

TOMASZ WOJDA

Zmienność wiosennej fenologii polskich i litewskich pochodzeń brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.)

Variability of Polish and Lithuanian birch provenances (*Betula pendula* Roth.) in the spring phenology

ABSTRACT

The aim of this study was to estimate differences in the time of flushing among 16 provenances of birch (*Betula pendula* Roth.) from Poland (12) and Lithuania (4). Using a six-stage scale budburst and leaf elongation were assessed during three springs (2001-2003). Analysis of variance showed significant differences between provenances both in sites and years. Provenances Augustów, Strzelce and Chełm flush early. Late flushers are birch from Golub and Głusko. Longitude had the most important influence on flushing; more eastern provenances tending to flush earlier. Heritability of budburst and leaf elongation varied from 0,53 to 0,97.

KEY WORDS

phenology, flushing, provenance variation, (*Betula pendula* Roth.)

Wstęp

Fenologia opisuje cykliczne zjawiska w zbiorowiskach roślinnych będących reakcją roślin na sezonowe zmiany warunków klimatycznych [Lechowicz 2001]. Z danych dotyczących terminów obserwacji fenologicznych, można wykreślić na mapie linie (izofeny) łączące miejsca, gdzie wybrana roślina diagnostyczna znajduje się w tym samym stadium rozwojowym. Metoda ta jest pomocna przy ustalaniu fenologicznych pór roku. Rok kalendarzowy podzielony jest na 12 fenologicznych pór roku, które są wyznaczane na podstawie terminów pojawiania się charakterystycznych zjawisk przyrodniczych, tzw. faz fenologicznych (inaczej rytmów fenologicznych). Fazy fenologiczne to zmiany fizjologiczno-morfologiczne roślin będące odpowiedzią na sezonową rytmikę zmian warunków klimatycznych. Obejmują one fazy rozwoju wegetatywnego (np.: zawiązywanie i rozwój pączków liściowych) oraz fazy rozwoju generatywnego (np.: kwitnienie, rozsiewanie nasion). Rośliny, na podstawie których ustalone są fenologiczne pory roku nazwano roślinami przewodnimi [Sokołowska 1965]. Przykładowo, rośliną przewodnią dla wczesnej wiosny jest brzoza brodawkowata, która właśnie wtedy wypuszcza liście i zaczyna kwitnienie. Jest ona także rośliną przewodnią dla jesieni właściwej, kiedy to zaczyna gubić liście.

Liczne badania nad wiosenną fenologią drzew dotyczyły zarówno drzew liściastych (szczególnie buka zwyczajnego, dębów, a także klonów i brzoź), jak i iglastych (świerka pospolitego, sosny, modrzewia, daglezi, jodeł). Geograficzny wzorec zjawisk fenologicznych jest jednakowy pomiędzy różnymi gatunkami, a także w różnych latach. Co więcej, fizjologiczne mechanizmy regulujące zjawiska fenologiczne wydają się funkcjonować na podobnej zasadzie u różnych gatunków drzew [Linkosalo 1999]. Wiosenne pęknięcie pączków liściowych zależy głównie od

TOMASZ WOJDA

Zakład Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych
Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. Nr 3
00-973 Warszawa
wojdat@ibles.waw.pl

temperatury powietrza (ilości zakumulowanego ciepła na wiosnę, degree-days $>5^{\circ}\text{C}$), a także od długości dnia i nocy [Lechowicz 2001] oraz wysokości nad poziomem morza [Chmura, Rożkowski 2002; Sułkowska 2000 wg Dzwonko 1990; Wuehlisch i in. 1995]. Faza pęknięcia pączków wydłuża się wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Badania prowadzone w Norwegii przez Žumera [1969, wg Chałupka, Krawiarz 1979] wykazały, że na wysokościach 550, 750 i 950 m n.p.m. pąki liściowe brzoź pękały odpowiednio 9, 13 i 17 dni. Dla wielu gatunków drzew, między innymi dla brzozy brodawkowatej, wiosenne pędzenie zależy również od liczby chłodnych dni ($<5^{\circ}\text{C}$) podczas spoczynku zimowego poprzedzającego wiosnę [Billington, Pelham 1991; Wuehlisch i in. 1995].

Dlaczego prowadzi się badania fenologiczne?

Bardzo istotną przyczyną prowadzenia badań i obserwacji fenologicznych z punktu widzenia genetyki i praktycznej selekcji drzew leśnych jest konieczność wyodrębnienia populacji odpornych na przymrozki późne, to znaczy takich proveniencji, u których wegetacja rozpoczyna się późną wiosną. Stopień uszkodzeń przymrozkowych ma bowiem bezpośredni związek między innymi z takimi cechami jak: termin rozpoczęcia i zakończenia pędzenia wiosennego oraz długość cyklu przyrostowego [Sabor 1988]. Do gatunków szczególnie wrażliwych na przymrozki należą: jesion, buk, dąb oraz jodła [Jaworski 1995].

