

TOMASZ OSZAKO, MARIUSZ M. NOWASZEWSKI, WIESŁAW SZULC, BEATA
RUTKOWSKA, JUSTYNA A. NOWAKOWSKA

Fosforyny jako czynnik ograniczający zamieranie drobnych korzeni w drzewostanach dębowych Płyty Krotoszyńskiej*

Phosphites as factor limiting the fine root damage in oak stands from
Krotoszyn Plateau

ABSTRACT

Oszako T., Nowaszewski M. M., Szulc W., Rutkowska B., Nowakowska J. A. 2018. Fosforyny jako czynnik ograniczający zamieranie drobnych korzeni w drzewostanach dębowych Płyty Krotoszyńskiej. Sylwan 162 (10): 819-827.

Oak decline phenomenon has been observed in Poland in the 1980s. Especially, Krotoszyn Forest District was affected in the years 1982-1984, when oaks were dying in a mass extend causing economic and ecological problems. Twenty five years later many *Phytophthora* species were isolated from rhizosphere soil suggesting their important role in fine root damage. This research was focused on application of fertilisers increasing oak resistance to soil-borne pathogens. In total, 60 soil samples were collected c.a. 1 meter from trunks of oaks representing control and treated variant with Actifos® and Kalex® fertilisers. The fine root parameters (smaller than 2 mm) were evaluated with the water scanner and WinRhizo software. The same soil samples were analysed for the presence of macro- (N, P, K, Ca, Mg) and microelements (Al, Cu, Fe, Mn, Na, Zn). The use of ammonium and potassium phosphites in the form of foliar spray had a beneficial effect on the health of oak stands (*Quercus robur* L.) in the Krotoszyn Forest District. Three parameters: defoliation (ICP Forest), vitality according to Roloff method and synthetic index of damage were applied in order to evaluate the status of oaks health. Two aforementioned crown parameters were obtained from visual assessment from the ground, while the synthetic index of damage was calculated according to the formula developed by Dmyterko and Bruchwald. The parameters of fine roots after treatments, especially their number, length and surface improved. Trees with better quality fine roots had more chance to survive in unfavourable environmental conditions like drought. Phosphite treatments of oak stand positively influenced the chemical properties of soil, decreased acidity, but increased availability of Zn for plants, and probably reduced root damage by toxic aluminium ions. An improvement in the health of fine roots (that were saved by phosphites from damage caused by pathogenic species of *Phytophthora* genus present in the soil) will have a positive effect on the reconstruction of crown architecture (shoots development from dormant buds).

KEY WORDS

oak decline, *Quercus robur* L., *Phytophthora*, phosphites, RDLP Poznań

*Badania sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Komisji Europejskiej w ramach Projektu HESOFF Life +.

ADDRESSES

Tomasz Oszako ⁽¹⁾ – e-mail: T.Oszako@ibles.waw.pl
 Mariusz M. Nowaszewski ^(2,3) – e-mail: mareknowaszewski@gmail.com
 Wiesław Szulc ⁽⁴⁾ – e-mail: wieslaw_szulc@sggw.pl
 Beata Rutkowska ⁽⁴⁾ – e-mail: beata_rutkowska@sggw.pl
 Justyna A. Nowakowska ⁽⁵⁾ – e-mail: j.nowakowska@uksw.edu.pl

⁽¹⁾ Zakład Ochrony Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

⁽²⁾ Zamiejscowy Wydział Leśny, Politechnika Białostocka; ul. Piłsudskiego 1A, 17-200 Hajnówka

⁽³⁾ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

⁽⁴⁾ Wydział Rolnictwa i Biologii, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽⁵⁾ Wydział Biologii i Nauk o Środowisku, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego; ul. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa

Wstęp

Drzewostany dębowe stanowią w Europie cenne kompleksy leśne, zarówno z punktu widzenia gospodarczego, jak i przyrodniczego. Lasy krotoszyńskie są jednym z najrozleglejszych kompleksów dąbrów w Polsce. Ponadstuletnie starodrzewy dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) zajmują powierzchnię 54,8% wszystkich dąbrów [Szychowiak 2002]. Na terenie Europy masowe zamieranie drzewostanów dębowych w wieku powyżej 100 lat obserwowano w końcu XX wieku [Delatour 1983]. Pierwsze sygnały o zamieraniu dębów w Polsce pochodzą z lat 50. XX wieku z Krotoszyna [Oszako i in. 2013]. Jeszcze przed 20 laty uważano, że uszkodzenia drobnych korzeni drzew powoduje tylko jeden gatunek patogenu z rodzaju *Phytophthora*, ale obecnie poznano 17 gatunków tego rodzaju [Orlikowski, Oszako 2009]. Dęby rosnące na Płycie Krotoszyńskiej, ze względu na niekorzystne warunki powietrzno-wodne gleb, nie wykształcają palowych systemów korzeniowych, lecz płaskie [Szychowiak 2002]. Fytoftorozę powodują zamieranie drobnych korzeni, głównie na głębokości 20-25 cm, ponieważ płycej rozkładają się substancje organiczne, które przyspieszają namnażanie antagonistycznych bakterii i grzybów [Pudlis 2011].

