-2016) na obiektach nawadnianych kropłowo rośliny sosny zwyczajnej były wyższe w porównaniu do uprawianych w naturalnych warunkach uwilgotnienia (tabela 5).

Na podstawie pomiarów wykonanych w ostatnim roku badań (2016 roku) stwierdzono, iż nawadnianie kropłowe wpłynęło istotnie na zwiększenie ich wysokości z 40,1 cm (nienawadniana kontrola) do 81,2 cm (nawadnianie kropłowe) czyli o 102% (tabela 5). Pozytywną reakcję roślin sosny zwyczajnej na nawadnianie potwierdzają również wcześniej przeprowadzone badania innych autorów (Hilszczańska 2001, Klimek i in. 2008, Rolbiecki i in. 2005a, 2005b, Rolbiecki i in. 2007, Rolbiecki i in. 2008, Dobbartin i in. 2010). Rolbiecki i in. (2005a) w badaniach dotyczących mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyprodukowanych z udziałem zabiegu zoomelioracji, przeprowadzonych na tym samym gruncie porolnym obiektu Kruszyn Krajeński zanotowali przyrost wysokości wynoszący nawet 233%. Natomiast w innych badaniach (Rolbiecki i in. 2008), dotyczących nawadniania dwuletich roślin sosny uzyskano przyrost badanej cechy o 34% w Kruszynie Krajeńskim i 35% w Lipniku pod Stargardem w porównaniu kontrolą.

Rośliny sosny uprawiane w warunkach nawadniania cechowały się we wszystkich latach badań istotnie większą średnicą pędu od rosnących w warunkach naturalnego uwilgotnienia (tabela 6). Wartość tej cechy dla roślin czteroletnich wynosiła 21,5 mm na obiekcie nawadnianym kropłowo i była wyższa w porównaniu z kontrolą o 95%. Dla porównania Rolbiecki i in. (2008) uzyskali 88% przyrost średnicy pędu jednorocznych siewek sosny zwyczajnej pod wpływem nawadniania kropłowego w Kruszynie Krajeńskim i 100% w Lipniku. Z kolei w badaniach Rolbieckiego i in. (2005a) nie zanotowano zwiększonego przyrostu średnicy pędu dwuletich siewek sosny zwyczajnej pod wpływem nawadniania kropłowego.

Tabela 5. Wpływ nawadniania kropłowego na wysokość sosny zwyczajnej (cm)
Table 5. Effect of drip irrigation on the Scots pine height (cm)

Wyszczególnienie	Lata badań				Średnio
	2013	2014	2015	2016	
O-bez nawadniania (kontrola)	8,33	27,25	33,40	40,10	27,27
K-nawadnianie kropłowe	18,20	42,5	57,60	81,20	49,87
Średnio	13,26	34,87	45,50	60,65	38,57
K - O	9,87	15,25	24,20	41,10	26,96
NIR _{0,05}	1,607	7,836	5,551	3,759	21,759

NIR_{0,05} najmniejsza istotna różnica (przedział ufności Tukey'a) dla P = 95% ($\alpha = 0,05$).

Tabela 6. Wpływ nawadniania na średnicę pędu sosny zwyczajnej (mm)
Table 6. Effect of drip irrigation on the Scots pine diameter (mm)

Wyszczególnienie	Lata badań				Średnio
	2013	2014	2015	2016	
O-bez nawadniania (kontrola)	4,35	7,50	9,50	11,00	8,09
K-nawadnianie kropłowe	7,81	10,50	14,80	21,50	13,65
Średnio	6,08	9,00	12,15	16,25	10,87
K -O	3,46	3,00	5,30	10,50	5,56
NIR _{0,05}	1,234	2,459	3,417	4,267	5,472

Objaśnienia – pod tabelą 5

Nawadnianie kropłowe wpłynęło również istotnie na długość pędu bocznego na ostatnim okółku we wszystkich latach badań (tabela 7). W warunkach naturalnego uwilgotnienia średnia długość pędu bocznego wynosiła 9,13 cm, natomiast w warunkach nawadniania osiągała

14,39 cm. Średni przyrost badanej cechy wynosił 5,26 cm (ok. 58%) w porównaniu do roślin rosnących na obiektach kontrolnych. Istotny przyrost długości pędów pod wpływem nawadniania kropłowego zaobserwowano również w badaniach, przeprowadzonych w okolicy Bydgoszczy przez innych autorów z brzozą brodawkowatą (Klimek i in. 2009), modrzewiem europejskim (Klimek i in. 2011) oraz lipą drobnolistną (Klimek i in. 2013a).

