

Poziom chlorofilu a i b w liściach krzewów podszytowych w grabowo-dębowych lasach lasostepu Ukrainy Zachodniej

The content of chlorophyll a and chlorophyll b in leaves of undergrowth species in hornbeam-oak forest stands of the forest-steppe zone in Western Ukraine

Volodymyr Zaïka¹, Taras Bondarenko^{2*}

¹Ukrainian National Forestry University, Generala Chuprynky 103, Lviv 79057, Ukraina;

²Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Pl. M. Curie-Skłodowskiej 5, 20-031 Lublin

*Tel. +48 81 5375100, e-mail: bondarenko.lw@gmail.com

Abstract. In this study, the biosynthesis of the plastid pigments chlorophyll a and b was examined for the most common shrubs in hornbeam-oak forest stands of the Western forest-steppe zone of Ukraine. The characteristics of the pigments' biosynthesis were determined in terms of plant species, vegetation period and growth conditions (under canopy cover and out in the open). The gathered data on the changes of the pigment complex with respect to the examined variables confirms the sensitivity of plastid pigment biosynthesis to environmental factors.

Keywords: shrubs, plastid pigments, chlorophyll a, chlorophyll b, hornbeam-oak forest stands, forest-steppe zone of western Ukraine

1. Wstęp

Podszyt, jako element drzewostanu, odgrywa ważną rolę w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych, zwłaszcza przy tworzeniu miejsc zamieszkania leśnych ptaków i zwierząt, regulacji procesów mikroklimatycznych i mikrobiologicznych w glebie (Kozłowski 2013), ulepszaniu fizycznych właściwości gleby (Bondarenko, Marutak 2012). Niewiele jest badań dotyczących wpływu podszytu na produktywność drzewostanów. W naszych badaniach wykazano, iż w grabowo-dębowych drzewostanach strefy lasostepu zachodniej Ukrainy, podszyt nie jest obfity, a jego udział kształtuje się na poziomie od pojedynczych egzemplarzy do 10–30% (Bondarenko 2013). Wynika to z faktu niedoceniań roli podszytu w procesie zarządzania gospodarką leśną.

W warunkach grabowo-dębowych drzewostanów strefy lasostepu zachodniej Ukrainy w podszytce występują: głóg jednoszyjkowy (*Crataegus monogyna* Jack.), róża dzika (*Rosa canina* L.), dereń świdwa (*Cornus sanguinea* L.), trzmielina zwyczajna (*Euonymus europea* L.), leszczyna pospolita (*Corylus avellana* L.), trzmielina brodawkowata (*Euonymus verrucosa* Scop.), bez czarny (*Sambucus nigra* L.), ligustr pospolity (*Ligustrum vulgare* L.), kruszyna pospolita (*Fragula alnus* Mill.), szakłak pospolity (*Rhamnus cathartica* L.),

śliwa tarnina (*Prunus spinosa* L.), kalina koralowa (*Viburnum opulus* L.), pęcherznica kalinolistna (*Physocarpus opulifolius* Maxim.), wiciokrzew suchodrzew (*Lonicera xylosteum* L.).

Fotosynteza jest kluczowym elementem systemu metabolizmu, zapewniając wzrost i rozwój roślin zgodnie z programem genetycznym. W procesie fotosyntezy energia świetlna transformuje się w energię wiązań chemicznych.

Aktywność fotosyntezy w dużym stopniu zależy od plastydów roślin. Zmiany w strukturze plastydów oddziałują na intensywność fotosyntezy, poziom metabolizmu, intensywność procesów wzrostu i rozwoju roślin (Kučerjavij 2001). Zawartość plastydów w liściach odzwierciedla ogólną kondycję roślin.

Celem prezentowanych badań było określenie zawartości chlorofilu a i b w listowiu krzewów leśnych na otwartej przestrzeni i pod okapem drzewostanu w różnych sezonach wegetacyjnych w lasostepie zachodniej Ukrainy. Zawartości chlorofilu a i b w liściach krzewów podszytowych występujących w lasostepie zachodniej Ukrainy dotychczas nie badano.

