

KRZYSZTOF MICHAŁEC, ANNA BARSZCZ, RADOŚLAW WĄSIK

Wpływ zanieczyszczeń przemysłowych na zawartość olejków eterycznych i witaminy C w cetynie i igliwiu sosny zwyczajnej

Influence of industrial pollution on the content of essential oils and vitamin C in twigs and needles of Scots pine

ABSTRACT

Michalec K., Barszcz A., Wąsik R. 2015. Wpływ zanieczyszczeń przemysłowych na zawartość olejków eterycznych i witaminy C w cetynie i igliwiu sosny zwyczajnej. Sylwan 159 (6): 516-522.

The paper concerns the impact of air pollution on the content of essential oils in Scots pine twigs and vitamin C in Scots pine needles. The material used for examination of essential oils content was obtained from two locations: area within the former Aluminium Smelter in Skawina, the other sample was collected in the territory of Rudnik Forest District (southern Poland). Cetine was obtained manually from standing or felled trees. Essential oils content was determined by means of Deryng apparatus. The material used for examination of vitamin C content came from three locations: Chrzanów Forest District, Dąbrowa Tarnowska Forest District and the Special Economic Zone located in the area of Mielec Forest District (southern Poland). Vitamin C content in pine needles was determined by Tillman method. The content of essential oils in pine twigs in stands under smaller influence of air pollution was nearly twice the amount in twigs coming from stands under greater influence of this factor. In less polluted stands the content of essential oils in twigs increased as they grew older, whereas, in stands being more exposed to industrial influence the opposite tendency was observed. We recorded that the amount of vitamin C in pine needles coming from stands under greater influence of industry was by ca. 30% smaller than in the material collected from stands less affected by industrial pollution. In both groups of the stands, the highest content of vitamin C was detected in needles from the youngest (age class I) as well as the oldest (age class V) stands. The content of essential oils in twigs as well as vitamin C in pine needles may be considered as the indicator of the environmental pollution degree.

KEY WORDS

Tillman method, Deryng method, active substances, zones of industrial damages

ADDRESSES

Krzysztof Michalec – e-mail: k.michalec@ur.krakow.pl

Anna Barszcz – e-mail: rlbarszc@cyf-kr.edu.pl

Radosław Wąsik – e-mail: rlwasik@cyf-kr.edu.pl

Zakład Użytkowania Lasu i Drewna, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

Olejki eteryczne pozyskuje się na szeroką skalę ze świeżych lub suszonych roślin, np. w przypadku sosny z cetyny lub igliwia. Podstawowym odbiorcą olejków jest przemysł perfumeryjno-

-kosmetyczny. Rola naturalnych olejków eterycznych, pomimo rozwoju przemysłu chemicznego wytwarzającego kosmetyki syntetyczne, nie maleje. Wraz ze wzrostem zamożności społeczeństwa rośnie chęć stosowania naturalnych produktów. Dotyczy to również olejków eterycznych pochodzenia naturalnego, których dodatek zwiększa trwałość oraz intensywność zapachu w perfumach i kosmetykach. Obecność naturalnego olejku nadaje również odpowiedniego, lepszego smaku i aromatu produktom spożywczym w porównaniu z produktami, które powstały z użyciem olejków syntetycznych [Głowacki 1994; Półtorak-Kądziołka 2003].

Aparat asymilacyjny drzew iglastych może jako surowiec znaleźć wiele zastosowań. Jest on bogaty nie tylko w olejki eteryczne, ale również w kwas askorbinowy. Igliwie zawiera jednak także garbniki, gorzkniki i inne substancje, które trudno izolować, a których nadmiar w przypadku niektórych kierunków wykorzystania igliwia może być szkodliwy, np. dla organizmu człowieka. Ze względu na wysoki koszt i kłopotliwy transport, a także trudności związane z uzyskiwaniem witaminy C z igliwia zaniechano w Polsce pozyskiwania tego surowca do celów komercyjnych. Jednak w ostatnich latach technika rozwinęła się i opracowanie nowych, efektywnych metod uzyskiwania witaminy C z igliwia lub cetyny wydaje się możliwe.

Wielu badaczy zajmowało się wpływem zanieczyszczeń powietrza zarówno na ilość olejków eterycznych w cetynie drzew leśnych, jak i na zawartość poszczególnych związków chemicznych wchodzących w skład olejków [Świeboda 1978; Lehtiö 1981; Chojnacki, Cichy 1995; Judzientiene i in. 2007]. Nie stwierdzono jednak wyraźnych zależności między poziomem zanieczyszczeń a zawartością olejków w cetynie.