Fosforyny ograniczają wytwarzanie supresorów maskujących obecność czynników chorobotwórczych i w ten sposób przyspieszają reakcje obronne roślin [Yamada i in. 1989]. Natomiast kontakt tkanek roślinnych z patogenami w obecności fosforynów wywołuje reakcje obronne, takie jak np. synteza fitoaleksyn w komórkach roślinnych [Guest, Bompeix 1990]. Związki te są niezbędne w ograniczaniu rozwoju patogenów atakujących drobne korzenie. Dodatkowo, w sytuacji ograniczonej liczby środków ochrony roślin dopuszczonych obecnie do stosowania w leśnictwie, wykorzystanie fosforynów stało się alternatywą w ramach integrowanej ochrony roślin [Tkaczyk i in. 2016].

Celem badań była ocena skuteczności prób ograniczania szkód powodowanych przez fito-ftorozę korzeni za pomocą oprysku lotniczego fosforynami.

Materiał i metody

Badania zostały przeprowadzone w Nadleśnictwie Krotoszyn (RDLP w Poznaniu) znajdującym się na terenie Płyty Krotoszyńskiej, która zaliczana jest do największych obszarów w Polsce porośniętych przez lite drzewostany dębowe. Powierzchnia badawcza zlokalizowana została w drzewostanie Nadleśnictwa Krotoszyn (51°42'13,8" N, 17°33'53,0" E), w którym w ostatnich dekadach odnotowano pogorszenie zdrowotności dębów. Drzewostan dębowy rosnący na siedlisku lasu świeżego składał się wyłącznie z dębów szypułkowych (*Q. robur* L.), których wiek

wynosił średnio 123 lata. W celu porównania skuteczności zabiegu założono na badanym terenie dwa równoległe transekty (zabiegowy i kontrolny, łącznie o powierzchni 40×970 m), na których wytypowano do obserwacji po 30 drzew, starając się, aby odległość pomiędzy nimi była nie mniejsza niż podwojona szerokość korony.

W czerwcu i we wrześniu 2012 roku wykonano dolistne zabiegi nawozem Actifos (dawniej Agrophos) firmy Agropak, zawierającym fosforyn amonu (azot – 10,2%) i mikroelementy (bor – 0,02%, miedź – 0,008%, żelazo – 0,06%, mangan – 0,04%, molibden – 0,004% oraz cynk – 0,02%). W preparacie Actifos stężenie jonów PO_3 w formie amonowej wynosi 29,9%, co koresponduje z 363 g PO_3 w litrze preparatu, który zawiera także jony NH_3 – 12,6%. Nie dodawano środków zwilżających, ponieważ Actifos zawiera Agnique (poliglikodek). Takie samo stężenie cieczy roboczej, 50% (1 część preparatu : 1 część wody), zastosowano zarówno dla Actifosu, jak i Kalexu. Do oprysków liści wykorzystano atomizery, podając 3-4 l cieczy roboczej/ha (łącznie opryskano 5 ha w Krotoszynie i 5 ha w Karczmie Borowej, podając około dwudziestu paru litrów cieczy roboczej). Opryski wykonano około godz. 21.30, w czasie bezwietrznej pogody i bez opadów, aby nie dopuścić do wystąpienia na młodych liściach niewielkich nekroz, świadczących o fitotoksyczności wywołanej głównie przez jony HN_4^+ . Ich wystąpieniu sprzyja wysoka temperatura, dlatego zabiegi wykonano przed zmrokiem. Rok później, w maju 2013 roku, dodatkowo zabezpieczono liście przed owadami pierwotnymi za pomocą preparatu FORAY 76B SC, zawierającego bakterie *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Oprysk ten miał na celu eliminację wpływu tych szkodników na wyniki badań. Kolejne opryski lotnicze z użyciem preparatu fosforynowego Kalex® (DM Agro, Włochy) przygotowanego na bazie 70% fosforynu potasu wykonano we wrześniu 2013 i w maju 2014 roku.