Prowadzi się także doświadczenia [Billington, Pelham 1991] w zakresie selekcji drzew od strony zmieniającego się klimatu. Postępujące ciągle ocieplanie się klimatu powoduje wzrost średniej rocznej temperatury powietrza oraz wydłużenie okresu wegetacyjnego. Dlatego populacje drzew wcześniej rozwijające liście na wiosnę będą w stanie wykorzystać sprzyjające warunki klimatyczne. Powinno to zaowocować zwiększonymi przyrostami drzew w całym sezonie wegetacyjnym. Jednak nie jest to do końca wyjaśnione. Niektóre badania dowodzą, że mechanizmy fizjologiczne nie pozwolą roślinom drzewiastym wykorzystać tego przedłużonego okresu wegetacyjnego przez zwykłą reakcję fenotypową. Wiosenny termin rozwoju liści nie zależy tylko od ilości ciepła skumulowanego (degree-days $> 5^{\circ}\text{C}$), lecz również od liczby dni chłodnych w zimie (z temperaturą poniżej 5°C). Wzrost średniej rocznej temperatury spowoduje zmniejszenie liczby dni chłodnych, co natomiast zwiększy ilość ciepła skumulowanego wymaganego do rozpoczęcia wegetacji. Dlatego też uważa się, że termin rozpoczęcia wegetacji się nie zmieni. [Billington, Pelham 1991, wg Murray i in. 1989].

Niemniej jednak istnieją prace, które świadczą o korzyściach z selekcji drzew leśnych pod kątem wczesnego rozwoju pączków na wiosnę. Dla różnych gatunków termin wiosennego pęknięcia pączków jest dodatnio skorelowany z żywotnością drzew, między innymi z tempem wzrostu [Billington, Pelham 1991, wg Cahalan 1981]. Mejnartowicz [1979] podaje, że brzozy które wcześniej rozpoczynają wegetację mają lepsze właściwości przyrostowe, zwłaszcza w okresie młodocianym, to znaczy do dwudziestego roku życia.

Ostatnio naukowe zainteresowanie fenologią dotyczy odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób globalne zmiany klimatu będą oddziaływać na fenologię i jakie będą konsekwencje tych zmian na funkcjonowanie ekosystemów. Ważny wpływ na to podejście do fenologii miało odkrycie, że nawet niewielka zmiana w długości sezonu wegetacyjnego, podczas którego odbywa się intensywna fotosynteza, może znacznie wpłynąć na wielkość zmagazynowanego węgla w przyrodzie [Lechowicz 2001]. Istnieją sprzężenia zwrotne pomiędzy zjawiskami fenologicznymi, a czynnikami wpływającymi na globalny bilans węgla, które mogą przyspieszać bądź opóźniać tempo zmian klimatu na świecie. Wahania długości okresu wegetacyjnego mogą być wykorzystane przy ocenie obecnego stanu oraz wieloletnich kierunków zmian szaty roślinnej

na poziomie regionalnym i globalnym, a co za tym idzie mogą być wskaźnikami globalnych zmian klimatu. Od wczesnych lat osiemdziesiątych XX wieku okres wegetacyjny lasów średnich szerokości geograficznych Europy i Ameryki Północnej wydłużył się o 8-10 dni [Lechowicz 2001]. Według Myneni [1997; Linkosalo 2000] średnia roczna temperatura powietrza w latach 1981-1990 wzrosła nieco ponad 1°C, a sezon wegetacyjny wydłużył się o 12 dni (± 4 dni). Przekłada się to na 12% wzrost globalnej produkcji pierwotnej na szerokościach geograficznych powyżej 45°N. Niemieckie badania fenologiczne wykazały [Chmielewski, Rotzer 2001], że wzrost temperatury o 1°C w okresie wczesnej wiosny (luty-kwiecień) na obszarze Europy spowoduje wcześniejsze rozpoczęcie sezonu wegetacyjnego o 7 dni. Wzrost średniej rocznej temperatury o 1°C spowoduje wydłużenie się sezonu wegetacyjnego o 5 dni. Szkołkie modele przewidują kontynuację emisji gazów cieplarnianych i wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 0,7-1,6°C do 2030 r. i dalszy wzrost o 1,3°C do 2050 r. Wzrost średniej rocznej temperatury o 2°C spowoduje wydłużenie sezonu wegetacyjnego o około 40 dni w rejonach Anglii [Billington, Pelham 1991].