U roślin biosynteza plastydów jest pod kontrolą struktur genetycznych, ale także zależy od czynników zewnętrznych. U roślin, które rosną na otwartej przestrzeni i nie podlegają zacienieniu przez okap drzewostanu, ilość zielonych i żółtych pigmentów jest uwarunkowana genetycznie

Wpłynęło: 25.05.2017 r., recenzowano: 18.09.2017 r., zaakceptowano: 8.12.2017 r.

w zależności od gatunku (Margailik 1963; Nesterovič, Margailik 1969; Celniker 1982; Novikova 1985; Krynytskyi 1993). Spośród wielu czynników zewnętrznych, które mają wpływ na tworzenie plastydów, najważniejsze są: intensywność światła, temperatura środowiska i substancje mineralne (Veretennikov 1987).

Chloroplasty roślin są wrażliwe na zmiany intensywności światła. Według badaczy zacinienie roślin prowadzi do wzrostu zawartości chlorofilu i karotenoidów w liściach (Margailik 1963; Nesterovič, Margailik 1969). Znaczące zmniejszenie ilości chloroplastów w liściach wskazuje na pogorszenie ich stanu, co powoduje naruszenia w procesach wzrostu i rozwoju roślin.

Biosynteza chloroplastów zależy nie tylko od intensywności światła, ale także od jego charakterystyk spektralnych. Chlorofil a znacznie lepiej wchłania daleką podczerwień, natomiast chlorofil b – bliską podczerwień (Veretennikov 1987). Gdy pod okapem lasu przeważa daleka podczerwień intensyfikuje się biosynteza chlorofilu a, w przypadku gdy przeważa bliska podczerwień intensyfikuje się biosynteza chlorofilu b.

Naukowcy dużo uwagi poświęcili roli barwników fotosyntetycznych przy tworzeniu biomasy różnych gatunków drzew (Zaïka et al. 2010; Kenz'ora et al. 2010, 2012; Terelâ et al. 2014) i ustalili wyraźną tendencję akumulacji masy barwników fotosyntetycznych sosny, dębu, buka, klonu, modrzewia i świerka rosnących w lasach plantacyjnych na ukraińskim Roztoczu. Autorzy ci określili również zależność pomiędzy formowaniem fitomasy drzew a masą barwników fotosyntetycznych. Szczegóły gromadzenia barwników fotosyntetycznych w drzewostanach sosnowych zakażonych patogenami ustalili Derevânčuk i Zaïka (2011), w drzewostanach sosnowych różnych kategorii selekcyjnych – Dan'kevič i in. (2014), Zaïka i in. (2010), a w odniesieniu do młodych drzew pod okapem drzewostanu – Zaïka i Dereh (2014).

Ze względu na to, iż kwestie stanu podszytu i jego odporności oraz reagowania na zmianę warunków środowiskowych pod okapem drzewostanu, a szczególnie formowania chloroplastów oraz reakcji na zacinienie, są niedostatecznie

zbadane, ten kierunek badań pozostaje aktualny. Przeprowadzone badania dają możliwość ustalenia amplitudy reakcji ekologicznych gatunków podszytowych na podstawie zawartości chlorofilu a i b oraz możliwości ich wykorzystania w gospodarce leśnej.

2. Obiekt i metodyka badań

W warunkach świeżych grądów w lasostepie zachodniej Ukrainy zazwyczaj formują się drzewostany o złożonej, wielopoziomowej strukturze, składającej się z 2 lub 3 warstw roślinności drzewiastej. Pierwsza warstwa zbudowana jest najczęściej z dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.), buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.), jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.), drugą warstwę tworzą: grab zwyczajny (*Carpinus betulus* L.), lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.) i klon pospolity (*Acer platanoides* L.). Pod okap takiego drzewostanu trafia nie więcej niż 1% światła, które jest głównym czynnikiem występowania i rozwoju gatunków podszytowych. Główne elementy taksacyjne drzewostanu zaczerpnięto z opisu taksacyjnego rezerwatu Medobory (Materiali...2007), natomiast zwarcie drzewostanu w sekcji badawczej oszacowano.

