

MORFOLOGICKÁ VARIABILITA RODU BŘÍZA (*BETULA* L.) V KRKONOŠÍCH SE ZAMĚŘENÍM NA TETRAPLOIDNÍ ZÁSTUPCE

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF BIRCH GENUS (*BETULA* L.) IN THE KRKONOŠE MTS WITH FOCUS ON THE TETRAPLOID TAXA

JANA EŠNEROVÁ¹⁾ - PETR KARLÍK¹⁾ - DANIEL ZAHRADNÍK¹⁾ - TEREZA KOŇASOVÁ¹⁾ - JAN STEJSKAL¹⁾ - MARTIN BALÁŠ¹⁾ - JAN VÍTÁMVÁS¹⁾ - NAĎA RAŠÁKOVÁ²⁾ - JOSEF STACHO¹⁾ - JIŘÍ KUTHAN¹⁾ - MIROSLAVA LUKÁŠOVÁ²⁾ - IVAN KUNEŠ¹⁾

¹⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Praha

²⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha

ABSTRACT

Investigation of variability within *Betula* genus in the Giant Mountains (Krkonoše) was made on the basis of selected morphological traits/features measured on leaves. The aim of this work was to assess a discrimination power of these traits. Another objective was to determine which of these traits are the most influenced by environmental conditions. Altogether, 73 individuals on 4 locations were evaluated. For each tree the genome size and ploidy levels were determined by a method of flow cytometry. Our sample contained tetraploids and diploids. Evaluation used both traditional/classical and geometric morphometrics. Traditional morphometrics used 22 primary traits and 8 proportional traits. Differentiation between diploids and tetraploids was noticeable; 14 traits showed statistical significance. When comparing tetraploid birches from 4 sites of interest, 12 measured traits yielded statistically significant difference. The most differentiated population in terms of both traditional and geometric morphometrics was found in the Obří důl valley. However, this difference cannot be interpreted in taxonomy without application of molecular genetics and further studies within a wider region. Humidity of selected stands did not influence the morphology of sampled individuals; only one single trait was close to $\alpha = 0.05$.

Klíčová slova: rod bříza (*Betula* L.), Krkonoše, morfologická variabilita, klasická morfometrika, geometrická morfometrika

Key words: *Betula* spp., Giant Mountains, morphological variability, traditional morphometrics, geometric morphometrics

ÚVOD

Rod bříza (*Betula* L.) má právě v dnešní době široký potenciál pro využití v lesnické praxi. Jde zejména o její použití při obnově lesních porostů na extrémních stanovištích, kde se v minulosti projeví negativní vlivy působení průmyslových imisí. Výsledky dvacetiletého výzkumu břízy bělokoré (*Betula pendula* L.) v Krušných horách, které sledují její vliv na kumulaci povrchového humusu a na dynamiku půdních prvků (fosfor a dusík), naznačují, že i na plochách, kde byla využita tzv. buldozerová příprava, je výsev břízy efektivní (ULBRICHOVÁ et al. 2010). Významné je také využití břízy karpatské (*Betula carpatica* W. et K.) při zalesňování ve vrcholových partiích Jizerských hor (KUNEŠ et al. 2007; BALÁŠ et al. 2010).

Bříza karpatská přirozeně osídluje extrémní biotopy, a to i zcela ekologicky navzájem odlišné, jako jsou za prvé kamenitá až suťovitá stanoviště kolem a nad horní hranici lesa a za druhé zamokřené půdy s mocnou vrstvou surového humusu až rašeliny (KŘÍŽ 1990). Ekologická amplituda břízy karpatské se tedy zdá být velmi široká. Existuje otázka, zda při lesnickém využití bříz není třeba respektovat odlišné

biotopy, na nichž se populace břízy vyskytují (KUNEŠ et al. 2010). Tedy zda kupříkladu není problematické využívat osivo bříz z rašelinných stanovišť k zalesnění suťovitých lokalit a naopak, byť takový přenos reprodukčního materiálu v současnosti v řadě případů může být legislativně průchodný a v některých případech se populace bříz na obou typech stanovišť dokonce přirozeně vyskytují ve stejné přírodní lesní oblasti a ve stejném lesním vegetačním stupni.