Dane o okresie wegetacyjnym szaty roślinnej, mają również znaczenie dla poznania dokładnego obiegu wody w przyrodzie oraz zagrożenia pożarowego na świecie (w postaci zdjęć satelitarnych).

Cel, zakres oraz metodyka pracy

Celem pracy jest poznanie wewnątrzgatunkowej zmienności brzozy brodawkowatej w zakresie wiosennego pędzenia i ustalenie istotnych źródeł tej zmienności oraz selekcja pochodzeń wcześniej i później pędzących.

Obserwacje prowadzono na dwóch powierzchniach proveniencyjnych Instytutu Badawczego Leśnictwa, założonych w 1998 roku; w Nadleśnictwie Kutno (leśn. Chrosno, oddz. 57) oraz w Nadleśnictwie Wichrowo (leśn. Barcikowo, oddz. 471tl). Powierzchnia doświadczalna w Kutnie zawiera 16 proveniencji brzozy brodawkowatej oraz 2 brzozy omszonej, a powierzchnia w nadleśnictwie Wichrowo 9 pochodzeń brzozy brodawkowatej i 1 brzozy omszonej. Populacje brzozy omszonej, ze względu na ich małą liczebność zostały wyłączone z badań fenologicznych. Obie powierzchnie założono w układzie bloków losowych, każda proveniencja występuje w 4 blokach, w każdym bloku jest po 100 sadzonek każdej proveniencji. Obserwacje fenologiczne prowadzono przez 3 lata na powierzchni w Wichrowie oraz 2 lata w Kutnie. Każdego roku oceniano po 38-40 drzew na obydwu powierzchniach doświadczalnych każdej proveniencji. Łącznie obserwacje fenologiczne dotyczyły 16 proveniencji brzozy brodawkowatej: 12 polskich i 4 litewskich (tab. 1). Ocena stopnia rozwoju pączków i liści wykonywana była wg 6 stopniowej skali opracowanej przez autora; gdzie 0 oznacza pąki śpiące, 1 – pączki zaczynają pękać, pojawiają się zielone wierzchołki; 2 – rozchylają się wierzchołki liści; 3 – widoczne pojedyncze liście; 4 – pomarszczony liść z widocznym ogonkiem; 5 – całkowicie wykształcony liść. Spośród 3-4 obserwacji fenologicznych wykonywanych każdej wiosny, do analizy wyników wybrano tylko jedną. Za optymalną obserwację uznano tę, w której warianty pochodzeniowe były największe [Sabor 1986]. Podziału na pochodzenia wcześniej i później ruszające dokonano na podstawie metody zaproponowanej przez Sabora [1986]. Do wcześniej ruszających zaliczono te, których średnia ocena obserwacji fenologicznej jest większa od średniej ogólnej przynajmniej o jedno odchylenie standardowe. Proveniencje później ruszające to te, których średnia ocena obserwacji fenologicznej jest mniejsza o jedno odchylenie standardowe od średniej ogólnej. Wykonano analizę wariancji (przy użyciu programu S-Plus 4.5) według następującego modelu:

Tabela 1.

Charakterystyka wybranych proveniencji brzozy brodawkowatej (*B. pendula* Roth.) wykorzystanych do badań fenologicznych

Geographical origin of maternal stands (latitude (N), longitude (S), region of provenance, length of growing season, annual average temperature)

Proweniencja	Szerokość geogr. (N)	Długość geogr. (E)	Makro- region nasienny	Mikro- region nasienny	Długość okresu wegetacyjnego	Średnia roczna temperatura
Skrwilno	53,01	19,37	315/3	356	220-225	7,4-8,0
Siedlce	52,11	22,17	318/4	455	217-221	7,3-7,8
Chełm	51,08	23,29	845/4	458	218	7,4
Augustów	53,51	22,58	842/2	204	200-205	6,0-6,6
Głusko	53,02	15,56	314/1	154	220-227	7,8-8,2
Litwa 2 Dubrava	54,52	24,07	–	–	215-230	7,6-8,0
Miechów	50,21	20,02	342/6	658	220-225	7,4-8,0
Litwa 4 Panavezys	55,33	24,41	–	–	205-210	6,5-7,0
Golub-Dobrzyń	53,07	19,03	315/3	356	220-225	7,4-7,8
Litwa 3 Panavezys	55,33	24,41	–	–	235	8,4-8,6
Czarna Białostocka	53,18	23,18	843/2	254	218	7,4
Litwa 1 Radviliskis	55,35	23,40	–	–	210-225	7,2-7,8
Janów Lub.	50,42	22,25	512/6	606	220-225	7,4-8,0
Gryfino	53,15	14,29	606	102	217-221	7,3-7,8
Strzelce	49,58	23,48	102	405	218	7,4
Runowo	53,19	17,27	405	304	200-205	6,0-6,6
gradient	5,37	10,12				

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + G \times B_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$$

gdzie:

- Y_{ijkl} – to pojedyncza obserwacja,
- μ – średnia ogólna,
- B_i – wpływ bloku,
- G_j – wpływ genotypu (proveniencji),
- $G \times B_{ij}$ – interakcja blok \times pochodzenie,
- ε_{ijkl} – błąd.