Celem niniejszych badań było określenie wpływu zanieczyszczenia środowiska na zawartość olejków eterycznych i witaminy C w cetynie sosnowej.

Materiał i metody

Do badań zawartości olejków eterycznych pobrano materiał z dwóch lokalizacji. Pierwszą z nich były tereny w obrębie dawnej Huty Aluminium w Skawinie, w odległości nieprzekraczającej 1 km od centrum zakładu. Drzewostany tu rosnące były silnie zanieczyszczone związkami fluoru i zostały zaliczone do II strefy oddziaływania przemysłu. Drzewa na powierzchniach należały do II i III klasy wieku. Materiał do badań, w postaci cetyny, pozyskany został łącznie z 27 wylosowanych drzew. Do celów porównawczych drugą grupę próbek pobrano na terenie Nadleśnictwa Rudnik. Wybrane drzewostany różniły się wiekiem (od I do V klasy wieku – po dwa drzewostany w każdej klasie) i położone były w I strefie oddziaływania przemysłu. W każdym drzewostanie wylosowano po jednym drzewie, z którego pobrano cetynę. Próbkę pobierano ręcznie (z wykorzystaniem sekatora) z drzew stojących lub ściętych. Cetynę pozyskiwano z dolnej części korony, od strony południowej. Pobierano około 1 kg cetyny z każdego drzewa, a następnie, również losowo, z ilości tej pobierano próbkę o masie 100 g. Materiał zbierano wczesną jesienią, w dobrych warunkach pogodowych (słoneczny, ciepły dzień). Oznaczenie ilości olejków eterycznych w igliwiu zostało wykonane za pomocą aparatu Derynga. Próbkę cetyny o masie 100 g rozdrabniano na 2-3-milimetrowe fragmenty i przenoszono do kolby aparatu Derynga, a następnie zalewano ją 500 ml wody destylowanej. Destylację prowadzono przez 1,5 godziny, licząc od rozpoczęcia procesu wrzenia w kolbie i przedestylowania pierwszej kropli olejku. Po zakończeniu destylacji chłodzenie wyłączano i po upływie 30 minut odczytywano ilość uzyskanych olejków z dokładnością do 0,01 ml [Głowacki 1995].

Materiał wykorzystany do badań zawartości witaminy C pochodził z trzech lokalizacji. Pierwszą partię materiału pobrano z terenu Nadleśnictwa Chrzanów. Wybrane drzewostany sosnowe znajdowały się w II strefie uszkodzeń przemysłowych, a dodatkowo leżały bezpośrednio

przy intensywnie eksploatowanej drodze wojewódzkiej 933. Wiek drzewostanów wahał się od I do IV klasy wieku. W każdym wytypowanym drzewostanie (po jednym w każdej klasie wieku) wybrano na zasadzie losowania po 3 drzewa. Dla celów porównawczych wykonano drugą grupę badań w Nadleśnictwie Dąbrowa Tarnowska. Wybrane drzewostany różniły się wiekiem (od I do V klasy wieku) i położone były w I strefie oddziaływania przemysłu. W 10 wytypowanych drzewostanach wybrano każdorazowo w sposób losowy po 3 drzewa. Dodatkowe analizy przeprowadzono w okolicy Specjalnej Strefy Ekonomicznej zlokalizowanej na terenie Nadleśnictwa Mielec na materiale pobranym z 2 drzewostanów I klasy wieku. Jeden z drzewostanów, z których pobrano materiał do badań, zlokalizowany był w bezpośrednim sąsiedztwie strefy, natomiast drugi był od niej oddalony o około 10 km. W każdym drzewostanie cetynę pobrano z 7 wylosowanych drzew.

We wszystkich przypadkach cetynę do badań zawartości witaminy C pobierano z tych samych części korony. Biorąc pod uwagę strony świata – z jej południowej części, natomiast uwzględniając strefy korony – ze strefy środkowej. Zawartość witaminy C w igliwiu sosnowym oznaczono metodą chemiczną Tillmansa. Z każdej próbki cetyny pobrano około 2 g igliwia, które następnie rozdrobniono i rozcierano w moździerzu z 10 ml 2-procentowego kwasu szczawiowego. Całość przenoszono do cylindra miarowego i uzupełniano do 100 ml kwasem szczawiowym. Następnie odstawiano do ciemnego pomieszczenia na 10 min. Uzyskany roztwór sączono przez filtr bibułkowy do kolby, z której pobierano po 5 ml do 3 mniejszych kolb. Tak pobrane próbki miareczkowano roztworem 2,6-dwuchlorofenoloindofenolu do barwy jasnorożowej. Następnie obliczano zawartość witaminy C w igliwiu za pomocą wzoru [Głowacki 1995]:

$$x = \frac{a \cdot d}{m \cdot c \cdot n} \cdot 100$$

gdzie:

- a* – liczba ml barwnika zużytego do miareczkowania (średnia z 3 powtórzeń),
- d* – objętość roztworu z cylindra miarowego (100 ml),
- m* – miano barwnika,
- c* – ilość pobranego przesączu do miareczkowania (5 ml),
- n* – naważka substratu (igieł sosny).

Drzewostany pogrupowano według stref uszkodzeń przemysłowych (I i II strefa). Do analizy statystycznej zastosowano program Statistica 9.0. Wszystkie dane wykazały rozkład normalny (test Shapiro-Wilka, $\alpha=0,05$), zatem do testowania istotności różnic pomiędzy grupami użyto testu t-Studenta, natomiast do wyznaczenia grup jednorodnych zastosowano test Tukeya dla nierównych liczebności.

Wyniki

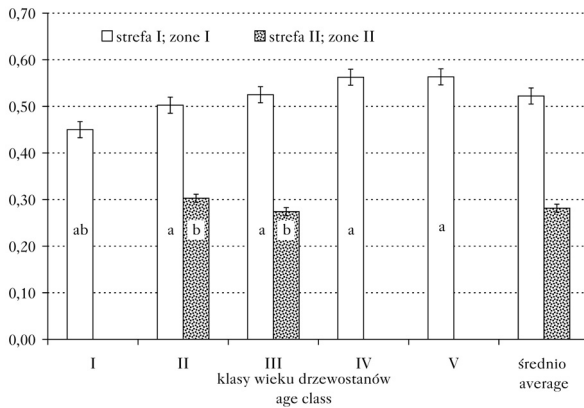
Porównując zawartość olejków eterycznych w cetynie z drzewostanów sosnowych różniących się wpływem emisji przemysłowych (strefa I i II), stwierdzono, że w poszczególnych klasach wieku ilość olejków eterycznych w cetynie z drzewostanów strefy I była prawie dwukrotnie większa niż w materiale z drzewostanów strefy II (pod silniejszym wpływem zanieczyszczeń) (tab., ryc. 1). Zaobserwowano również, że w drzewostanach strefy I zawartość olejków wzrastała wraz z wiekiem drzewostanów, natomiast w drzewostanach strefy II malała. Zawartość olejków eterycznych w cetynie pochodzącej z poszczególnych klas wieku drzewostanów zlokalizowanych w strefie I nie różniła się istotnie (ryc. 1). W skład drugiej grupy jednorodnej weszły dane z obu klas wieku drzewostanów (II i III) rosnących w strefie II oraz dane z I klasy wieku drzewostanów rosnących w strefie I.

Tabela.

Zawartość olejków eterycznych i witaminy C w cetynie oraz igliwiu sosnowym w zależności od strefy oddziaływania przemysłu (I i II)

Essential oils and vitamin C content in the twigs and needles of Scotch pine with regard to zones of industrial impact (I and II)

	Olejki [%] Essential oils		Witamina C [mg%] Vitamin C	
	I	II	I	II
Minimum				
Minimum	0,38	0,19	76,92	70,55
Maksimum				
Maximum	0,80	0,43	214,29	111,28
Średnia				
Average	0,52	0,28	137,59	93,29
Odchylenie standardowe				
Standard deviation	0,11	0,06	30,78	10,83
Współczynnik zmienności				
Coefficient of variation	20,21	22,81	22,37	11,61



Ryc. 1.

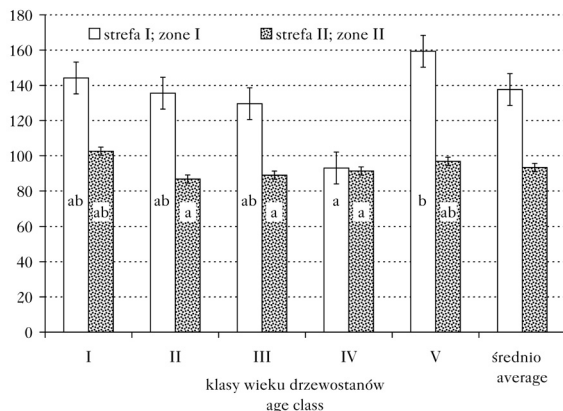
Średnia (\pm błąd standardowy) zawartość olejków w cetynie sosnowej [%] pochodzącej z drzewostanów w różnym wieku oraz pod różnym wpływem zanieczyszczeń