W 2016 roku pobrano próbki gleby, w formie sześciennych monolitów o boku 25 cm, przy każdym badanym drzewie z północnej i południowej strony. Próbki były pobierane po zdjęciu warstwy organicznej gleby, w odległości około metra od pnia. Obie próbki mieszano (tworząc zbiorczą próbę) i ekstrahowano korzenie dębów. Ze zmieszanych monolitów glebowych pobierano też próbki gleby do analiz chemicznych. Glebę doprowadzano do stanu powietrznie suchego, a następnie przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W tak przygotowanych próbkach gleby oznaczono: zawartość siarki siarczanowej (S-SO_4) po ekstrakcji w CH_3COOH o stężeniu 0,03 mol/dm³ metodą ICP, glinu wymiennego (Al_w) metodą Sokołowa, kwasowość hydrolityczną (Hh) metodą Kappena, pH po ekstrakcji w KCl o stężeniu 1 mol/dm³, zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu metodą Egnera-Riehma, magnezu metodą Schachtschabela, wapnia po ekstrakcji w 0,03 M CH_3COOH oraz mikroelementów (Cu, Fe, Mn i Zn) po ekstrakcji w HCl o stężeniu 1 mol/dm³ metodą ICP [Ostrowska i in. 1991].

Na potrzeby monitorowania uszkodzeń koron dębów zastosowano metodę oceny defoliacji (ICP Forest) i witalności [Roloff 1989, 2001]. Następnie na ich podstawie policzono syntetyczny wskaźnik uszkodzeń [Dmyterko 1998].

Defoliację szacowano na całej długości korony, wykorzystując do tego celu atlas ubytku aparatu asymilacyjnego drzew [Müller, Stierlin 1990]. Wartość defoliacji wyrażano w procentach ubytku aparatu asymilacyjnego. Witalność drzew określano przy zastosowaniu klasyfikacji witalności Roloffa [1989, 2001] w górnej, świetlistej części korony. W ocenie stanu koron zastosowano czterostopniową skalę, w której wyróżniono poszczególne stopnie żywotności:

- 0 – faza eksploracji, czyli niezakłóconego wzrostu i dynamicznego rozwoju pędów,
- 1 – faza degeneracji, czyli spowolnienia wzrostu, obniżonej dynamiki i zachwianej witalności,
- 2 – faza stagnacji, czyli zahamowanego lub bardzo spowolnionego wzrostu (deformacja pędów) i wyraźnie obniżonej witalności,

3 – faza rezygnacji, czyli całkowicie zahamowanego wzrostu i silnie obniżonej vitalności oraz zamierania pędów w koronie [Białobok 1991].

Syntetyczny wskaźnik uszkodzenia (*Syn*) to średnia defoliacji i vitalności określona wzorem:

$$Syn = \frac{0,03 \cdot Defoliacja + Witalność}{2}$$

Wartość liczbową 0,03 służy dostosowaniu defoliacji wyrażonej w procentach do zakresu 0-3 (jak przy vitalności) [Dmyterko 1998].

Wszystkie pozyskane próbki korzeni *Q. robur* (L.) skanowano (przy użyciu skanera EPSON Perfection V700 Photo), a obraz poddawano analizie przy wykorzystaniu oprogramowania WinRhizo® (Regent Instruments). Program dzielił korzenie na dwa zbiory: korzenie drobne (o średnicy 0-2 mm) i korzenie mateczne (2-5 mm). Ponadto określał następujące parametry morfologiczne:

- liczba wierzchołków korzeni drobnych (FRT [szt.]),
- długość wszystkich korzeni (TRL [cm]),
- długość korzeni drobnych (FRL [cm]),
- długość korzeni matecznych (MRL [cm]),
- stosunek długości korzeni drobnych do długości korzeni matecznych (FRL/MRL),
- stosunek liczby wierzchołków korzeni drobnych do długości korzeni matecznych (FRT/MRL [szt./cm]),
- powierzchnia korzeni drobnych (FRSA [cm²]).