Pro potřebu podrobnějšího studia proměnlivosti bříz v závislosti na biotopu hovoří také skutečnost, že bříza karpatská patří do skupiny tetraploidních bříz, která zahrnuje více drobných, obtížně rozlišitelných taxonů (KARLÍK 2010). Proto není v konkrétních případech jasné, zda rozdíly mezi populacemi jsou důsledkem přirozené variability, nebo se jedná o ekotypy jednoho druhu či o samostatné odlišné druhy. Pokud výzkum, který v současnosti probíhá (KUNEŠ et al. 2010), prokáže zřetelnou existenci různých ekotypů nebo dokonce existenci různých taxonů vyšší – až druhové – úrovně, bude to znamenat potřebu jejich bezpečné identifikace proveditelné přitom co nejjednodušším způsobem, který bude dostupný lesnické nebo ochranné praxi.

Ověření, zda je možné spolehlivě rozlišit jednotlivé taxony rodu bříza, které mohou být využity k zalesňování v praktickém provozu, tj. bříza bělokorá, bříza pýřitá a bříza karpatská, je hlavní náplní předkládaného článku zaměřeného na oblast Krkonoš. Z důvodu praktického využití je rozlišování zaměřeno jen na využití morfologických, tj. nikoliv molekulárních, metod. Pro hodnocení byly využity znaky na listech, aby bylo možné hodnotit jedince kdykoliv a ne v závislosti na tom, zda jsou již plně vyvinuté a dozrálé plody.

Cílem výzkumu a tohoto článku je nalezení odpovědi na následující otázky: (1) Je možné v oblasti Krkonoš rozlišit spolehlivě na základě morfologických znaků na listech jednotlivé taxony zástupců rodu bříza? Pokud ano, jaké znaky to jsou? (2) Má zamokření vliv na projev některého z morfologických znaků? (3) Mohou být některé znaky ovlivněny komplexními stanovištními podmínkami, jež na jedince působí?

Pro zodpovězení stanovených otázek byla využita jak klasická morfometrika, tak morfometrika geometrická. Oba metodické přístupy byly porovnány a poté byl zhodnocen jejich přínos pro další výzkum.

MATERIÁL A METODIKA

Sběr dat

Sběr materiálu proběhl ve vegetační sezóně 2010 v oblasti Krkonoš. Sledovány byly celkem čtyři lokality (Labský důl, Obří důl, Velká Kotelní jáma a Malá Kotelní jáma), na nichž lze dle literatury (ÚRADNÍČEK et al. 2009; Florabase-FLDOK 2011) nebo ústního sdělení místních odborníků najít břízu bělokorou, břízu karpatskou a břízu pýřitou. Stručná charakteristika lokalit je uvedena v tab. 1.

Tab. 1.

Seznam sledovaných lokalit s vymezením počtu hodnocených jedinců a rozsahu nadmořské výšky, ve které byli jedinci odebráni
Localities, their altitude and number of evaluated trees

Název lokality /Locality	Nadmořská výška (m n. m.)/ Altitude [m]	Počet hodnocených jedinců/Number of individuals
Labský důl	910 – 1320	36
Velká Kotelní jáma	1 058 – 1 185	22
Malá Kotelní jáma	1 081 – 1 190	6
Obří důl	1 036 – 1 130	9

Sledováno bylo celkem 75 jedinců. Počet sledovaných jedinců na každé lokalitě byl určen zejména její rozlohou a dále velikostí a proměnlivostí populace břízy. Při výběru stromů bylo postupováno tak, aby byla rovnoměrně pokryta celá lokalita. U každého jedince byly zaznamenány také stanovištní charakteristiky a souřadnice GPS, aby bylo možné zpětně jedince dohledat. Z každého jedince byly odebrány dvě větvičky s plně vyvinutými asimilačními orgány. Každá větvička pocházela z jiné části koruny proto, aby byl eliminován vliv různé míry zastínění na velikost a tvar listů.