Mean (\pm standard error) essential oils content [%] in pine twigs from the stands of various age and different degree of the industrial pollution

ta sama litera oznacza grupy jednorodnie według testu Tukeya
the same letter indicates homogenous groups in Tukey test

Odnotowano, że zawartość olejków w cetynie z drzewostanów pozostających pod silniejszym wpływem przemysłu była o około 45% mniejsza niż w drzewostanach, gdzie imisje przemysłowe były na niższym poziomie. Różnice w zawartości olejków eterycznych między drzewostanami znajdującymi się pod wpływem zanieczyszczeń powietrza oraz drzewostanami bez takich wpływów były statystycznie istotne ($t=9,5284$, $df=43$, $p=0,0000$).

Mniejszą zawartość witaminy C w igliwiu sosnowym stwierdzono w drzewostanach poddanych silniejszemu działaniu zanieczyszczeń przemysłowych – II strefa, w porównaniu z drzewostanami strefy I (tab., ryc. 2). W obu grupach drzewostanów odnotowano ponadto, że wraz z wiekiem (do IV klasy wieku włącznie) zmniejszała się zawartość witaminy C, natomiast w najstarszych badanych drzewostanach (V klasa wieku) zawartość ta wzrastała. Analizując jednorodność grup danych, stwierdzono, że jedną grupę tworzyła zawartość witaminy C w materiale pobranym z większości badanych drzewostanów (oprócz zawartości witaminy C w igliwiu pochodzącym z drzewostanów V klasy wieku zlokalizowanych w I strefie) (ryc. 2), a drugą grupę jednorodną stanowił materiał pochodzący z większości drzewostanów I strefy oraz materiał z drzewostanów najmłodszych (I klasa wieku) i najstarszych (II klasa wieku) położonych w II strefie.



Ryc. 2.

Średnia (\pm błąd standardowy) zawartość witaminy C w igliwiu sosnowym [mg%] pochodzącym z drzewostanów w różnym wieku, różniących się wpływem zanieczyszczeń, wraz z błędem standardowym

Mean (\pm standard error) vitamin C content [mg%] in pine needles from the stands of various age and different degree of the industrial pollution impact

ta sama litera oznacza grupy jednorodne według testu Tukeya
the same letter indicates homogenous groups in Tukey test

Zaobserwowano, że zawartość witaminy C w drzewostanach silniej zanieczyszczonych przez przemysł była o około 30% mniejsza niż w drzewostanach o słabszym wpływie przemysłu. Tu również wykazano istotne różnice w zawartości witaminy C w igliwiu sosnowym między materiałem pochodzącym z drzewostanów strefy I i II ($t=5,3669$, $df=40$, $p=0,0000$). Biorąc pod uwagę odległość drzewostanów od Specjalnej Strefy Ekonomicznej (Nadleśnictwo Mielec), stwierdzono, że w igliwiu pochodzącym z drzewostanów rosnących w sąsiedztwie granicy tej strefy zawartość witaminy C wynosiła 101 mg%, natomiast w drzewostanach oddalonych o około 10 kilometrów od źródła emisji odnotowano ilość witaminy C na poziomie 131,43 mg%. Różnice w zawartości witaminy C między tymi dwiema grupami danych były statystycznie istotne ($t=-2,7690$, $df=12$, $p=0,0170$).