Obliczono odziedziczalność proveniencyjną [Giertych 1985] (h_p^2) korzystając z następującego wzoru [Otegbeye 1998]:

$$h_p^2 = \frac{\delta_p^2}{\frac{\delta_E^2}{n \cdot p \cdot b} + \frac{\delta_{PB}^2}{n} + \delta_p^2}$$

gdzie:

- δ_p^2 – czynnik proveniencji,
- δ_{PB}^2 – czynnik proveniencja \times blok,
- δ_E^2 – czynnik błędu,
- n – średnia liczba drzew w proveniencji,
- p – liczba proveniencji,
- b – liczba bloków.

Wyniki

Analiza wariancji wykazała statystycznie istotne różnice pomiędzy proveniencjami brzozy brodawkowatej w wiosennym tempie rozwoju liści. Różnice te były istotne we wszystkich terminach i miejscach obserwacji przy poziomie istotności 0,001, z wyjątkiem Kutna 2003. W tabeli 2 podano średnie wartości obserwacji fenologicznych oraz błędy standardowe. Dla Kutna 2002 średnia obserwacja wynosi 2,45. Populacje ze Strzelec (3,50), Augustowa (3,00), Janowa Lubelskiego (2,70) miały najbardziej rozwinięte liście. Natomiast pochodzenia z Gryfina (1,80), Głuska (2,00) rozwijają liście jako jedne z ostatnich. Podobnie przebiega proces rozwoju liści w roku 2003 na tej powierzchni. Na powierzchni doświadczalnej w Wichrowie podczas każdej z trzech obserwacji również można wyróżnić pochodzenia wcześniej zaczynające wiosenną vegetację (Augustów) oraz później (Głusko). Niektóre proveniencje w różnych latach obserwacji zachowują się różnie (Miechów, Litwa 4 Panavezys). Proveniencje brzozy brodawkowatej zmieniające tempo wiosennego rozwoju liści z roku na rok nie mają dużego wpływu na silną liniową korelację rozpoczęcia terminu vegetacji pomiędzy różnymi latami (tab. 3). Istnieją również silne związki pomiędzy obserwacjami tempa rozwoju liści na dwóch, odległych od siebie powierzchniach doświadczalnych wyrażone wysokimi współczynnikami korelacji. Wszystkie wyliczone wartości współczynników korelacji są statystycznie istotne, przy poziomie istotności $\alpha=0,05$.

Największy wpływ na termin rozwoju liści badanych proveniencji brzozy brodawkowatej ma długość geograficzna (tab. 4). Wyliczone współczynniki korelacji pomiędzy długością geograficzną miejsca pochodzenia a wartościami obserwacji fenologicznych danych proveniencji wahają się między 0,39 i 0,69. Są one statystycznie istotne dla wszystkich pięciu terminów obserwacji na obydwu powierzchniach doświadczalnych. Istotny wpływ szerokości geograficznej na termin rozpoczęcia vegetacji brzozy brodawkowatej jest zauważalny tylko dla Kutna 2003. Dla pozostałych terminów obserwacji wartości współczynnika korelacji są małe i nieistotne.

Tabela 2.

Średnie wartości obserwacji fenologicznych (w nawiasach podano błąd standardowy)

Average values of phenological phases for populations (SE)