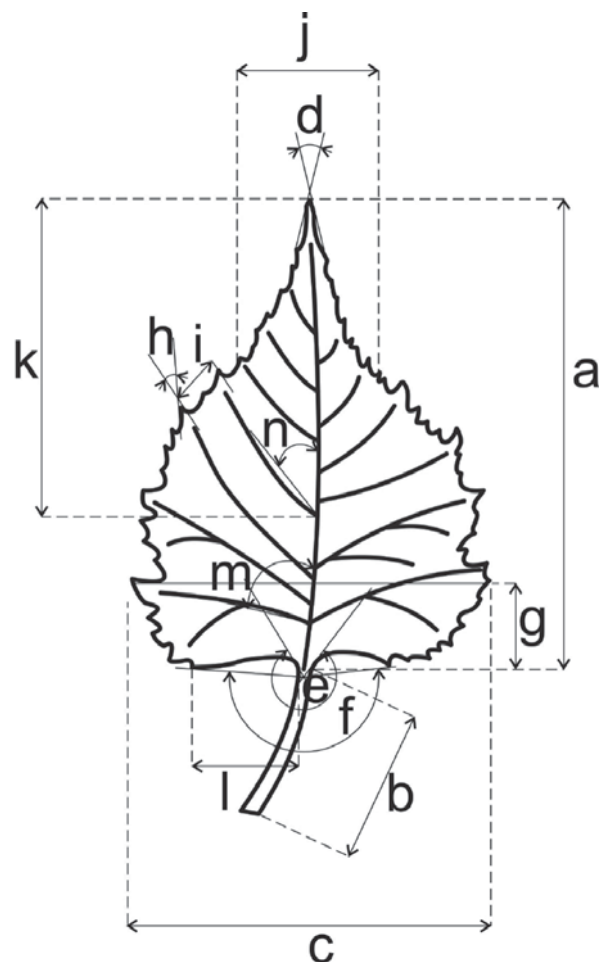
Po návratu z terénu byly odebrané větvičky herbarizovány. Z čerstvého materiálu byla dále v laboratoři metodou průtokové cytometrie stanovena velikost genomu, resp. stupeň ploidie každého jedince (viz KARLÍK et al. 2010). U dvou stromů nebylo možné z odebraného materiálu

stupeň ploidie stanovit, proto byli tito jedinci vyloučeni z dalších analýz. Pro konečné statistické vyhodnocení bylo tedy použito 73 vzorků.

Klasická morfometrika

Pro šetření pomocí klasických morfometrických metod byly z každé větvičky v laboratorních podmínkách měřeny dva listy. Morfometrické šetření bylo tedy provedeno na čtyřech listech u každého jedince. Výsledná hodnota sledovaného znaku pro každého jedince byla stanovena jako aritmetický průměr čtyř měření (listů). U každého jedince bylo sledováno celkem 22 primárních znaků a osm znaků poměrových (obr. 1, tab. 2). Znaky byly vybrány s ohledem na publikované výstupy jiných autorů, kteří se problematikou rodu bříza zabývali (GARDINER, JEFFERS 1962; GARDINER 1972; GILL, DAVY 1983; ATKINSON, CODLING 1986). Veličiny jako délka, šířka, vzdálenost byly měřeny pomocí pravítka s přesností na 0,5 mm. Úhly byly měřeny pomocí úhloměru s přesností na 1°. Odění listové čepele bylo sledováno s využitím binokulu Olympus SZH10.

Pro zodpovězení stanovených otázek byly naměřené hodnoty dále zpracovávány pomocí programu STATISTICA 9.1. Do analýz vstupovaly údaje o příslušnosti jedince k lokalitě, o vlhkostních poměrech, ve



Obr. 1.

Grafické znázornění vybraných morfologických znaků; zobrazeny jsou délkové a úhlové proměnné (a–n), jejichž charakteristika je uvedena v tab. 2

Fig. 1.