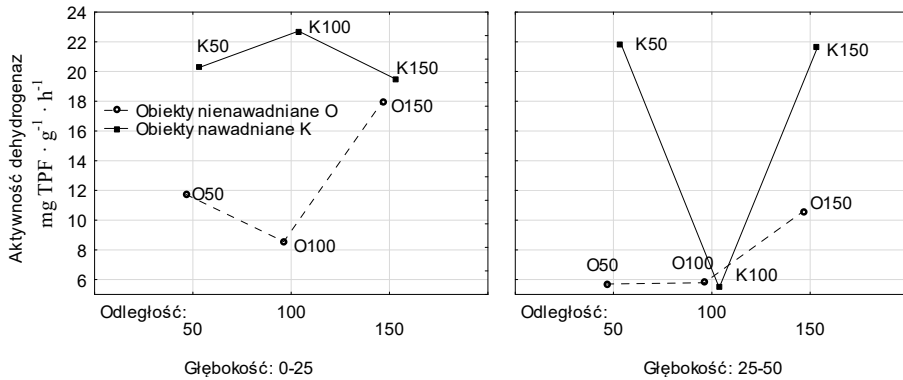
Różnice w wynikach dotyczących cech biometrycznych badanych roślin pod wpływem nawadniania kropłowego w porównaniu z wartościami uzyskanymi przez przytoczonych wyżej autorów mogą być spowodowane zmiennymi warunkami meteorologicznymi w poszczególnych latach badań lub też odmienną techniką produkcji sadzonek sosny zwyczajnej. Jedną z korzyści jaką daje mikoryzacja jest zwiększenie zdolności absorpcyjnej systemu korzeniowego, co z kolei wpływa na pobieranie przez rośliny wody i rozpuszczonych w niej soli mineralnych i tolerancję na suszę (Morte i in. 2001, Aleksandrowicz-Trzecińska 2002, Aleksandrowicz-Trzecińska 2004, Krupa 2004, Nieckuła 2006, Pritsch i Garbaye 2011).

Tabela 7. Wpływ nawadniania na długość pędu bocznego na ostatnim okółku sosny zwyczajnej (cm)

Table 7. Effect of drip irrigation on the Scots pine length of a lateral shoot on the last circle (cm)

Wyszczególnienie	Lata badań				Średnio
	2013	2014	2015	2016	
O-bez nawadniania (kontrola)	4,71	7,60	10,70	13,50	9,13
K-nawadnianie kropłowe	6,84	11,40	16,80	22,50	14,39
Średnio	5,78	9,50	13,75	18,00	11,76
K -O	2,13	3,80	6,10	9,00	5,26
NIR _{0,05}	0,542	1,256	3,475	3,991	4,740