Proveniencja	Kutno	Kutno	Wichrowo	Wichrowo	Wichrowo
	16.04.2002	18.04.2003	23.04.2001	22.04.2002	28.04.2003
Skrwilno	2,46 (0,09)	1,55 (0,11)	1,85 (0,06)	3,10 (0,09)	2,13 (0,14)
Siedlce	2,58 (0,12)	1,64 (0,13)	1,90 (0,05)	3,18 (0,10)	2,55 (0,10)
Chełm	2,63 (0,19)	1,17 (0,13)	1,95 (0,04)	3,36 (0,08)	2,00 (0,12)
Augustów	3,00 (0,10)	1,39 (0,13)	1,98 (0,03)	3,29 (0,07)	2,30 (0,12)
Głusko	2,00 (0,06)	0,73 (0,10)	1,65 (0,08)	2,33 (0,08)	1,73 (0,11)
Litwa 2 Dubrava	2,35 (0,09)	1,15 (0,12)	1,80 (0,07)	2,95 (0,10)	1,93 (0,13)
Miechów	2,23 (0,10)	1,17 (0,14)	1,80 (0,07)	2,84 (0,09)	1,88 (0,12)
Litwa 4 Panavezys	2,33 (0,08)	0,85 (0,09)	1,85 (0,06)	2,76 (0,08)	2,38 (0,13)
Golub-Dobrzyń	2,18 (0,11)	0,82 (0,13)	1,82 (0,06)	2,58 (0,12)	1,90 (0,16)
Litwa 3 Panavezys	2,40 (0,08)	0,78 (0,11)	–	–	–
Czarna Białostocka	2,62 (0,12)	1,06 (0,12)	–	–	–
Litwa 1 Radviliskis	2,25 (0,09)	0,80 (0,10)	–	–	–
Janów Lub.	2,70 (0,16)	1,35 (0,18)	–	–	–
Gryfino	1,80 (0,09)	0,60 (0,18)	–	–	–
Strzelce	3,50 (0,22)	1,60 (0,27)	–	–	–
Runowo	2,17 (0,12)	0,81 (0,16)	–	–	–
średnia	2,45	1,09	1,84	2,93	2,09

Tabela 3.

Współczynniki korelacji pomiędzy różnymi miejscami i latami obserwacji

Pearson's correlation coefficients between places and dates of phenological's observations. All values are statistically significant

Miejsce i data obserwacji	Kutno 16.04.2002	Kutno 18.04.2003	Wichrowo 23.04.2001	Wichrowo 22.04.2002	Wichrowo 28.04.2003
Kutno 16.04.02	–	0,77	0,92	0,89	0,63
Kutno 18.04.03	0,77	–	0,60	0,80	0,59
Wichrowo 23.04.01	0,92	0,60	–	0,89	0,66
Wichrowo 22.04.02	0,89	0,80	0,89	–	0,56
Wichrowo 28.04.03	0,63	0,59	0,66	0,56	–

Miejsce i data obserwacji – (Observation's place and date)

Tabela 4.

Zależność wiosennej fenologii *B. pendula* Roth. od szerokości i długości geograficznej proveniencji (wartości statystycznie istotne są pogrubione) oraz odziedziczalność (h_p^2) pędzenia wiosennego w różnych terminach obserwacji

Geographical effects on spring phenology (Pearson's correlation coefficient) and heritability of spring phenology (h_p^2). Bold values are statistically significant

Miejsce i data obserwacji	Kutno 16.04.2002	Kutno 18.04.2003	Wichrowo 23.04.2001	Wichrowo 22.04.2002	Wichrowo 28.04.2003
szerokość geogr.	0,11	0,56*	0,09	0,05	0,17
długość geogr.	0,61*	0,39*	0,69*	0,65*	0,58*
h_p^2	0,93	0,91	0,73	0,97	0,53

Miejsce i data obserwacji – observation's place and date; szerokość geogr. – latitude; długość geogr. – longitude

* wartości statystycznie istotne – values are statistically significant

Odziedziczalność proveniencyjna h_p^2 jest wysoka i waha się pomiędzy 0,53 a 0,97. Bardzo podobne wartości odziedziczalności występują na powierzchni doświadczalnej w Kutnie w obydwu latach, natomiast w Wichrowie różnice są większe (tab. 4).

Dyskusja

Badania zmienności wiosennej fenologii dotyczyły różnych pochodzeń brzozy brodawkowatej. Brzoza omszona została pominięta w obliczeniach statystycznych ze względu na zbyt małą reprezentację. Niemniej jednak na obydwu powierzchniach doświadczalnych zauważono, że pączki liściowe brzozy omszonej rozwijają się znacznie wcześniej niż ma to miejsce u pochodzeń brzozy brodawkowatej. Nie jest to zgodne z innymi obserwacjami. W warunkach fińskich wiosenny rozwój ulistnienia następuje wcześniej u *Betula pendula* Roth. niż u *B. pubescens* Ehrh. [Linkosalo 1999]. Również badania szkockie donoszą natomiast o szybszym tempie rozwoju liści u *Betula pendula* Roth. niż u *B. pubescens* Ehrh. [Billington, Pelham 1991].