Scheme of morphological traits: length and angle variables (a–n), whose characteristic is presented in Tab. 2

Tab. 2.
Popis sledovaných morfologických znaků na listech
Description of leaf morphological traits

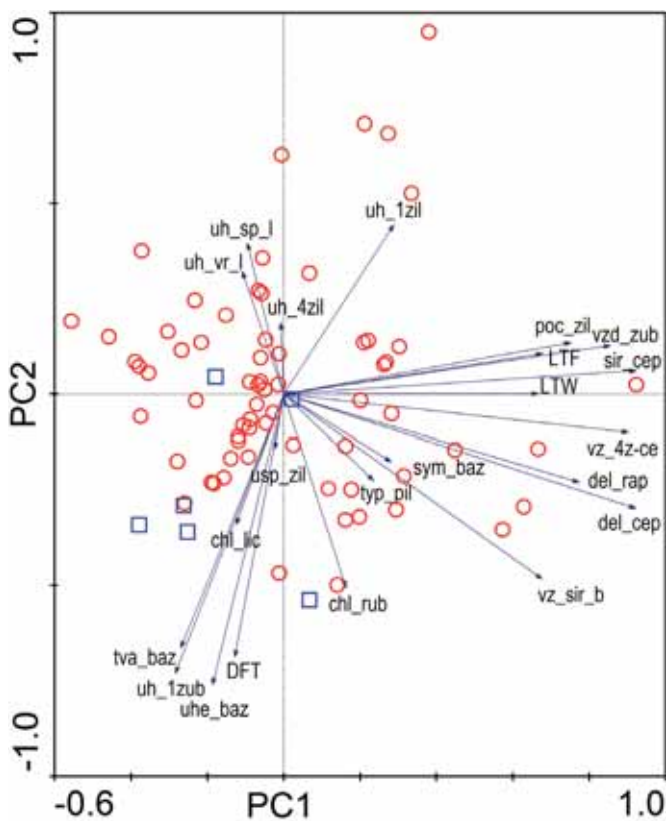
Znak/Trait	Popis znaku/Trait description	Kód znaku v obr. č. 1/Trait code in Fig. 1	Kód znaku v ordinačních diagramech/Trait code in ordination diagrams
délka listové čepelce/blade length	délka čepelce od báze ke špičce/length of blade from the base to the tip	a	del_cep
délka řápiku/petiole length		b	del_rap
šířka listové čepelce/blade width	šířka čepelce v nejširším místě (měřeno kolmo na hlavní žilku)/blade width in the widest part (measured perpendicular to midribs)	c	sir_cep
úhel špičky listové čepelce/apical angle	vnitřní úhel špičky/inner apical angle	d	uh_sp_l
úhel nasazení listové čepelce/angle of blade fitting	vnější úhel, kterým nasedá báze listové čepelce k řápiku/outer angle of fitting blade to petiole	e	uhe_baz
úhel báze listu/basal angle	vnější úhel, který je určen spojnicemi mezi bodem, v němž nasedá listová čepel k řápiku, a 1. zoubkem listové čepelce (na obou stranách listové čepelce)/outer angle of a connection line between the point of the beginning of the blade and the first tooth of the edge (both sides of blade)	f	uh_1zub
vzdálenost nejširšího místa čepelce od báze/position of the blade widest part		g	vz_sir_b
* úhel vroubení listu/leaf serration angle	úhel vroubení listu u 3. žilky od báze čepelce/angle of tooth of the third vein from a base blade	h	uh_vr_l
* vzdálenost mezi žilkami/distance between nerves	vzdálenost mezi zuby u třetí a čtvrté žilky (od báze čepelce)/distance between the teeth of third and the fourth vein (from the blade base)	i	vzd_zub
šířka listové čepelce v horní 1/4/blade width in the upper 1/4		j	LTW
* vzdálenost čtvrté žilky od špičky čepelce/distance from the fourth vein to the tip		k	vz_4z-ce
* vzdálenost prvního zoubku od báze čepelce/distance measured from the leaf base to the first tooth of the edge	vzdálenost určená počátkem řápiku a vrcholkem 1. zoubku čepelce/distance between the beginning of a petiole and the first tooth of blade apex	l	DFT
* úhel první žilky/angle between the first vein and midrib	úhel, který svírá spojnice mezi počátkem a koncem 1. žilky (od báze) s hlavní středovou žilkou/angle formed by connection line between the beginning and the end of first vein (from blade base) and midrib	m	uh_1zil
* úhel čtvrté žilky/angle between the fourth vein and midrib	úhel, který svírá spojnice mezi počátkem a koncem 4. žilky (od báze) s hlavní středovou žilkou/angle formed by connection line between the beginning and the end of fourth vein (from the blade base) and midrib	n	uh_4zil
* počet zubů mezi 3. a 4. žilkou/number of teeth between the third and the fourth vein			LTF
* počet postranních žilek/number of major veins			poc_zil