Objaśnienia – pod tabelą 5



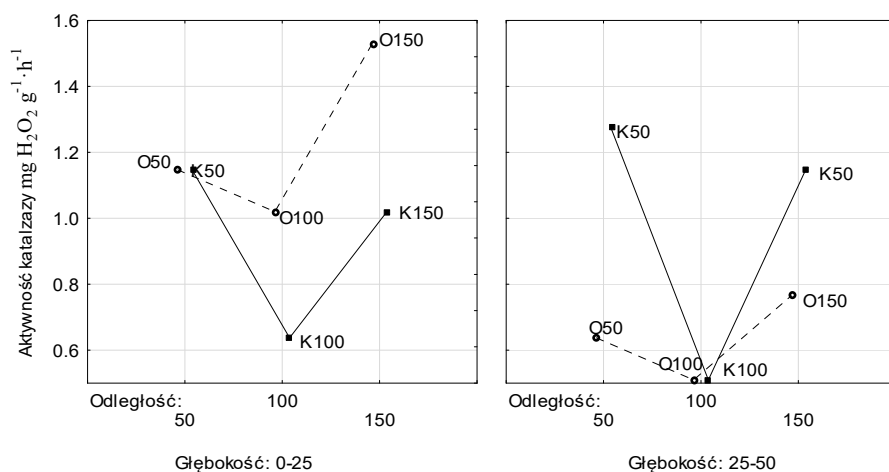
Rys. 2. Wykresy interakcji aktywności dehydrogenaz ($\text{mg TPF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) na obiektach nawadnianych (K) i nienawadnianych (O) w odległości od linii kroplującej 50, 100 i 150 cm.

Fig. 2. Interaction of dehydrogenase activity ($\text{mg TPF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) on irrigated (K) and non-irrigated (O) at a distance from the drip line 50, 100 and 150 cm.

Aktywność obydwu badanych oksydoreduktaz zależała nie tylko od nawadniania ale również od głębokości pobierania próbek glebowych (rysunek 2, 3). O istotnym wpływie nawadniania na aktywność DH donosi Moreno i in. (2017). W opisanych badaniach aktywność dehydrogenaz mieściła się w przedziale od $5,45 \text{ mg TPF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ do $22,72 \text{ mg TPF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Największą aktywność stwierdzono w glebie pobranej z obiektu nawadnianego kropłowo i oddalanego o 100 cm od linii kroplującej. Natomiast aktywność katalazy zawierała się w przedziale od $0,51$ do $1,28 \text{ mg H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Najwyższą jej aktywność stwierdzono w glebie pobranej z warstwy 0-25 cm z obiektu O150. Stwierdzono istotną interakcję pomiędzy nawadnianiem a głębokością na aktywność badanych oksydoreduktaz. W próbkach glebowych pobranych z obiektów nienawadnianych z głębokości 0-25 cm aktywność dehydrogenaz była od 32% (obiekt O100) do 51% (obiekt O50) niższa niż w próbkach pobranych z głębszej warstwy profilu glebowego.

Aktywność katalazy wykazywała podobną tendencję i była od 44% (obiekt O50) do 50% (obiekty O100 i O150) niższa w głębszej warstwie. Natomiast w glebie pobranej z obiektów z zastosowanym nawadnianiem kropłowym stwierdzono wyższą aktywność DHA w głębszej warstwie 25-50 cm. Różnica pomiędzy aktywnością z płytszej warstwy była niższa i mieściła się od 7% (obiekt K50) do 10% (obiekt K150).

Z wyjątkiem gleby pobranej z obiektu K100 gdzie aktywność DHA była niższa o 76% w poziomie 25-50 cm. W glebie z tego obiektu stwierdzono najniższą aktywność katalazy w próbkach z obydwu głębokości. Także na obiektach nawadnianych stwierdzono o 10-11% wyższą aktywność katalazy w głębszej warstwy z wyjątkiem obiektu K100.



Rys. 3. Wykres interakcji aktywności katalazy ($\text{mg H}_2\text{O}_2\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) na obiektach nawadnianych (K) i nienawadnianych (O) w odległości od linii kroplującej 50, 100 i 150 cm.

Fig. 3. Interaction of catalase activity ($\text{mg H}_2\text{O}_2\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) on irrigated (K) and non-irrigated (O) at a distance from the drip line 50, 100 and 150 cm.