Podczas systematycznych obserwacji, wykonywanych kilka razy podczas każdej wiosny, zauważono różnicę w tempie rozwoju liści poszczególnych proveniencji brzozy brodawkowatej. Pomiedzy proveniencjami najwcześniej i najpóźniej rozwijającymi się różnica ta wynosiła 7-8 dni. Jak podaje Mejnartowicz [1979] w Polsce między formami brzozy późno i wczesno „pędzącymi” występuje różnica 10 dni. Jeszcze większą różnicę w wiosennym tempie rozwoju liści brzozy zauważyła Sokołowska [1965, wg Chałupka, Krawiarz 1979]. Według niej najwcześniej, bo w pierwszej połowie kwietnia liście brzozy brodawkowatej rozwijają się w okolicach Zielonej Góry, na wybrzeżu Bałtyku od Koszalina do Gdańska, w pasie Poznań-Wrocław-Opole oraz w okolicach Krakowa. Najpóźniej, średnio 5 maja, brzoza brodawkowata zaczyna rozwój wegetacyjny w środkowej części Pojezierza Pomorskiego oraz w okolicach Olsztyna.

Badane proveniencje brzozy brodawkowatej istotnie różnią się wiosennym terminem rozwoju liści. Proveniencje z Augustowa, Strzelec i Chełma wcześniej zaczynają rozwój wegetacyjny; a z Głuska i Gryfina, zaczynają rozwijać liście znacznie później od innych pochodzeń. Populacje drzew przystosowały się do klimatu, w którym występują. Z jednej strony wykorzystują maksymalnie okres wegetacyjny, a z drugiej na tyle późno rozpoczynają rozwój liści, by uniknąć szkodliwego wpływu wiosennych przymrozków. Wcześniej zaczynają rozwijać liście proveniencje z terenów o krótszym okresie wegetacji [Sabor i in. 1999; Chmura, Rożkowski 2002]. Wcześniej rozwijająca się proveniencja brzozy brodawkowatej z Augustowa dysponuje okresem wegetacyjnym o długości 200-205 dni, natomiast późno ruszające pochodzenia z Gryfina i Głuska mają znacznie dłuższy okres wegetacji: 217-227 dni. Ponieważ Polska leży w klimacie umiarkowanym przejściowym pomiędzy klimatem kontynentalnym a morskim to często zdarzają się zmiany pogody. Przypuszczalnie, populacje wschodnie, gdzie wpływ klimatu kontynentalnego jest większy i stosunkowo rzadko zdarzają się anomalie pogodowe (brak niebezpieczeństwa wystąpienia przymrozków późnych), mogą pewnie rozwijać liście dosyć wcześnie bez ryzyka uszkodzeń przymrozkowych. Pochodzenia zachodnie, leżące w strefie przejściowej zaczynają rozwijać pączki liściowe znacznie później, gdy ryzyko wystąpienia przymrozków późnych jest już bardzo małe.

Długość geograficzna miejsca położenia odgrywa decydującą rolę w terminie rozwoju liści badanych proveniencji brzozy brodawkowatej. Wyliczone współczynniki korelacji pomiędzy długością geograficzną a wartościami obserwacji fenologicznych danych proveniencji wynoszą od 0,39 do 0,69. Proveniencje wschodnie brzozy brodawkowatej rozpoczynają wiosenny rozwój liści wcześniej niż zachodnie. W badaniach wpływ szerokości geograficznej na rozwój liści brzozy brodawkowatej został potwierdzony tylko dla jednej obserwacji [Kutno 2003]. Według Linkosalo [1999] głównym czynnikiem zmienności czasu zjawisk fenologicznych różnych gatunków drzew leśnych (olsze, brzozy, sosny, osiki) jest szerokość geograficzna ($r=0,60$) a także długość geograficzna ($r=0,38$). Zauważył on również wpływ wysokości n.p.m. ($r=0,25$) na badane zjawiska. Amerykańskie badania [Sharik 1976] dotyczące wiosennego tempa rozwoju pączków brzozy oraz czasu zahamowania wzrostu na wysokość i przejścia w spoczynek zimowy wykazały wpływ zarówno szerokości geograficznej, jak i wysokości nad poziomem morza na badane cechy. Stwierdzono, że populacje północne a także populacje z terenów wyżej położonych brzozy żółtej (*B. alleghaniensis* Britt.) zaczynają rozwijać liście wcześniej niż pochodzenia południowe i z niższych położeń n.p.m. Wcześniej także kończą wzrost na wysokość.