odění lícové strany/hairiness of a front blade side	hodnoceno na stupnici: 1 – list chlupatý po celé ploše, 2 – list řídce chlupatý po celé ploše, 3 – list chlupatý pouze na žilnatině, 4 – list řídce chlupatý na žilnatině, 5 – list lysý/scale: 1 – hairy blade on whole surface, 2 – blade with scattered hairs on whole surface, 3 – hairy blade on veins, 4 – blade with scattered hairs on veins, 5 – glabrous blade	chl_lic
odění rubové strany/hairiness of a reverse side of blade	hodnoceno na stupnici: 1 – list chlupatý po celé ploše, 2 – list řídce chlupatý po celé ploše, 3 – list chlupatý pouze na žilnatině, 4 – list řídce chlupatý na žilnatině, 5 – list chlupatý v paždí žilek, 6 – list řídce chlupatý v paždí žilek, 7 – list lysý/scale: 1 – hairy blade on whole surface, 2 – blade with scattered hairs on whole surface, 3 – hairy blade on veins, 4 – blade with scattered hairs on veins, 5 – blade hairy on axil, 6 – blade with scattered hairs on axil, 7 – glabrous blade	chl_rub
uspořádání žilek/order of veins	hodnoceno: 0 – párované, 1 – nepárované/scale: 0 – paired, 1 – non paired	usp_zil
symetrie báze/base symmetry	hodnoceno: 0 – symetrická, 1 – asymetrická/scale: 0 – symmetry, 1 – asymmetry	sym_baz
tvar báze/shape of base	hodnoceno: 1 – srdčitá (hloubka > 2 mm), 2 – téměř srdčitá (hloubka 0–2 mm), 3 – kulatá až tupá, 4 – utřátá, 5 – klínovitá až ostrá/scale: 1 – heart shaped (deep > 2mm), 2 – almost heart shaped (deep 0–2mm), 3 – round shaped, 4 – cut off, 5 – wedge shaped	tva_baz
typ pilování/type of serration	hodnoceno: 1 – jednotlivé, 2 – jednotlivé až mírně dvojitě, 3 – dvojitě, 4 – extrémně dvojitě/scale: 1 – individual, 2 – individual up to lightly doubled, 3 – doubled, 4 – extremely doubled	typ_pil
poměr mezi délkou čepele a řapíku/blade length/petiole length ratio	stanoveno jako a/b/ratio a/b	
poměr mezi délkou čepele a šířkou čepele/blade length/width ratio	stanoveno jako a/c/ratio a/c	
poměr délky čepele a vzdálenosti k prvnímu zoubku/ratio of blade length to distance measured from the leaf base to the first tooth of the edge	stanoveno jako a//ratio a//	
vzdálenost z úžlabí 4. žilky ke špičce čepele ku délce čepele/ratio of distance between the fourth vein to the tip and blade length	stanoveno jako k/a/ratio k/a	
vzdálenost nejširší části čepele ku délce čepele/ratio of position of the widest part of blade to blade length	stanoveno jako g/a/ratio g/a	
poměr úhlu 4. žilky ku úhlu 1. žilky/ratio of angle between the fourth vein and midrib to the angle between the first vein and midrib	stanoveno jako n/m/ratio n/m	
poměr úhlu nasazení báze čepele ku úhlu báze/ratio of angle of blade fitting to the basal angle	stanoveno jako e/f/ratio e/f	
Atkinson – hodnota diskriminační funkce podle ATKINSON, CODLING (1986)/Atkinson – result of discriminant function ATKINSON, CODLING (1986)	stanoveno jako (12 * počet zubů mezi 3. a 4. žilkou) + (2 * vzdálenost 1. zubu čepele od báze) – (2 * šířka listové čepele v horní ¼) – 23/result of function (12 * number of teeth between the third and the fourth vein) + (2 * distance measured from the leaf base to the first tooth of the edge) – (2 * width of blade in the upper ¼) – 23	