Doświadczenie wykazuje, że nawadnianie wpływa na oksydoreduktazy glebowe i stymuluje ich aktywność zwłaszcza w głębszych warstwach profilu glebowego. Dehydrogenazy są enzymami wewnątrzkomórkowymi i ich aktywność jest uważana za bezpośredni wskaźnik mikroorganizmów, których metabolizm jest aktywowany przy obecności substratów węglowych (Kieliszewska-Rokicka 2001). Najprawdopodobniej wysoka aktywność badanych oksydoreduktaz w odległości 50 cm i 150 cm od linii kroplującej jest efektem zwiększenia biomasy mikrobiologicznej na skutek występowania w glebie związków wydzielanych przez korzenie roślin. Nawadnianie kropowe poprzez dostarczenie wody do głębszych warstw gleby umożliwia rozwój mikroorganizmów i aktywność enzymów. Burns i in. (2013) tłumaczą, że wilgotność gleby decyduje o aktywności enzymów poprzez wpływ na tempo w jakim sub-

straty i produkty ich reakcji są rozpraszane w glebie. Natomiast częste i przerywane cykle zwilżania i przesuszenia gleb powodują stres osmotyczny, który wpływa na skład mikroflory glebowej oraz aktywności enzymów (Chowdhury i in. 2011).

4. Wnioski

1. Nawadnianie kropłowe sadzonek sosny zwyczajnej poddanej zabiegowi mikoryzacji na gruncie porolnym ma istotny wpływ na wysokość części nadziemnej, średnicę pędu oraz długość pędu bocznego na ostatnim okółku.
2. Wyniki czteroletnich badań wykazały, że nawadnianie wpływa na oksydoreduktazy glebowe i stymuluje ich aktywność, zwłaszcza w głębszych warstwach profilu glebowego.
3. Biorąc pod uwagę deficyt wody w obszarach leśnych Polski, poziom nawadniania przetestowany w tym badaniu jest wystarczający, aby utrzymać zarówno aktywność enzymatyczną gleb, jak i odpowiednią produkcję biomasy przez drzewa sosny zwyczajnej.

Literatura

- Aleksandrowicz-Trzcińska, M. (2002). *Wpływ fungicydów na wzrost i kolonizację mikoryzową sadzonek sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) hodowanych w kontenerach*. Warszawa. Wydawnictwo SGGW.
- Aleksandrowicz-Trzcińska, M. (2004). Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 3, 5-15.
- Burns, R.G., DeForest, J.L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R.L., Stromberger, M.E., Wallenstein, M.D., Weintraub M.N, Zoppini, A. (2013). Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 216-234.
- Chowdhury, N., Marschner, P., Burns, R.G. (2011). Soil microbial activity and community composition as affected by interaction of matric and osmotic potential. *Soil Biology i Biochemistry*, 43, 1229-1236.
- Dobbertin, M., Eilmann, B., Bleuler, P, Giuggiola, A., Graf Pannatier, E., Landolt, W., Schleppi, P., Rigling, A. (2010). Effect of irrigation on needle morphology, shoot and stem growth in a drought-exposed *Pinus sylvestris* forest *Tree Physiology*, 30(3), 346–360. <https://doi.org/10.1093/treephys/ tpp123>