Czas wiosennego rozwoju ulistnienia różnych gatunków drzew jest cechą mocno dziedziczną. Istnieje duża korelacja tej cechy pomiędzy tymi samymi populacjami w różnych latach [Wuehlisch, Krusche, Muhs 1995]. Badania wykazały, że endogenny próg cieplny potrzebny do inicjacji wiosennego rozwoju igieł świerka jest utrwalony genetycznie i różny dla każdej proveniencji [Sabor i in. 1999; Giertych, Schmidt-Vogt 1977, wg Sabora 1986]. U niektórych gatunków determinizm genetyczny tej cechy jest dosyć znaczny, np.: odziedziczalność *sensu lato* odporności na późne przymrozki u świerka jest bardzo wysoka i wynosi 0,98 [Sabor i in. 1999]. Odziedziczalność proveniencyjna wiosennego rozwoju pączków brzozy brodawkowatej wynosi od 0,53 do 0,97. W doświadczeniu w Kutnie odziedziczalności są bardzo do siebie zbliżone rok po roku (0,93 i 0,91) i różnią się od tych na powierzchni w Wichrowie. Odziedziczalności uzyskane na powierzchni w Wichrowie są różne w kolejnych latach. Różnice te mogą być spowodowane zmiennością środowiska oraz interakcją genotyp \times środowisko. Ponieważ odziedziczalność jest zależna od warunków środowiska, w którym jest obliczana i warunków doświadczenia (układ bloków losowych), dlatego wyraża się ona najlepiej jedynie w naturalnych warunkach występowania

danej proveniencji [Billington, Pelham 1991]. W porównaniu ze szkockimi danymi [Billington, Pelham 1991] obliczone odziedziczalności są wysokie. Szkockie populacje brzozy brodawkowatej charakteryzowały się odziedziczalnością w zakresie od 0,06 do 0,63; natomiast populacje brzozy omszonej od 0,00 do 0,65. We wspomnianych badaniach odziedziczalność ruszania pączków brzozy omszonej jest pozytywnie skorelowana ($r=0,85$) z szerokością geograficzną, populacje pochodzące z północy mają większe odziedziczalności. Większa odziedziczalność spodziewana jest u tych pochodzeń, które występują w bardziej zmiennym klimacie.

Pomimo tego, że rozwijające się pączki brzozy brodawkowatej znoszą temperaturę do -4°C [Jaworski 1995], niektóre badania świadczą, że niekiedy może ona znacznie cierpieć od mrozu. Stwierdzono [Worell i in. 2000, wg Zajęczkowski i in. 2002], że brzozy pochodzące z Finlandii i Norwegii, a rosnące na terenie Szkocji są wyjątkowo podatne na przymrozki późne. Badania Lechowicza i St.-Jacques'a [2001] również wykazują negatywny wpływ wiosennych przymrozków na stan ulistnienia brzozy (*B. papyrifera* Marsch.). Zmrożone liście zawierały wyższe stężenia azotu oraz mniejsze zawartości fenoli i tanin. W ciągu całego sezonu wegetacyjnego istotnie więcej foliofagów występowało na drzewach z uszkodzonymi liśćmi z powodu wiosennych przymrozków. Szczególnie młode liście bogate w związki azotowe i zawierające mniej tanin są bardziej podatne na żer od owadów. Czeskie obserwacje [Kula 2000] w zakresie odporności brzozy brodawkowatej na niskie temperatury wykazują uszkodzenia rozwijających się pączków od przymrozków wczesnych, szczególnie u drzew rosnących powyżej 600 m n.p.m., u których proces drewnienia pędów nie został ukończony.

Wnioski

- ✦ Wiosenny rozwój liści *B. pendula* Roth. w kolejnych latach przebiega bardzo podobnie.
- ✦ Wiosenny termin rozwoju liści u *B. pendula* Roth. jest cechą wysoce dziedziczną.
- ✦ Decydujący wpływ na wiosenne tempo rozwoju liści ma długość geograficzna – wschodnie populacje zaczynają wegetację wcześniej niż zachodnie.
- ✦ Do pochodzeń wczesnie pędzących należą: Augustów, Strzelce i Chełm.
- ✦ Pochodzenia późno rozwijające liście to: Gryfino i Głusko.

Autor serdecznie dziękuje za pomoc w interpretacji wyników dr inż. J. Kowalczykowi z Zakładu Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych IBL.

Literatura

- Białobok S. 1968. Znaczenie badań fenologicznych w hodowli i introdukcji drzew i krzewów. Postępy Nauk Rolniczych 5 (113): 41-48.
- Billington H. J., Pelham J. 1991. Genetic variation in the date of budburst in Scottish birch populations: implications for climate change. Functional Ecology 5: 403-409.
- Chałupka W., Krawiarz K. 1979. Fizjologia wzrostu i rozwoju. W: Białobok S. [red.]. Brzozy. Betula L. PWN, Warszawa-Poznań. 123-147.
- Chmielewski F. M., Rotzer T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. Agricultural & Forest Meteorology 108 (2): 101.
- Chmura D. J., Rożkowski R. 2002. Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. Silvae Genetica 51, 2-3: 123-127.
- Giertych M. 1985. Porównanie selekcji rodowej i proveniencyjnej u świerka (*Picea abies* (L.) Karst.) z Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. Arboretum Kórnickie 30: 241-255.
- Jaworski A. 1995. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Przedsiębiorstwo Gutenberg. Kraków.
- Kula E. 2000. Responses of birch buds to frost. Journal of Forest Science 46 (3): 127-132.
- Lechowicz M. J. 2001. Phenology. In the Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 2. The Earth System: biological and ecological dimensions of global environmental change. Wiley, London.