* měřeno na levé rubové straně listové čepele/measured on the left reverse side of blade

kterých strom rostl (dvoustavová proměnná sucho x mokro), a o stupni ploidy konkrétního jedince. Normalita dat byla zjišťována pomocí Kolmogorov-Smirnovova testu. Za účelem zlepšení distribuce hodnot proměnných s jiným než normálním rozdělením byla provedena transformace dat (odmocnění, zlogaritmování), normality však nebylo dosaženo. Při testování rozdílů hodnot mezi dvěma výběry (2n a 4n; sucho a mokro) byl v případě normálního rozdělení dat použit T-test, v opačném případě Mann-Whitneyův U-test. Pro veličiny nabývající pouze dvou alternativních hodnot (např. báze symetrická x nesymetrická) byl použit test homogenity dvou binomických rozdělení. Prováděny byly také analýzy porovnávající více výběrů. Rozdíly mezi čtyřmi zkoumanými lokalitami v jednotlivých měřených znacích byly zjišťovány pomocí parametrické analýzy variance a neparametrického Kruskal-Wallisova testu a testu homogenity několika binomických rozdělení. Konkrétní rozdíly mezi jednotlivými lokalitami byly zjišťovány pomocí post-hoc testů (blíže viz kap. výsledky).

Mnohorozměrné ordinační analýzy byly provedeny v programu CANOCO for Windows 4.5 (BRAAK, ŠMILAUER 2002). Byla použita nepřímá lineární metoda, tj. analýza hlavních komponent PCA. Škálování bylo zaměřeno na mezidruhové korelace; bylo provedeno centrování a standardizace proměnných.



Obr. 2.

PCA biplot všech měřených stromů; diploidní stromy jsou znázorněny čtvercem, tetraploidní jedinci kruhem; jednotlivé měřené morfologické znaky jsou označeny zkratkami, které jsou vysvětleny v tab. 2; první osa vysvětluje 28,5 % variability, druhá osa vysvětluje 15,6 % variability

Fig. 2.

PCA biplot of all measured trees; diploids are depicted by squares, tetraploids by circles; codes of a trait in ordination diagram are described in Tab. 2; the first axis explains 28.5 % of variability and the second axis explains 15.6 % of variability

Naměřených hodnot sledovaných znaků bylo dále využito ke stanovení diskriminační funkce rozlišující diploidní a tetraploidní jedince. Diskriminační funkce (1) byla určena pomocí krokové diskriminační analýzy s využitím programu R (R Development Core Team 2011). Nejdříve byla diskriminační funkce spočítána pro všechny spojitě kvantitativní proměnné, které byly na listech měřeny, a následně byla z modelu odstraněna proměnná nejméně přispívající ke schopnosti diskriminační funkce rozlišit mezi diploidními a tetraploidními jedinci. Tento krok byl opakován tak dlouho, dokud se nedospělo k diskriminační funkci pro praktické účely dostatečně jednoduché, přesto však ploidii dobře rozlišující.