Sekcja badawcza znajduje się w dojrzewającym 75-letnim drzewostanie o umiarkowanym zwarcie (tab. 1). W składzie dominuje jesion wyniosły, który razem z bukiem zwyczajnym i klonem pospolitym charakteryzują się wysoką intensywnością wzrostu. Osiągają one wysokość 26,8–29,1 m, a pierśnica 26,2–36,4 cm. Dąb szypułkowy jest od nich niższy. Podszyt składa się z leszczyny pospolitej, trzmieliny zwyczajnej, trzmieliny brodawkowatej, bzu czarnego, kruszyny pospolitej i derenia świdwy.

Rośliny rosną na otwartej przestrzeni na stokach i u podnóża góry Gostra, gdzie dominują krzewy: głóg jednoszyjkowy, róża dzika, leszczyna pospolita, śliwa tarnina, trzmielina zwyczajna, dereń świdwa, bez czarny, trzmielina brodawkowata, kruszyna pospolita, kalina koralowa, pęcherznica kalinolistna, szakłak pospolity.

Tabela 1. Główne elementy taksacyjne drzewostanu w sekcji badawczej

Table 1. Forest inventory indices of the forest stands in the section of the study area

| Sekcja Section | Skład drzewostanu Stand composition | Gatunek Species | Wiek [lata] Age [years] | Średnia Average | | Zwarcie drzewostanu Canopy density | Zapas Volume [m ³ /ha] |
|-------------------|--|--------------------|----------------------------------|-----------------------|-------|--|---|
| | | | | Pierśnica Dbh [cm] | H [m] | | |
| 1 | 4Js1Dbsz2 Kl2Gb 1Bk | Js4 | 75 | 26,2 | 27,2 | umiarkowane middle | 276 |
| | | Dbsz1 | 75 | 22,8 | 23,8 | | |
| | | Kl2Gb2 | 75 | 36,4 | 29,1 | | |
| | | Bk1 | 75 | 30,5 | 26,8 | | |
| | | | 70 | 20,7 | 20,8 | | |

Gb – grab zwyczajny (*Carpinus betulus*), Js – jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior*), Dbsz – dąb szypułkowy (*Quercus robur*), Bk – buk zwyczajny (*Fagus sylvatica*), Kl – klon pospolity (*Acer platanoides*)

Badania zawartości chlorofilu w liściach krzewów podszytowych przeprowadzono w regionie Tarnopola w rezerwacie Medobory (leśnictwo Viknianskie), w podszybie grądów w lasostepie zachodniej Ukrainy. Zbadano następujące gatunki krzewów: głóg jednoszyjkowy, różę dziką, dereń świdwę, trzmielinę zwyczajną, leszczynę pospolitą, trzmielinę brodawkowatą, bez czarny, ligustr pospolity, kruszynę pospolitą, szakłak pospolity, śliwę tarninę, kalinę koralową, pęcherznicę kalinolistną, wiciokrzew suchodrzew.

Badania przeprowadzono w latach 2010–2012 w różnych okresach sezonu wegetacyjnego (od maja do września) pod okapem drzewostanu i na otwartej przestrzeni.

Liście do mierzenia zawartości chlorofilu a i b zostały pobrane z 5–10 drzew każdego gatunku z górnej części korony. Zawartość chlorofilu a i b zmierzono metodą Brayona i in. (1995) i Gusejevej (1982). Według tej metody 100 mg liści rozdrobniono do jednorodnej masy i ekstrahowano w 96% alkoholu metodą Wintermansa i DeMotsa. Ekstrakt filtrowano przez filtr Schottiego.