- Lechowicz, M. J., St.-Jacques B. 2001. Influence of a late spring freeze on the quantity and quality of birch foliage. Proceeding of the 2nd International Birch Sap Symposium, Bifuka, Hokkaido, Hokkaido University Press, Sapporo, Japan. 21-28.
- Linkosalo T. 1999. Regularities and patterns in the spring phenology of some boreal trees. *Silvae Fennica* 33(4): 237-245.
- Linkosalo T. 2000. Analyses of the spring phenology of boreal trees and its response to climate change. Academic dissertation. Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki.
- Mejnartowicz L. 1979. Genetyka. W: Białobok S. [red.]. *Brzozy. Betula L.* PWN, Warszawa-Poznań. 219-264.
- Otegbeye G. O. 1998. Forestry mating designs and progeny testing: principles, methods and application. W: Mandal A. K., Gibson G. L. [red.]. *Forest Genetics and Tree Breeding*.
- Sabor J. 1986. Czynniki wpływające na przebieg i ocenę pędzenia wiosennego różnych pochodzeń świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w rocznym cyklu przyrostowym na powierzchni doświadczalnej IPTNS-IUFRO 1964/68 w Krynicy. *Acta Agraria et Silvestria series Silvestris*. 25: 115-129.
- Sabor J. 1988. Pędzenie wiosenne jako podstawa selekcji odpornych na przymrozki wiosenne pochodzeń świerka pospolitego doświadczalnego IPTNS-IUFRO 1964/68 w Krynicy. *Acta Agraria et Silvestria series Silvestris*. 27: 123-131
- Sabor J., Skrzyszewska K., Kulej M., Banach J. 1999. Rola obserwacji fenologicznych w genetyce populacyjnej drzew leśnych. W: Klimatyczne uwarunkowania życia lasu. Konferencja naukowa. Zakopane 21-22 maja 1999. 105-113
- Sharik T. L. 1976. Phenology of shoot growth among diverse populations of yellow birch (*B. alleghaniensis*) and sweet birch (*B. lenta*). *Canadian Journal of Botany* 54: 2122-2129.
- Sokołowska J. 1965. Drzewiaste rośliny przewodnie fenologicznych pór roku w Polsce. *Rocznik Dendrologiczny* 19: 75-93.
- Sułkowska M., 2000. Zmienność fenologiczna buka (*Fagus sylvatica* L.) polskich i europejskich pochodzeń. *Zeszyty naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie*. 358: 165-175.
- Wuehlisch G., Krusche D., Muhs H. J. 1995. Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. *Silvae Genetica* 44, 5-6: 343-346.
- Zajączkowski K., Załęski A., Kowalezyk J., Wojda T., Zajączkowska B., Kantorowicz W., Zawadzki M. 2002. Zmienność wewnątrzgatunkowa brzozy brodawkowatej na doświadczalnych powierzchniach porównawczych Instytutu Badawczego Leśnictwa. Sprawozdanie końcowe z tematu BLP-907. Maszynopis IBL, Warszawa. 36.

SUMMARY

Variability of Polish and Lithuanian birch provenances (*Betula pendula* Roth.) in the spring phenology

The aim of this study was to estimate differences in the time of flushing among birch provenances (*Betula pendula* Roth.), which has influence on elongated grow and resistance to frost damage risk. The 16 provenances of birch from Poland (12) and Lithuania (4) growing in two trials (Kutno: 19°22'E, 52°14'N and Wichrowo: 20°24'E, 53°59'N) were examined during three springs (2001-2003). Birch provenances cover a 5°37' of latitudinal and a 10°12' of longitudinal gradient. Bud burst and development of leaves were examined using 6 point scale: 0 – dormant buds, 1 – buds begin to burst, first green tissue is visible, 2 – the tops of leaves begin to unfold, 3 – single leaves are visible, 4 – single leaf with visible petiole, 5 – leaves completely unfolded. About 40 trees per provenance were scored in each trial. Analysis of variance showed significant differences between provenances both in sites and years. Provenances Augustów, Strzelce and Chełm flush early. Late flushers are birch from Golub and Głusko. It was found that longitude had the most important influence on flushing; more eastern provenances tending to flush earlier. Heritability of budburst and leaf elongation varied from 0,53 to 0,97.