Geometrická morfometrika

Hodnocení pomocí geometrické morfometrie, díky níž je možné uchopit zkoumaný objekt (list) jako celek, bylo provedeno také na čtyřech listech z každého jedince. Stejně jako v případě klasické morfometrie byly dva listy odebrány z jedné větvičky a druhé dva listy z větvičky jiné a výsledná hodnota pro jedince byla stanovena jako aritmetický průměr čtyř listů. Jednalo se vždy o jiné čtyři listy než ty, které byly použity pro hodnocení pomocí klasické morfometrie. Listy byly naskenovány pomocí skeneru HP Scanjet 4370. Vyhodnocení obrysů takto převedených listů do digitální podoby, kterých se využívá pro popis méně komplikovaných objektů, probíhalo pomocí programového balíku SHAPE ver. 1.3 (IWATA, UKAI 2002). Pro převod byly využity eliptické Fourierovy deskriptory (KUHL, GIARDINA 1982). Hodnoty koeficientů normalizovaných eliptických Fourierových deskriptorů byly vyhodnoceny pomocí analýzy hlavních komponent (na základě kovarianční matice) v programu PAST (HAMMER et al. 2001).

VÝSLEDKY

Rozlišení diploidních a tetraploidních jedinců

Na základě získaných dat byla pro všechny jedince provedena analýza PCA, která zahrnovala všechny sledované znaky. V grafickém výstupu jsou různými symboly odlišeni diploidní a tetraploidní jedinci. Stupeň ploidy daných jedinců byl stanoven pomocí metody průtokové cytometrie (KARLÍK et al. 2010). Celkem bylo touto metodou zjištěno šest diploidních jedinců (čtyři z Labského dolu a dva z Obřího dolu), zbylých 67 byli jedinci tetraploidní. Z ordinačního diagramu (obr. 2) je patrné, že diploidní jedinci náležející druhu *Betula pendula* jsou zastoupeni v levé dolní části diagramu.

Jednotlivé měřené znaky byly vyhodnocovány také pomocí jedno-rozměrné statistiky. Jako klasifikační proměnná (grouping variable) byla zvolena úroveň ploidy. Signifikantní rozdíl mezi tetraploidními a diploidními jedinci byl zjištěn u převážné většiny měřených znaků (tab. 3).

Při determinaci obtížně rozlišitelných taxonů lze využít diskriminačních funkcí, které v sobě zahrnují kombinaci více znaků. Takováto diskriminační funkce byla vytvořena pro odlišení diploidních a tetraploidních bříz britských ostrovů (ATKINSON, CODLING 1986). Její aplikace na náš datový soubor z Krkonoš podala vysoce signifikantní výsledky (obr. 3). Spolehlivost rozlišení diploidních a tetraploidních jedinců pomocí této funkce byla 98,7 %. Kroková diskriminační analýza souboru dat však ukázala, že ve sledované oblasti se jako vhodnější jeví využití kombinace znaků vzdálenost mezi žilkami (i), šířka listové čepele v horní ¼ (j) a vzdálenost prvního zoubku od báze čepele (l) v tomto tvaru:

$$y = (31 * i) - (10 * j) + (12 * l) - 166,$$

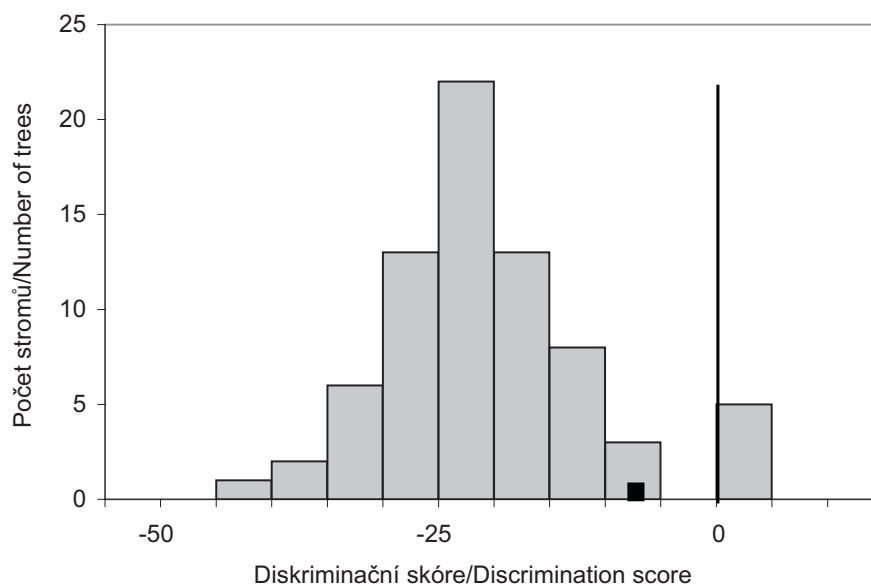
kdy kladné hodnoty y znamenají příslušnost k diploidní bříze bělokoré, záporné hodnoty pak příslušnost k tetraploidním zástupcům.