Gęstość optyczną otrzymanego ekstraktu zmierzono przy długości fali 440,5, 649 i 665 nm aparatem FEK KFK-3. Koncentrację chlorofilu (C) obliczano za pomocą formuły Wintermansa: $C_a = 13,70 \times D_{665} - 5,76 \times D_{649}$ (mg/l), $C_b = 25,80 \times D_{649} - 7,60 \times D_{665}$ (mg/l). Zawartość chlorofilu (A) obliczano według wzoru:

$$A = \frac{CV}{P \cdot 1000}$$

gdzie:

A – zawartość chlorofilu a i b w materiale roślinnym (mg/g wilgotnej masy),

V – pojemność ekstraktu chloroplastów (mg/l),

P – waga materiału roślinnego (g),

C – koncentracja chlorofilu (mg/l).

Wyniki pomiaru ilościowego zawartości plastydów w zależności od warunków środowiska charakteryzują aparat fotosyntetyczny krzewów podszytowych. Średnia liczba powtórzeń wyniosła 3.

3. Wyniki badań

Wyniki badań zawartości chlorofilu a i b w liściach krzewów w różnych częściach okresu wegetacyjnego podano na rycinie 1.

Wyniki pomiarów wskazują, że krzewy podszytowe charakteryzują się dużym międzygatunkowym różnicowaniem zawartości chlorofilu i reakcji na zmiany intensywności oświetlenia w różnych częściach okresu wegetacyjnego. W okresie od końca maja do początku czerwca najwyższym genetycznie uwarunkowanym poziomem biosyntezy chlorofilu charakteryzowała się dzika róża (1,197–1,626 mg/g wilgotnej masy), trzmielina brodawkowata (2,513 mg/g) i kruszyna pospolita (1,700 mg/g).

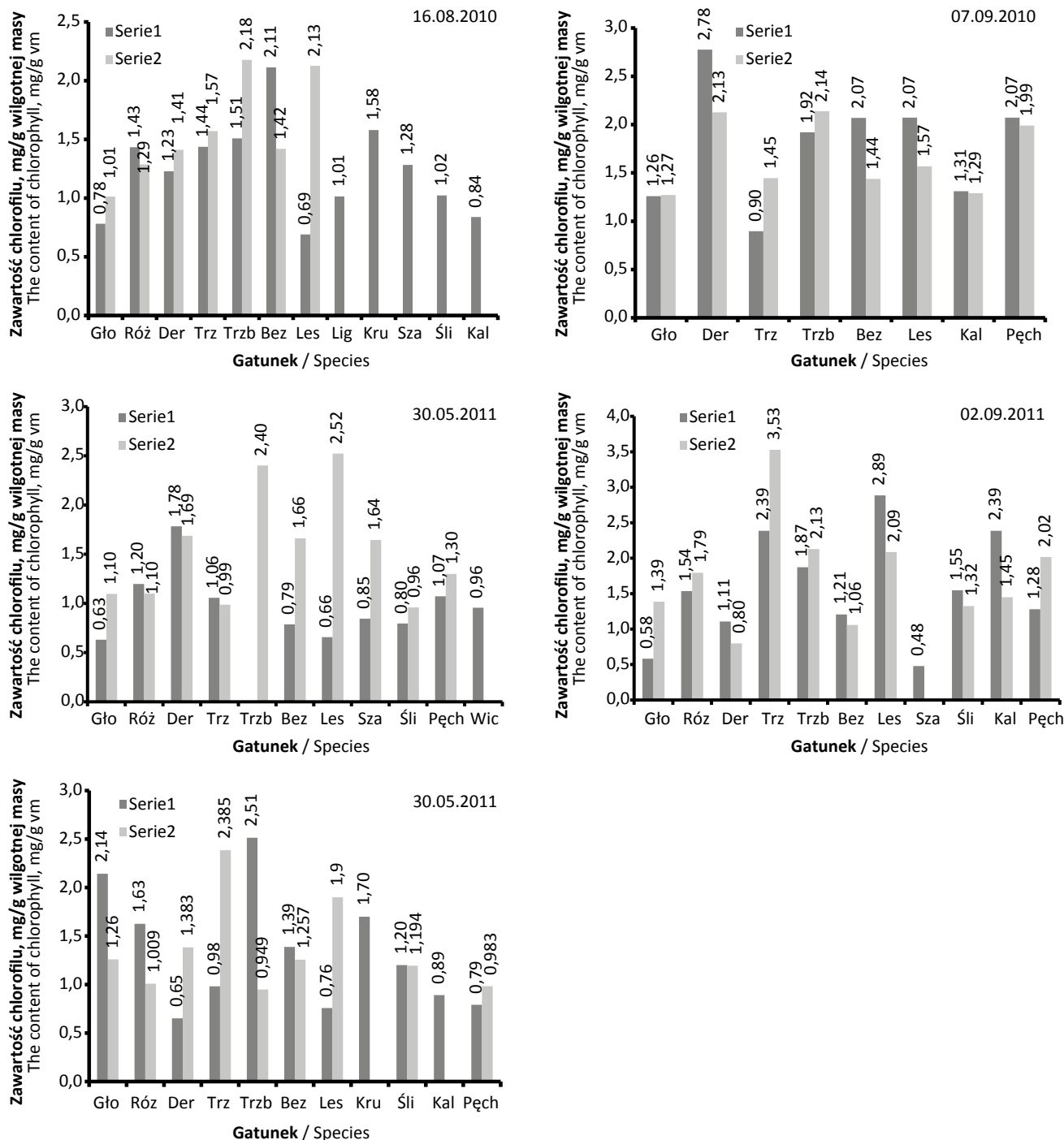
Wartości wskaźników dla niektórych gatunków znacznie się różnią w poszczególnych latach obserwacji. W liściach głogu jednoszyjkowego zawartość chlorofilu waha się od