Wszystkie otrzymane wyniki scalono w jedną bazę danych w celu przeprowadzenia analizy statystycznej pozwalającej określić różnice pomiędzy dwiema badanymi grupami drzew. W celu porównania cech ilościowych zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya, będący najlepszą alternatywą dla popularnego testu t-Studenta, kiedy niespełnione są założenia testów parametrycznych. Dla wszystkich parametrów obliczono współczynnik zmienności (%), przyjmując następującą skalę: $V < 20\%$ – mała, $20\% < V < 40\%$ – przeciętna oraz $V < 100\%$ – duża zmienność.

Wyniki

Na podstawie analizy systemów korzeniowych dębów wykazano istotne statystycznie różnice pomiędzy sześcioma z siedmiu badanych podstawowych parametrów drobnych korzeni (tab. 1). Wartości średnie w wariancie zabiegowym osiągnęły prawie dwukrotnie wyższe wartości w porównaniu z wariantem kontrolnym. Wyliczony współczynnik zmienności w wariancie kontrolnym pokazał dużą zmienność wyników, natomiast w wariancie zabiegowym wskazywał na przeciętną zmienność, w większości przyjmując prawie dwukrotnie niższe wartości niż w wariancie zabiegowym.

Wartości parametrów defoliacji, vitalności i syntetycznego wskaźnika uszkodzeń drzewostanów (*Syn*) przedstawiono odrębnie dla powierzchni kontrolnej i zabiegowej (tab. 2). Wartość średnia defoliacji w wariancie zabiegowym była nieznacznie niższa niż w wariancie kontrolnym (odpowiednio 23,17 i 24,33%). Średnia vitalność w wariancie kontrolnym (1,37) była nieznacznie wyższa w porównaniu z wariantem zabiegowym (1,17). Syntetyczny wskaźnik uszkodzenia koron cechował się większą średnią w obiekcie kontrolnym w porównaniu z obiektem zabiegowym (odpowiednio 1,05 i 0,93). Przeciętną zmiennością wyróżniały się defoliacja oraz syntetyczny wskaźnik uszkodzeń – w obu wariantach doświadczenia. Zmiennością na dużym poziomie charakteryzowała się vitalność, również w obu wariantach doświadczenia. Porównanie dwóch grup

Tabela 1.

Minimalna (Min), maksymalna (Max) i średnia (M) wartość oraz współczynnik zmienności (CV [%]) badanych parametrów drobnych korzeni dębów szypułkowych na powierzchniach kontrolnej (Kontrola) i zabiegowej (Zabieg) oraz ocena istotności różnicy między średnimi (p)

Minimum (Min), maximum (Max) and mean (M) value, and coefficient of variability (CV [%]) for the studied parameters of fine roots of pedunculate oaks in the control (Kontrola) and treatment (Zabieg) variants as well as assessment of the significance of the difference between the means (p)

	P	Kontrola				Zabieg			
		Min	Max	M	CV	Min	Max	M	CV
FRT	<0,0001	128,00	3000,00	840,90	59%	880,00	2855,00	1837,27	26%
TRL	<0,0001	76,05	826,82	378,63	35%	415,83	971,61	690,35	18%
FRL	<0,0001	21,67	759,97	314,39	38%	303,10	909,78	601,84	20%
MRL	0,0005	14,84	123,34	55,22	51%	20,32	152,80	83,18	36%
FRL/MRL	0,1413	0,43	19,55	7,22	63%	2,76	26,54	8,84	61%
FRT/MRL	0,0087	2,52	52,61	18,52	68%	8,02	83,97	26,56	59%
FRSA	<0,0001	3,45	116,05	62,83	30%	61,39	146,91	107,96	18%

FRT – liczba wierzchołków korzeni drobnych, TRL – długość wszystkich korzeni [cm], FRL – długość korzeni drobnych [cm], MRL – długość korzeni matecznych [cm], FRSA – powierzchnia korzeni drobnych [cm²]

FRT – number of fine root tips, TRL – total root length [cm], FRL – fine root length [cm], MRL – mother root length [cm], FRSA – fine root surface area [cm²]

Tabela 2.

Minimalna (Min), maksymalna (Max) i średnia (M) wartość oraz współczynnik zmienności (CV [%]) parametrów koron dębów szypułkowych na powierzchniach kontrolnej (Kontrola) i zabiegowej (Zabieg) oraz ocena istotności różnicy między średnimi (p)

Minimum (Min), maximum (Max) and mean (M) value, and coefficient of variability (CV [%]) for the crown parameters of pedunculate oaks in the control (Kontrola) and treatment (Zabieg) variants as well as assessment of the significance of the difference between the means (p)

	P	Kontrola				Zabieg			
		Min	Max	M	CV	Min	Max	M	CV
Defoliacja Defoliation [%]	0,46879	10,00	30,00	24,33	26	10,00	40,00	23,17	34
Witalność Vitality	0,26432	0,00	2,00	1,37	41	0,00	2,00	1,17	50
Syn	0,24581	0,30	1,45	1,05	32	0,30	1,60	0,93	37

za pomocą nieparametrycznego testu U Manna-Whitneya wykazało brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy wszystkimi badanymi parametrami koron drzew.