- Garbaye, J. (2000) The role of ectomycorrhizal symbiosis in the resistance of forests to water stress. *Outlook of Agriculture*, 29, 63-69.
- Grzywacz, A. (2009). Nowe możliwości i potrzeby w zakresie kontrolowanej mikoryzacji drzew i krzewów, *Sylwan*, 1, 8-15.
- Hilszczańska, D. (2001). Stan symbiozy mikoryzowej i wzrost inokulowanych siewek sosny *Pinus sylvestris* L. rosnących w szklarni w warunkach różnej wilgotności podłoża, *Sylwan*, 7, 89-95.
- Hilszczańska, D., Sierota, Z. (2006). Wpływ inokulum mikoryzowego grzyba *Thelephora terrestris* na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. II. Badanie polowe. *Sylwan*, 150(2), 20-28.
- Jeznach, J., Pierzgałski, E. (1996). Przyrodnicze i techniczne trendy rozwoju mikronawodnień. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 438, 175-182.
- Johnson, J.I., Temple, K.L. (1964). Some variables affecting the measurement of catalase activity in soil. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 28, 207-216.
- Kieliszewska-Rokicka, B. (2001). Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności biologicznej gleby. W: *Drobnoustroje środowiska glebowego*. Red. H. Dahn, A. Pokojska-Burdziej. Toruń: Wydaw. A. Marszałek, 37-47.
- Klimek, A., Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Hilszczańska, D., Malczyk, P. (2008). Impact of chosen bare root nursery practices in Scots pine seedling quality and soil mites (Acari). *Polish J. of Environ. Stud.* 17(2), 247-255.
- Klimek, A., Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Malczyk, P. (2009). Impact of chosen bare root nursery practices on white birch seedling quality and soil mites (Acari). *Polish J. of Environ. Stud.* 18(6), 1013-1020.
- Klimek, A., Rolbiecki, S., Rolbiecki R., Hilszczańska D., Malczyk P. (2011). Effects of organic fertilization and mulching under micro-sprinkler irrigation on growth and mycorrhizal colonization of European larch seedlings, and occurrence of soil mites. *Polish J. of Environ. Stud.* 5(20), 1211-1219.
- Klimek, A., Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Długosz, J., Musiał, M. (2013a). Wykorzystanie kompostowanego osadu ściekowego i ektopróchnicy leśnej do wzbogacania gleb w uprawie szkółkarskiej lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.). *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 2811-2828.
- Klimek, A., Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Kowalska, A. (2013b). Porównanie wpływu ściółkowania ektopróchnicą i sterowanej mikoryzacji na rośliny oraz roztocze (Acari) w kontenerowej produkcji sadzonek sosny zwyczajnej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 37-50.

- Kowalski, S. (2007). *Ekologiczne aspekty ektomikoryz od badań podstawowych do praktycznego zastosowania w polskim leśnictwie*. Rozdział pracy zbiorowej „Ektomikoryzy nowe biotechnologie w Polskim szkolnictwie leśnym” pod red. S. Kowalski. Centrum Innowacyjne Lasów Państwowych. Warszawa, 28-37.
- Krupa, P. (2004). *Ektomikoryzy i ich znaczenie dla drzew rosnących na terenach zanieczyszczonych metalami ciężkimi*. Katowice. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Lucas-Borja, M.E., Candel, D., Jindo, K., Moreno, J.L., Andrés, M., Bastida, F. (2012). Soil microbial community structure and activity in monospecific and mixed forest stands, under Mediterranean humid conditions. *Plant and soil*, 354(1-2), 359-370.
- Moreno, J.L., Bastida, F., Ondoño, S., García, C., Andrés-Abellán, M., López-Serrano, F.R. (2017). Agro-forestry management of Paulownia plantations and their impact on soil biological quality: The effects of fertilization and irrigation treatments. *Applied Soil Ecology*, 117, 46-56.
- Morte, A., Díaz, G, Rodríguez, P, Alarcón, J.J, Sánchez-Blanco M.J. (2001). Growth and water relations in mycorrhizal and nonmycorrhizal *Pinus halepensis* plants in response to drought. *Biologia Plantarum*, 44, 263-267.
- Nieckuła, E.(2006). W koalicji z grzybem. *Wiedza i Życie*, 9, 32-35.
- Pierzgalski, E., Tyszka J., Boczoń A., Wiśniewski S., Jeznach J., Żakowicz S. (2002). Wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa, 1-63.
- Puchniarski, T.H. (2008). Sosna zwyczajna-hodowla i ochrona. PWRiL. Warszawa, 16, 46-51.
- PN-ISO 11464. (1999). Jakość gleby. Wstępne przygotowanie próbek do badań fizyczno-chemicznych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacji.
- PTG. (2009). Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze*, 60(2), 5-16.
- Pritsch, K., Garbaye, J.(2011). Enzyme secretion by ECM fungi and exploitation of mineral nutrients from soil organic matter. *Annals of Forest Science*, 68, 25-32.
- Rolbiecki, R., Rolbiecki, S., Klimek, A., Hilszczańska, D. (2005a). Wpływ mikronawodnień nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na gruncie porolnym obiektu Kruszyn Krajeński z udziałem zabiegu zoomielioracji (badania wstępne). *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4, 131-143.
- Rolbiecki, R., Rolbiecki, St., Klimek, A., Hilszczańska, D. (2005b). Wpływ mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z udziałem zabiegu zoomielioracji. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 506, 335-343.