0,631 do 2,142 mg/g, derenia świdwy – 0,652–1,783, bzu czarnego – 0,787–1,388, śliwy tarniny – 0,796–1,201. Takie różnice wartości wskaźników u tych gatunków świadczą o różnym tempie wegetacji i wzrostu liści jako reakcji na wpływ czynników klimatycznych. Na otwartej przestrzeni stosunkowo małym stężeniem chlorofilu na początku okresu wegetacyjnego charakteryzowały się leszczyna pospolita (0,656–0,758), szakłak pospolity (0,845) i pęcherznica kalinolistna (0,792–1,072).

Na początkowym etapie wzrostu i formowania liście są szczególnie wrażliwe na dostępność światła, jednakże reakcja ta ma specyfikę gatunkową, spowodowaną różnym zapotrzebowaniem na światło przez poszczególne gatunki. Badania autorów artykułu wskazują, że przy zmniejszeniu intensywności oświetlenia zmiany w biosyntezie chlorofilu przebiegają w różny sposób, w zależności od gatunku krzewów. U niektórych gatunków następuje wzrost zawartości chlorofilu w aparacie asymilacyjnym, natomiast u innych – redukcja. Pod okapem drzewostanu istotnym wzrostem zawartości chlorofilu charakteryzowała się leszczyna pospolita (2,5–3,8 razy) i pęcherznica kalinolistna (o 21,3–24,1%). W liściach dzikiej róży rosnącej pod okapem drzewostanu zawartość chlorofilu okazała się o 8,2–37,9% mniejsza niż na otwartej przestrzeni. W przypadku innych gatunków podszytowych wpływ intensywności światła na biosyntezę chlorofilu w pierwszej połowie okresu wegetacji nie był wyraźny. W końcu maja 2011 r. w liściach trzmieliny zwyczajnej i derenia świdwy rosnących pod okapem lasu obserwowano niewielki spadek zawartości chlorofilu (o 5,4–6,3%), a na początku czerwca 2012 r. jego zawartość była 2,1–2,4 razy większa niż na otwartej przestrzeni. Według opinii autorów wynika to z różnicy w rozrastaniu się liści gatunków tworzących okap, bowiem wraz ze wzrostem ich gęstości zmniejszała się przepuszczalność światła przez okap lasu. W czerwcu 2012 r. warunki świetlne pod okapem lasu nie były sprzyjające dla krzewów podszytowych. Obserwowana redukcja stężenia chlorofilu w liściach róży dzikiej i bzu czarnego mogła być spowodowana procesami destrukcji, które mają indywidualny gatunkowy charakter.