Zestawienie dwóch wariantów badanych powierzchni w przypadku wyników analiz chemicznych gleby za pomocą testu Manna-Whitneya wykazało istotne statystycznie różnice pod względem odczynu gleby oraz pomiędzy zawartością siarki siarczanowej (S-SO₄), potasu (K), miedzi (Cu) i cynku (Zn) (tab. 3).

Dyskusja

Przeprowadzone w Polsce badania na roślinach ozdobnych, takich jak cyprysik Lawsona (*Chamaecyparis lawsoniana*), lawenda (*Lavandula angustifolia*) i wrzos (*Calluna vulgaris*) wykazały dużą przydatność nawozów fosforynowych do ochrony roślin przed fytoftorą [Wieczorek i in. 2010]. Badania wykonane na pomidorach i pieprzu w Stanach Zjednoczonych wykazały znacznie zmniejszone występowanie zgnilizny powodowanej przez gatunki *Phytophthora* na roślinach potraktowanych fosforem w porównaniu z roślinami kontrolnymi [Förster i in. 1998]. Wykazano również skuteczność ochrony awokado i cytrusów przed fytoftorą za pomocą

Tabela 3.

Odczyn (pH_{KCl}), kwasowość hydrolytyczna (Hh [cmol(+)/kg]), zawartość glinu wymiennego (Al_w [cmol(+)/kg]) oraz zawartość przyswajalnych form makro- i mikroelementów [mg/kg] w glebie

Reaction (pH_{KCl}), hydrolytic acidity (Hh [cmol(+)/kg]), exchangeable aluminium content (Al_w [cmol(+)/kg]) and the content of available macro- and microelements [mg/kg] in soil

	P	Kontrola				Zabieg			
		Min	Max	M	CV	Min	Max	M	CV
pH_{KCl}	0,00004	3,00	3,44	3,21	4	3,16	3,65	3,35	3
Hh	0,20887	9,68	29,70	16,49	30	7,73	33,53	15,23	36
Al_w	0,99410	1,03	3,53	1,96	27	1,14	2,66	1,93	22
P	0,06567	9,16	26,60	15,04	27	9,59	22,24	13,10	23
K	0,01247	45,65	141,10	72,63	30	33,20	99,60	58,10	30
Ca	0,62563	76,43	141,43	98,57	20	62,86	135,00	108,21	20
Mg	0,35933	29,00	93,00	46,10	30	24,00	62,00	39,50	26
S-SO ₄	0,00762	9,80	62,00	21,40	47	3,50	32,00	42,30	52
Cu	0,04358	2,80	5,80	4,49	16	3,00	9,40	4,27	29
Fe	0,44642	320,00	1550,00	773,67	33	400,00	1530,00	827,17	31
Mn	0,94107	14,70	122,00	50,93	50	19,40	122,00	49,61	50
Zn	0,02370	1,80	5,00	3,14	28	2,20	8,00	4,09	39

iniekcji fosforynów do pni [Darvas i in. 1984; Pegg i in. 1987; Schutte i in. 1991]. W przypadku bankcji i eukaliptusa jednorazowa iniekcja fosforynów do pnia pozwala na ochronę drzew przez okres 4 lat oraz spowalnia rozprzestrzenianie się patogenów z rodzaju *Phytophthora* przez 5 lat [Shearer i in. 2004, 2006]. W szkółkach leśnych również można stosować nawozy zawierające fosforyny, które chronią drobne korzenie przed tymi patogenami, a dzięki dodaniu makroelementów (np. azotu) oraz mikroelementów dodatkowo stymulują rozwój części nadziemnych sadzonek dębu [Tkaczyk i in. 2014]. Patogeny z rodzaju *Phytophthora* mogą przetrwać w glebie przez wiele lat, oczekując na sprzyjające warunki do rozwoju [Erwin, Ribeiro 1996], w związku z tym badania monitorujące zdrowotność dębów, a zwłaszcza stan ich drobnych korzeni, są stale aktualne. Niniejsze wyniki badań potwierdziły możliwość zastosowania fosforynów w ochronie drzewostanów dębowych, choć przy stosowanych dużych dawkach należy mieć na uwadze możliwość wystąpienia zjawiska fitotoksyczności, szczególnie gdy zabiegowi towarzyszą wysokie temperatury lub susza [Le Roux 2000].