- Rolbiecki, R., Rolbiecki, S., Klimek, A., Hilszczańska, D. (2007). Wpływ mikro-nawodnień i nawożenia organicznego na produkcję dwuletnich sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w szkółce leśnej z udziałem zabiegu zo-melioracji. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1, 101-112.
- Rolbiecki, R., Podsiadło, C., Klimek, A., Rolbiecki, S. (2008). Comparison of response of Scots pine seedlings to micro-irrigation and organic fertilization on a postarableland at zoo-melioration treatment applied under rainfall-thermal conditions of Bydgoszcz and Stargard Szczeciński. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 40, 55-65.
- Stachowski, P., Markiewicz, J. (2011). Potrzeba nawodnień w centralnej Polsce na przykładzie powiatu kutnowskiego. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 1453-1472.
- Szabla, K., Pabian, R. (2003). Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym. Warszawa. CILP.
- Thalman, A. (1968). Zurmethodik der bestimmung der dehydrogenases aktivität in bodenmittelstriphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtschaftliche Forschung*, 21, 249-258.
- Villeneuve, N., Le Tacon, F., Bouchard, D. (1991). Survival of inoculated *Laccariabicolorin* competition with native ectomycorrhizal fungi and effects on the growth of outplanted Douglas – fir seedlings. *Plant Soil*, 135, 95-107.
- Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierk-Tomaszewska, R., Rolbiecki, R., Rolbiecki, S. (2013). Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 2185-2203.

Effect of Irrigation on the Growth Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Subjected to Mycorrhizal Colonization in Planting on the Post-agricultural Ground and the Activity of Soil Enzymes

Abstract

High quality forest nursery material is obtained on soils with favorable physico-biological and nutrient-rich properties. Due to insufficient rainfall and uneven distribution, one of the most important melioration treatments in forest nurseries is irrigation, which makes it possible to systematically supplement water with optimum doses for young plants. The economical solution is to use a drip irrigation system, whereby water is delivered directly to the root zone of the plant. An important indicator of the biological quality of soil under forest

plantations is enzymatic activity. The effect of drip irrigation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on growth parameters of undergoing mycorrhizal treatment and the activity of soil enzymes dehydrogenases and catalase were evaluated. The research was conducted 2013-2016 on the former land intended for afforestation located in Kruszyn Krajeński (53°04'53"N, 17°51'52"E) near Bydgoszcz (Kuyavian-Pomeranian Province, Central Poland), on the soil classified into a quality class V-VI (black-soil-type degraded belonging to very weak and weak-rye-soil-complexes). Irrigation was used in the two variants: 0 – without irrigation (control) and K – drip irrigation. The experiment included a total of 8 plots (2 x 4). Irrigation was done with the drip line "Euro Drip" where the distance between the drippers was 20 cm. In the research 1-year old Scots pine seedlings with covered root system (container production) was used. Seedlings during production were subjected to a standard combined with mycorrhiza fungus *Hebeloma crustuliniforme* mycorrhization and bedding based ectohumus forest. The Scots pine seedlings subjected to mycorrhizal colonization were characterized by 100% survival in the four-year study period (2013-2016). The drip irrigation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) significantly increased the height of the above ground part, the diameter of the shoot, and the lateral shoot length. Also, drip irrigated plants were 102% higher compared to the control in 2016 years. Also, pine plants growing under irrigation conditions were 95% larger in shoot diameter than those grown under natural humidity. Drip irrigation resulted in the significant increase of a lateral shoot on the last circle by 58%. Experience shows that irrigation affects soil oxidase and stimulates their activity especially in the deeper layers of the soil profile. The level of irrigation tested in this study is sufficient to maintain both the enzymatic activity of soils and the appropriate production of biomass by pine trees.