Wpływ okapu lasu na biosyntezę chlorofilu obserwowano także w innych częściach sezonu wegetacyjnego. W drugiej jego połowie (sierpień) odnotowano znaczący lub istotny wzrost stężenia chlorofilu w liściach przeważającej liczby gatunków podszytowych pod okapem lasu. W tym okresie największą zmienność koncentracji chlorofilu w krzewach rosnących na otwartej przestrzeni i pod okapem drzewostanu obserwowano w przypadku leszczyny pospolitej (3,1 razy) i trzmieliny brodawkowatej (2,1 razy). U trzmieliny zwyczajnej i głogu jednoszyjkowego te różnice wynosiły 9,3–29,7%. U róży dzikiej i bzu czarnego, podobnie jak w pierwszej połowie okresu wegetacji, nastąpił spadek zawartości chlorofilu pod okapem lasu o 10,3–32,8% w porównaniu z otwartą przestrzenią.

Pod koniec okresu wegetacji najbardziej widoczne były wpływy czynników mikroklimatycznych na procesy akumulacji chlorofilu. U większości badanych krzewów liście szybciej traciły swoje właściwości funkcjonalne pod okapem lasu



Rycina 1. Zawartość chlorofilu a i b w liściach krzewów podszytowych w różnych okresach wegetacyjnych [mg/g]

Figure 1. The content of chlorophyll a and b in leaves of undergrowth species in different growing periods [mg/g]

Objaśnienie / Explanation:

Łączna zawartość chlorofilu a i b w liściach gatunków podszytowych / Total content of chlorophyll a and b in leaves of undergrowth species:

Serie 1 – Gatunki rosnące na otwartej przestrzeni / Species growing in the open air

Serie 2 – Gatunki rosnące pod okapem drzewostanu / Species growing under the canopy

Gło – głóg jednoszyjkowy (*Crataegus monogyna* Jack.),

Róż – róża dzika (*Rosa canina* L.),

Der – dereń szwidwa (*Cornus sanguinea* L.),

Trz – trzmielina zwyczajna (*Euonymus europea* L.),

Les – leszczyna pospolita (*Corylus avellana* L.),

Trzb – trzmielina brodawkowata (*Euonymus verrucosa* Scop.),

Bez – bez czarny (*Sambucus nigra* L.),

Lig – ligustr pospolity (*Ligustrum vulgare* L.),

Kru – kruszyna pospolita (*Frangula alnus* Mill.),

Sza – szakłak pospolity (*Rhamnus cathartica* L.),

Śli – śliwa tarnina (*Prunus spinosa* L.),

Kal – kalina koralowa (*Viburnum opulus* L.),

Pęch – pęcherznica kalinolistna (*Physocarpus opulifolius* Maxim.),

Wic – wiciokrzew suchodrzew (*Lonicera xylosteum* L.).

niż na otwartej przestrzeni. U derenia świdwy, leszczyny pospolitej, śliwy tarniny, bzu czarnego i kaliny koralowej obserwowano zmniejszenie zawartości chlorofilu pod okapem lasu o 1,6–39,3%. Tylko głóg jednoszyjkowy, trzmielina zwyczajna i brodawkowata oraz pęcherznica kalinolista zachowały wyższą zawartość chlorofilu pod okapem lasu w porównaniu z terenem otwartym.