W roku 2016 porównanie parametrów koron nie wykazało istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami drzew zabiegowych i kontrolnych, prawdopodobnie z powodu zbyt krótkiego czasu trwania doświadczenia. Podobnie syntetyczny wskaźnik, będący pochodną defoliacji i witalności, również nie wykazał w 2016 roku istotnych statystycznie różnic pomiędzy wariantami doświadczenia. Z danych stacji meteorologicznej w Mnichowicach (oddalonej o około 55 kilometrów od powierzchni badawczej) wynika, że w roku poprzedzającym obserwacje (2015), zanotowano opady mniejsze o ponad 100 mm w porównaniu do lat 2014 i 2016 [Twardowski 2016]. Dęby prawdopodobnie ucierpiały z powodu długotrwałej suszy roku 2015, co mogło zaburzyć przebieg oceny aparatu asymilacyjnego i deformacji pędów w koronach. Poza tym silne osłabienie drzew mogło prowadzić do zamierania części drobnych korzeni, a w związku z tym do pogorszenia stanu ich koron, predysponując drzewa do ulegania wpływowi czynników biotycznych i/lub abiotycznych. Badany drzewostan w klasyfikacji Roloffa [1989, 2001] zakwalifikowano w ponad połowie do fazy degeneracji, czyli osłabienia drzew i spowolnienia wzrostu pędów bocznych (powstawania krótkopędów). Osłabienie pojedynczych drzew powoduje, że drzewostan dębowy staje się podatny na szkodniki wtórne i choroby. Do osłabienia drzew przyczyniają się również

wykryte w ryzosferze patogeny z rodzaju *Phytophthora*, które w efekcie uszkodzenia drobnych korzeni prowadzą do zachwiania gospodarki wodnej i utraty części listowia (Oszako, informacja ustna).

Poziom zmienności genetycznej drzew może również odgrywać kluczową rolę w procesie odporności na czynniki stresowe. Analiza zmienności chloroplastowego DNA w 9 drzewostanach dębowych z Płyty Krotoszyńskiej wykazała większy poziom zmienności genetycznej w drzewostanach lepiej przystosowanych do zmieniających się warunków środowiskowych, tj. suszy i wysokiej temperatury [Nowakowska i in. 2007].

Dęby znacznie zakwaszają środowisko poprzez opad liści, które zawierają kwasy fenolowe (Szulc, informacja ustna). Duża kwasowość wpływa bezpośrednio na wzmożoną aktywność glinu wymiennego, który wypiera inne kationy z kompleksu sorpcyjnego, zubożając glebę w składniki pokarmowe [Cieśla i in. 1993]. Degradacja siedlisk na skutek zwiększonej zawartości glinu wymiennego ogranicza rozwój korzeni i hamuje rozwój roślin, skutkując ich płytkim ukorzeniem [Mulder i in. 1989]. Analiza statystyczna wyników wykazała istotnie mniejsze zakwaszenie gleby w wariancie zabiegowym. Zawartość glinu wymiennego nie różniła się istotnie statystycznie, jednak porównując wartości średnie badanych grup, można odnotować mniejszy udział glinu wymiennego na powierzchni zabiegowej.

Jedną z postawionych hipotez badawczych było zbadanie wpływu stosowania fosforynów na parametry glebowe, które w sposób bezpośredni lub pośredni mogą oddziaływać na wzrost i rozwój drzew, takie jak np. zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie. Wyższy poziom potasu zanotowano w grupie kontrolnej, choć można było oczekiwać wyższej jego zawartości w glebie drzew zabiegowych opryskanych preparatem na bazie fosforynu potasu. Zawartość fosforu w obu wariantach doświadczenia nie różniła się istotnie. Można było oczekiwać wyższych zawartości fosforu przyswajalnego dla roślin na obiektach zabiegowych, na których stosowano ten pierwiastek w formie fosforynów. Brak tych różnic może być związany z bardzo niskim pH gleby w obu wariantach. W warunkach gleb silnie kwaśnych przyswajalne formy fosforu ulegają uwstecznieniu do niedostępnych dla roślin fosforanów glinu i żelaza [Sapek 2014].