Dyskusja

Wpływ skażenia środowiska przez zakłady przemysłowe na zawartość olejków eterycznych u sosny zwyczajnej oraz u innych gatunków olejkodajnych nie jest jeszcze dobrze zbadany. W najczęściej podawanych źródłach zawartość olejków eterycznych w cetynie sosnowej wynosi 0,25-0,35%, dla jodły 0,3-0,6%, dla świerka 0,15-0,25% [Grochowski 1990]. Głowacki [1994] podaje średnią zawartość olejku dla igliwia sosnowego wynoszącą 0,32-0,55% (w zależności od wieku drzewostanu). W niniejszych badaniach uzyskano średnio 0,52% olejków eterycznych w cetynie sosnowej w drzewostanach zdrowych, natomiast w drzewostanach pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych 0,28%. Zaobserwowano również, że w drzewostanach nieuszkodzonych zawartość olejków wzrasta od poziomu 0,45% w drzewostanach najmłodszych (I klasa wieku) do 0,56% w drzewostanach najstarszych (V klasa wieku). Z kolei w drzewostanach zanieczyszczonych zawartość olejków malała. Wpływ wieku drzewostanu na zawartość olejku w cetynie nie jest ostatecznie ustalony. Głowacki [1994] w swoich badaniach nie potwierdził wpływu wieku drzew na zawartość olejku w cetynie, uzyskując najwyższe wyniki u drzew najmłodszych (5 lat – 0,54%) i najstarszych (100 lat – 0,52%), a najniższe u drzew 20-letnich (0,32%). Z kolei Półtorak-Kądziółka [2003], prowadząc badania nad zawartością olejku w cetynie jodłowej, odnotowała większą jego ilość u drzew młodszych (15 lat – 1,13%) niż u drzew starszych (80 lat – 0,66%). Odwrotną zależność wpływu wieku drzewa na zawartość olejków podają Ostalski i Butenko [1968]. Badana przez nich cetyna pochodząca z młodników sosnowych zawierała 0,45% olejków eterycznych, a cetyna z drzewostanów rębnych 0,64%.

Dotychczasowe wyniki badań ukazują znaczny wpływ na zawartość olejków eterycznych takich czynników jak wiek drzewa, pora zbioru, wiek igieł, stopień ich rozdrobnienia [Merk i in.

1988; Schönwitz i in. 1990a, b; Isidorov i in. 1996; Lerdaui in. 1997], a także zanieczyszczenia atmosferyczne [Judzentiene i in. 2007]. W przypadku niniejszych badań stwierdzono negatywny wpływ zanieczyszczeń (związków fluoru) na zawartość olejków eterycznych w cetynie sosnowej. Z kolei Świeboda [1978] oraz Chojnacki i Cichy [1995] stwierdzili większą ilość olejków w cetynie sosnowej pochodzącej z drzewostanów narażonych na działanie emisji przemysłowych w porównaniu z drzewostanami niepoddanymi takiemu oddziaływaniu. Stwierdzili oni również, że zawartość monoterpenu w olejkach spadała w cetynie pochodzącej z drzew narażonych na działanie emisji. Z kolei Judzentiene i in. [2007] stwierdzili, że w okolicach cementowni i rafinerii zwiększa się ilość monoterpenu w olejkach eterycznych kosztem terpenów złożonych, natomiast w okolicach zakładów azotowych zaobserwowano odwrotne zależności. W przypadku cementowni i rafinerii zależności te tłumaczono tym, że drzewa silnie uszkodzone wydatkują mniej energii na wytworzenie monoterpenu prostych niż na wytworzenie monoterpenu bardziej złożonych, natomiast przy zakładach azotowych amoniak emitowany w niskich stężeniach działa stymulująco na drzewa i produkują one więcej związków złożonych. Podobne zależności uzyskała Lehtiö [1981], stwierdzając, że wokół zakładów azotowych wraz ze wzrostem stopnia uszkodzenia drzew wzrasta zawartość olejków w igliwiu sosnowym, natomiast wokół zakładów celulozowych odnotowała zależności odwrotne.

W niniejszych badaniach stwierdzono mniejsze ilości witaminy C w igliwiu pochodzącym z drzewostanów znajdujących się pod silniejszym wpływem zanieczyszczeń. Podobne wyniki uzyskali Keller i Schwager [1977], którzy zaobserwowali, że gazowe zanieczyszczenia powietrza początkowo powodują zwiększenie, a następnie obniżenie zawartości witaminy C w igliwiu sosny zwyczajnej. Początkowy wzrost zawartości kwasu askorbinowego w igliwiu przypisywany jest mechanizmowi obronnemu roślin. Natomiast wyższe dawki zanieczyszczeń powodują zahamowanie syntezy kwasów organicznych. Wzrost zawartości witaminy C w igliwiu sosnowym pochodzącym z drzewostanów zanieczyszczonych obserwowali Härtling i Schulz [1995] oraz Pukacka i Pukacki [2000], również wiążąc to zjawisko z reakcją obronną drzew na zanieczyszczenia. Z kolei Gonet [2010] zaobserwował spadek zawartości kwasu askorbinowego w igliwiu pochodzącym z drzewostanów narażonych na zanieczyszczenia komunikacyjne, co tłumaczył wykorzystaniem przez drzewa witaminy C do usuwania wolnych rodników powstałych pod wpływem oddziaływania zanieczyszczeń.