Według Gûbbeneta (1951) istotnym czynnikiem, który charakteryzuje wpływ warunków świetlnych na biosyntezę barwników fotosyntetycznych, jest stosunek obu typów chlorofilu. Twierdzi on, że przy niewystarczającej intensywności oświetlenia zwiększa się synteza chlorofilu b i karotenoidów, które są plastydami cieni. Nasze wyniki wskazują niektóre zjawiska wynikające z natury biosyntezy chlorofilu a i b. U większości gatunków podszytowych rosnących pod okapem lasu stosunek chlorofilu a do chlorofilu b w pierwszej połowie okresu wegetacji wzrasta od kilku procent do 2,3 razy. Na początku formowania liści, w warunkach zadrzewienia pod okapem lasu, biosynteza chlorofilu a jest bardziej intensywna niż na skraju lasu. Jednak w drugiej połowie okresu wegetacji, gdy liście są w pełni uformowane, w warunkach zadrzewienia pod okapem lasu wzmacnia się rola chlorofilu b. Pod okapem lasu stosunek chlorofilu a do chlorofilu b u przeważającej liczby gatunków zmniejsza się do 66,5%, a u pojedynczych gatunków krzewów – wzrasta lub pozostaje na tym samym poziomie jak na skraju lasu.

4. Wnioski

Obserwowane różnice w biosyntezie chlorofilu a i b u krzewów podszytowych w różnej fazie okresu wegetacyjnego wskazują na zmiany w absorpcji światła słonecznego, co zapewnia przetrwanie w warunkach słabego oświetlenia.

Najlepszymi zdolnościami adaptacyjnymi do warunków zacienienia charakteryzują się leszczyna pospolita, bez czarnej i pęcherznica kalinolistna, u których koncentracja chlorofilu pod okapem drzewostanu znacznie wzrasta w porównaniu z koncentracją pod okapem lasu.

Krzewy pod okapem lasu wykazują znaczny wzrost biosyntezy chlorofilu b, co wskazuje na zmiany w pochłanianiu światła przez gatunki podszytowe i zwiększenie pochłaniania przez nie promieniowania podczerwonego.

Zmiany w kompleksie chloroplastów badanych gatunków krzewów odzwierciedlają zdolności adaptacyjne roślin do warunków oświetlenia środowiska i są główną przyczyną inaktywacji fotosyntezy oraz wskazują na wrażliwość tego systemu na wpływ czynników środowiskowych. Badania wykazały dostosowanie organów asymilacyjnych roślin do intensywności światła, a zatem do warunków środowiskowych.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań

Badania zrealizowano we własnym zakresie.