W przypadku siarki siarczanowej istotnie niższe wartości odnotowano w glebie na powierzchni zabiegowej w porównaniu do powierzchni kontrolnej. Niższa zawartość siarki w glebie drzew zabiegowych może wynikać z procesu wiązania glinu przez aniony siarczanowe (SO_4^{2-}) w mniej toksyczne dla roślin nierozpuszczalne związki [Alva, Sumner 1991].

Istotna różnica zawartości miedzi między powierzchnią zabiegową a kontrolną może wynikać z procesu szybszego wiązania tego pierwiastka przez substancję organiczną w warunkach wyższego odczynu gleby [Cuske, Karczevska 2016]. Miedź bierze aktywny udział w procesie oddychania i fotosyntezy jako kofaktor oksydazy cytochromowej i plastocyaniny fotosytemu II, dlatego też niższa zawartość miedzi w glebie w wariancie zabiegowym może ograniczać intensywność fotosyntezy [Totey i in. 2002]. Z tego względu zawartość miedzi w glebie powinna być monitorowana.

Wyższa zawartość cynku w glebie na powierzchni zabiegowej w stosunku do powierzchni kontrolnej może wynikać z zastosowania nawozu Actifos, który zawiera cynk (0,02%) [Wojdyła 2015]. W przypadku pozostałych pierwiastków nie stwierdzono wpływu stosowania fosforynów na ich zawartość w glebie.

Wnioski

✦ Preparaty fosforynowe korzystnie wpływają na zdrowotność drzew, co przejawia się w lepszej kondycji drobnych korzeni, szczególnie w ich zwiększonej długości i liczbie wierzchołków.

- ♣ Drzewa, które są w stanie wytworzyć większą liczbę drobnych korzeni, mają większe szanse przeżycia, ponieważ będą dłużej stawiać opór czynnikom abiotycznym (np. suszy) czy biotycznym (np. uszkadzającym korzenie patogenom z rodzaju *Phytophthora*).
- ♣ Zabiegi oprysku drzew fosforinami korzystnie wpłynęły na niektóre właściwości chemiczne gleb, dzięki podwyższeniu pH gleby i obniżeniu wartości kwasowości hydrolytycznej, co korzystnie wpływa na możliwości pobierania niektórych pierwiastków z gleby.

Podziękowania

Autorzy dziękują Nadleśnictwu Krotoszyn (RDLP Poznań) za udostępnienie drzewostanu dębowego do badań oraz za finansowanie badań w ramach Projektu Life HESOFF przez KE i NFOSiGW.

Literatura

- Alva A. K., Sumner M. E. 1991. Characterization of phytotoxic aluminum in soil solutions from phosphogypsum amended soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 57: 121-130.
- Białobok S. 1991. Lipy. Nasze drzewa leśne. T. 15. Instytut Dendrologii PAN.
- Ciesła W., Zalewski W., Kucharski J., Dąbkowska-Naskręt H., Jaworska H. 1993. Zawartość metali ciężkich w glebie i kupkowiec pospolitej w trzecim roku po zastosowaniu osadów ściekowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 409: 43-50.
- Cuske M., Karczewska A. 2016. Wpływ materii organicznej na zmiany rozpuszczalności metali ciężkich w glebach zanieczyszczonych w świetle literatury. Uniwersytet Zielonogórski, *Zeszyty Naukowe* 162: 39-59.
- Darvas J. M., Toerien J. C., Milne D. L. 1984. Control of avocado root rot by trunk injection with phosphethyl-Al. *Plant Disease* 68: 691-693.
- Delatour C. 1983. Les dépérissements de chênes en Europe. *Rev. For. Fr.* 35: 265-282.
- Dmyterko E. 1998. Metody określania uszkodzeń drzewostanów dębowych. *Sylvan* 142 (10): 29-38.
- Erwin D. C., Ribeiro O. K. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press St. Paul, Minnesota.
- Förster H., Adaskaveg J. E., Kim D. H., Stanghellini M. E. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Disease* 82 (10): 1165-1170.
- Guest D. I., Bompeix G. 1990. The complex mode of action of phosphonates. *Australasian Plant Pathology* 19: 113-115.
- Le Roux H. F. 2000. Physiological interactions of phosphorus acid and control of root pathogens. *Proceedings of the International Citriculture IX Congress* 2: 926-928.
- Mulder J., Van Breemen N., Eijck H. C. 1989. Depletion of soil aluminium by acid deposition and implications for acid neutralization. *Nature* 337: 247-249.
- Müller E., Stierlin H. R. 1990. Sansilva Kronenbilder mit Nadel- und Blattverlustprozenten. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- Nowakowska J. A., Oszako T., Bieniek J., Rakowski K. 2007. Genetic characterization in relation to the health state of oak populations in the Elblaski and Krotoszynski regions of Poland. *Leś. Pr. Bad.* 3: 33-51.
- Orlikowski L., Oszako T. 2009. Fytoftorozy w szkółkach i drzewostanach leśnych. CILP, Bedoń.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Oszako T., Kubiak K., Tkaczyk M. 2013. Fosforiny i monitoring lotniczy – przeciw fytoftorozom. *Las Polski* 20: 10-11.
- Pegg K. G., Whiley A. W., Langdon P. W., Saranah J. B. 1987. Comparison of fosetyl-Al, phosphorous acid and metalaxyl for the long-term control of *Phytophthora* root rot of avocado. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 27: 471-474.
- Pudlis E. 2011. Na wojnę z fytoftorą. *Echa Leśne* 11: 13-15.
- Roloff A. 1989. Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Frankfurt am Main.
- Roloff A. 2001. Baumkronen. Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- Sapek B. 2014. Nagromadzenie i uwalnianie fosforu w glebach – źródła, procesy, przyczyny. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 14: 77-100.
- Schutte G. C., Bezuidenhout J. J., Kotze J. M. 1991. Timing of application of phosphonate fungicides using different application methods as determined by means of gas-liquid chromatography for *Phytophthora* root rot control of citrus. *Phytophylactica* 23: 69-71.