Wnioski

- ✦ Zawartość olejków eterycznych w cetynie sosnowej była prawie dwukrotnie większa w drzewostanach pod mniejszym wpływem zanieczyszczeń powietrza w porównaniu z cetyną pochodzącą z drzewostanów pod silniejszym wpływem zanieczyszczeń.
- ✦ W drzewostanach mniej zanieczyszczonych zawartość olejków w cetynie wzrastała wraz z ich wiekiem, natomiast w drzewostanach bardziej narażonych na oddziaływanie przemysłu zaobserwowano tendencję odwrotną.
- ✦ Mniejszą o około 30% ilość witaminy C zaobserwowano również w igliwiu pochodzącym z drzewostanów narażonych na silniejszy wpływ przemysłu w porównaniu z materiałem pochodzącym z drzewostanów, gdzie ten wpływ był słabszy.
- ✦ W obu grupach drzewostanów stwierdzono największe zawartości witaminy C w igliwiu sosnowym pochodzącym z drzewostanów najmłodszych (I klasa wieku), jak i najstarszych (V klasa wieku).
- ✦ Z niniejszych analiz można wysnuć wniosek, że zawartość olejków eterycznych w cetynie oraz witaminy C w igliwiu sosnowym może być wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia środowiska.

Literatura

- Chojnacki B., Cichy W. 1995. Zawartość monoterpenów igliwia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) narażonej na działanie emisji przemysłowych. Sylwan 139 (4): 47-55.
- Głowacki S. 1994. Zawartość olejków eterycznych w igliwiu drzew leśnych. Sylwan 138 (1): 27-42.
- Głowacki S. 1995. Wybrane materiały do ćwiczeń z ubocznego użytkowania lasu. SGGW, Warszawa.
- Gonet B. 2010. Free radicals of the pine needles as an indicator of damage to forests caused by car exhaust gases. Current Topics in Biophysics 33 (A): 73-76.
- Grochowski W. 1990. Uboczna produkcja leśna. PWN, Warszawa.
- Härtling S., Schulz H. 1995. Ascorbat- und Glutathiongehalt in verschiedenartig schadstoffbeeinflussten Nadeln von *Pinus sylvestris* L. Forstw. Cbl. 114: 40-49.
- Isidorov V., Pirożnikow E., Jaroszyńska J., Jakubczak J., Sacharewicz T. 1996. Wstępne badania składu oraz sezonowych zmian olejków eterycznych drzew iglastych rosnących w Polsce. Sylwan 140 (7): 93-101.
- Judzentiene A., Stikliene A., Kupcinskiene E. 2007. Changes in the essential oil composition in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under anthropogenic stress. TheScientificWorldJournal 7 (S1): 141-150.
- Keller T., Schwager H. 1977. Air pollution and ascorbic acid. Eur. J. For. Path. 7: 338-350.
- Lehtiö H. 1981. Effect of air pollution on the volatile oil in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Silva Fennica 15 (2): 122-129.
- Lerdau M., Litvak M., Palmer P., Monson R. 1997. Controls over monoterpene emissions from boreal forest conifers. Tree Physiology 17: 563-569.
- Merk L., Kloos M., Schönwitz R., Ziegler H. 1988. Influence of various factors on quantitative composition of leaf monoterpenes of *Picea abies* (L.) Karst. Trees 2: 45-51.
- Ostalski R., Butenko M. 1968. Charakterystyka bazy surowcowej igliwia sosnowego w Polsce. Prace IBL 365: 37-47.
- Półtorak-Kądziołka A. 2003. Ocena zawartości olejków eterycznych w cętynie jodłowej. Sylwan 147 (1): 70-77.
- Pukacka S., Pukacki P. M. 2000. Seasonal changes in antioxidant level of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles exposed to industrial pollution. I. Ascorbate and thiol content. Acta Physiologiae Plantarum 22 (4): 451-456.
- Schönwitz R., Kloos M., Merk L., Ziegler H. 1990a. Patterns of monoterpenes stored in the needles of *Picea abies* (L.) Karst. from several locations in mountainous regions of southern Germany. Trees 4: 27-33.
- Schönwitz R., Kloos M., Merk L., Ziegler H. 1990b. Seasonal variation in the monoterpenes in the needles of *Picea abies* (L.) Karst. Trees 4: 34-40.
- Świeboda M. 1978. Zawartość olejku eterycznego w igliwiu sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) znajdującej się pod wpływem emisji z huty ołowiu i cynku. Fol. For. Pol. A 23: 201-217.