Literatura

- Bondarenko T. 2013. Lisivničo-ekologična rol' pidlisku v grabovih dibrovah Zahidnogo Lisostepu, NLTU, L'viv.
- Bondarenko T., Maruták S. 2012. Vpliv pidliskovih čagarnikiv na fiziko-himični charakteristiki sirogo lisovogo ġuntu. Materiali konferencii NLTU, L'viv, 12–13 s.
- Brajon O., Čikalenko V., Slavnij P., Musiënko M. 1995. Fiziologiâ Rošlin. Kiïv, Viša Škola, 191 s.
- Cel'niker Ū., Osipova O., Novikova M. 1982. Fiziologičeskie aspekty adaptacii list'ev k usloviâm osvešeniâ, w: Fiziologiâ fotosinteza. Moskva, Nauka, 187–203.
- Dan'kevič S., Zaïka V., Krinic'kij G. 2014. Biosintez plastidnih pigmentiv hvoï u derev sosni zvičajnoï riznih selekcijnih kategorij v zakazniku „Lopatins'kij”, w: Praci naukovogo tovaristva im. Ševčenka: Ekologičnij zbirnik „Sučasni problemi doslidžennâ ta zberežennâ biorozmaïttâ”. T. 39. L'viv, 204–209 s. ISBN 1563-7863.
- Derevânčuk Ū., Zaïka V. 2011. Morfofiziologičnareakciâ derev sosni zvičajnoï uraženih open'kom. *Naukovij visnik NLTU Ukraïni* 21(9): 18–24. ISSN 2519-2477.
- Gil W. 2010. Krzewy w gospodarce leśnej. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 207 s. ISBN 9788309990260.
- Guseva M. 1982. Malyj praktikum po fiziologii rasteńij. Moskva, MGU, 192 s.
- Gûbbenet E. 1951. Rasteńiâ i chlorofil. Leningrad, AN SSS, 246 s.
- Kenz'ora N. 2012. Morfofiziologični osoblivosti formuvannâ fitomasi duba zvičajnogo v lisovih kul'turach riznih tipiv lisu L'viv's'kogo Roztoččâ. *Naukovij visnik NLTU Ukraïni* 22(11): 47–54. ISSN 2519-2477.
- Kenz'ora N., Zaïka V. 2010. Nagromadžennâ fitomasi i zoł'nih elementiv derevami hvojnih porid u lisovih kul'turach L'viv's'kogo Roztoččâ. *Naukovij visnik NLTU Ukraïni* 20(8): 38–44. ISSN 2519-2477.
- Kenz'ora N., Zaïka V., Terelâ Ī. 2012. Deâki morfofiziologični aspekti biologičnoï produktivnosti lisovih kul'tur v umovah svižoï grabovo-sosnovoï sudibrovi Roztoččâ. *Naukovij visnik Užgorods'kogo Universitetu* 33: 75–80. ISSN 2075-0846.
- Kozłows'kij M., Bondarenko T. 2013. Undergrowth effect for the formation of soil nematodes groups in hornbeam oak woods. *Naukovij visnik NLTU Ukraïni* 23(2): 15–23.
- Krinič'kij G. 1993. Morfofiziologični osnovi selekcii derevnih rošlin. Avtoreferat dis. dokt. biol. Nauk. Ukraïns'kij Deržavnij Agrarnij Universitet, Kiïv.
- Kučerâvij V. 2001. Urboekologiâ. L'viv, Svit, 500 s. ISBN 5-7773-0889-9.
- Margajlik G. 1963. Anatomičnyâ asablivasci liscâu âk pakazčyki svetâlûbivasci radlin. Vesci AN BSSR, ser. biâl. Nauk, Minsk, 4, 19–27.
- Materiali lisovoporâdkuvannâ zapovidnika Medobori. 2007. Viknâns'ke lisnictvo, Ternopil'.
- Nesterovič N., Margajlik G. 1969. Vliânie sveta na drevesnye rasteńiâ. Minsk, Nauka i Tehnika, 175 s.
- Novikova A. 1985. Rost i razvitie drevesnyh rasteńij v zavisimosti ot svetovogo režima. Minsk, Nauka i Tehnika, 95 s.

- Terelá Ī., Kenz'ora N., Zaïka V. 2014. Struktura fitomasi derev hvojnih porid ta fiziologo-biohimični osoblivosti ĩ formuvanná. *Naukovì pracì Lisivničoi akademii nauk Ukraïni: zbiornik naukovih prac'* 12: 44–51. ISSN 1991-606X.
- Veretennikov A. 1987. Fiziologiá rastenij s osnovami biohimii. Voronež, Izd-vo VGU, 256 s.
- Zaïka V., Romanúk V., Kravčuk V. 2010. Vmìst plastidnih pigmentiv u hvoi plúsovih derev sosni zvičajnoi v umovah Zahidnogo Polissá. *Naukovij visnik NLTU Ukraïni* 20(8): 53–57. ISSN 2519-2477.

- Zaïka V., Dereh O. 2014. Vmìst plastidnih pigmentiv u pidrostat buka i duba na dilánkah riznih stadij digresij zelenoi zoni L'vova. *Nukovij visnik NLTU Ukraïni* 24(3): 9–17. ISSN 2519-2477.

Wkład autorów

- V.Z. – koncepcja, metodyka, opracowanie statystyczne;
T.B. – pomiary, przegląd literatury, pisanie, korekta.