- Shearer B. L., Crane C. E., Cochrane A. 2004. Quantification of the susceptibility of the native flora of the south-west botanical province, Western Australia, to *Phytophthora cinnamomi*. Australian Journal of Botany 52: 435-443.
- Shearer B. L., Fairman R. G., Grant M. J. 2006. Effective concentration of phosphite in controlling *Phytophthora cinnamomi* following stem injection of *Banksia* species and *Eucalyptus marginata*. Forest Pathology 36: 119-135.
- Szychowiak W. 2002. Dąbrowy krotoszyńskie – historia gospodarki leśnej. Przegląd Leśniczy 1: 19-21.
- Tkaczyk M., Kubiak K., Sawicki J., Nowakowska J., Oszako T. 2016. Wykorzystanie związków fosforynowych w leśnictwie. Leś. Pr. Bad. 77 (1): 76-81.
- Tkaczyk M., Nowakowska J., Oszako T. 2014. Nawozy fosforynowe jako stymulatory wzrostu roślin w szkółkach leśnych. Sylwan 158 (1): 3-9.
- Tottey S., Rondet S. A., Borrelly G. P., Robinson P. J., Rich P. R., Robinson N. J. 2002. A copper metallochaperone for photosynthesis and respiration reveals metal-specific targets, interaction with an importer, and alternative sites for copper acquisition. Journal of Biological Chemistry 277 (7): 5490-5497.
- Twardowski P. 2016. Rozkład miesięcznych i rocznych sum opadów w latach 2013-2016 (podsumowanie i aktualizacja danych z polowej stacji meteorologicznej w Mnichowicach). <http://www.wodr.poznan.pl/powiaty/powiaty-c-k/zespol-doradczy-w-kepiskim/item/6778-rozklad-miesiecznych-i-rocznych-sum-opadow-w-latach-2013-2016-podsumowanie-i-aktualizacja-danych-z-polowej-stacji-meteorologicznej-w-mnichowicach>. Data dostępu: 28.01.2018.
- Wieczorek W., Orlikowski L., Świętosławski J., Ptaszek M. 2010. Nowy fosforyn do ochrony roślin ozdobnych przed gatunkami *Phytophthora*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 554: 277-283.
- Wojdyła A. 2015. Actifos – nawóz do ochrony róż przed mączniakiem prawdziwym i czarną plamistością liści. Innowacyjne technologie dla polskiego ogrodnictwa. Ogólnopolska konferencja upowszechnieniowo-wdrożeniowa. CBR Warszawa 23.04.2015.
- Yamada T., Hashimoto H., Shiraishi T., Oku H. 1989. Suppression of pisatin, phenylalanine ammonia-lyase mRNA, and chalcone synthase mRNA accumulation by a putative pathogenicity factor from the fungus *Mycosphaerella pinodes*. Molecular Plant-Microbe Interaction 2 (5): 256-261.