Streszczenie

Uzyskanie materiału szkółkarskiego o wysokiej jakości możliwe jest na glebach o korzystnych właściwościach fizyczno-biologicznych i zasobnych w składniki pokarmowe. Ze względu na niedostateczne ilości opadów i nierównomierny ich rozkład jednym z najważniejszych zabiegów melioracyjnych w szkółkach leśnych jest nawadnianie, które umożliwia systematyczne uzupełnianie wody dawkami optymalnymi dla młodych roślin. Ekonomicznym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu nawadniania kropłowego, dzięki któremu woda dostarczana jest bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin. Ważnym wskaźnikiem biologicznej jakości gleby pod plantacjami leśnymi jest aktywność enzymatyczna. W pracy badano wpływ nawadniania kropłowego na wybrane parametry wzrostu roślin sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) poddanej zabiegowi mikoryzacji oraz aktywność enzymów glebowych: dehydrogenaz

i katalazy. Badania przeprowadzono w latach 2013-2016 na gruncie porolnym przeznaczonym pod zalesienie zlokalizowanym w Kruszynie Krajeńskim (53°04'53"N, 17°51'52"E) koło Bydgoszczy (województwo kujawsko-pomorskie – centralna Polska), zakwalifikowanym do V-VI klasy bonitacyjnej (czarna ziemia zdegradowana zaliczana do kompleksu żyniego słabego i żyniego bardzo słabego). Doświadczenie polowe założono i przeprowadzono jako jednoczynnikowe. Badanym czynnikiem, stanowiącym źródło zmienności było nawadnianie zastosowane w dwóch wariantach: 0 – bez nawadniania (kontrola), K – nawadnianie kropłowe. Eksperyment obejmował łącznie 8 poletek (2 x 4). Do nawodnień kropłowych używano linii kroplującej 'Euro Drip' z emiterami rozmieszczonymi co 20 cm. W badaniu wykorzystano 1 roczne sadzonki sosny z zakrytym systemem korzeniowym (produkcja kontenerowa). Sadzonki w trakcie produkcji były poddane połączonej mikoryzacji standardowej z zastosowaniem grzyba *Hebeloma crustuliniforme* oraz ściółkowaniu ektopróchnicą leśną. Mikoryzowane sadzonki sosny w czteroletnim okresie badań (2013-2016) charakteryzowały się 100% przeżywalnością zarówno na obiekcie nawadnianym kropłowo jak i kontrolnym (bez nawadniania). Nawadnianie kropłowe roślin sosny zwyczajnej istotnie zwiększyło wysokość części nadziemnej, średnicę pędu oraz długość pędu bocznego. Na podstawie pomiarów wykonanych w 2016 roku stwierdzono, iż nawadniane kropłowo sadzonki sosny były o 102% wyższe w porównaniu z kontrolą. Ponadto rośliny sosny uprawiane w warunkach nawadniania miały o 95% większą średnicę pędu od rosnących w warunkach naturalnego uwilgotnienia. Stwierdzono również wyższy o 58% średni przyrost pędu bocznego na ostatnim okółku. Doświadczenie wykazało, że nawadnianie wpływa na oksydoreduktazy glebowe i stymuluje ich aktywność, zwłaszcza w głębszych warstwach profilu glebowego. Biorąc pod uwagę deficyt wody w obszarach leśnych Polski, poziom nawadniania przetestowany w tym badaniu jest wystarczający, aby utrzymać zarówno aktywność enzymatyczną gleb, jak i odpowiednią produkcję biomasy przez drzewa sosny zwyczajnej.

Słowa kluczowe:

szkółka leśna, potrzeby wodne, *Hebeloma crustuliniforme*, ektopróchnica leśna, dehydrogenazy, katalaza

Keywords:

forest nurseries, water needs, *Hebeloma crustuliniforme*, ectohumus forest, dehydrogenases, catalases