Tab. 3.

Průměrné hodnoty měřených znaků a výsledky testů pro diploidní a tetraploidní jedince
 Mean value of observed morphological traits and results for diploid and tetraploid individuals
 *** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05; ns. = result not significant

Kód/ Code	DF = 73; N – 4n = 67; N – 2n = 6	Průměr/ Mean 4n	Průměr/ Mean 2n	t-value	U- value	Q- value	Hladina významnosti p/Significance
1	délka čepele [mm]	37,05	33,83	1,20			0,2355 ns.
2	šířka čepele [mm]	30,08	25,50	2,08			0,0411 *
3	úhel báze listu	283,61	291,63		198,5		0,9678 ns.
4	úhel špičky listu	68,15	43,13	4,58			> 0,0001 ***
5	úhel vroubení listu – 3. žilka	65,35	46,08	3,71			0,0004 ***
6	délka řapíku [mm]	12,02	10,17	1,65			0,1031 ns.
7	vzdálenost nejširšího místa čepele od báze [mm]	15,75	12,46	2,37			0,0205 *
8	počet postranních žilek	5,43	4,96	1,85			0,0683 ns.
9	vzdálenost mezi žilkami [mm]	4,36	4,10	0,68			0,4994 ns.
10	počet zubů mezi 3. a 4. žilkou	1,11	1,33	-1,12			0,2675 ns.
11	šířka čepele listu v horní 1/4 listu [mm]	15,53	7,29	5,51			> 0,0001 ***
12	vzdálenost 1. zubu od báze čepele [mm]	9,16	11,29	-2,40			0,0192 *
13	úhel báze (k 1. zoubku)	242,24	254,75	-1,06			0,2916 ns.
14	odění lícové strany	2,320	5,041		42,5		0,0015 **
15	odění rubové strany	4,004	5,250		70,0		0,0088 **
16	úhel 1. žilky	41,10	46,33	-2,39			0,0197 *
17	úhel 4. žilky	31,61	35,38		91,0		0,0279 *
18	uspořádání žilek (párové x nepárové)	0,959	1,000			1,01	0,3125 ns.
19	symetrie báze (symetrická x asymetrická)	0,570	0,333			2,24	0,0249 *
20	tvár báze	4,399	4,917		119,5		0,1038 ns.
21	typ pilování	2,287	3,250		20,0		0,0003 ***
22	vzdálenost 4. žilky od špičky čepele	13,881	14,166	-0,15			0,8807 ns.
23	poměr mezi délkou čepele a délkou řapíku	3,150	3,353	-0,97			0,3361 ns.
24	poměr mezi délkou čepele a šířkou čepele	1,237	1,336	-1,97			0,0529 ns.
25	poměr délky čepele ku vzdálenosti 1. zubu	4,265	3,019	2,33			0,0227 *
26	vzdálenost z úžlabí 4. žilky ku délce čepele	0,368	0,418	-1,63			0,1068 ns.
27	vzdálenost nejširší části čepele ku délce čepele	0,425	0,370	2,59			0,0116 *
28	poměr úhlu 4. žilky ku úhlu 1. žilky	0,774	0,768		192,0		0,8645 ns.
29	poměr úhlu nasazení báze ku úhlu báze (1. zoubek)	1,176	1,157	0,40			0,6870 ns.
30	Atkinson – diskriminační funkce	-22,48	1,00	-8,33			> 0,0001 ***

Codes of morphological traits: 1. blade length, 2. blade width, 3. angle of blade fitting, 4. apical angle, 5. leaf serration angle – third vein, 6. petiole length, 7. position of the widest part of blade, 8. number of major veins, 9. distance between nerves, 10. number of teeth between the third and the fourth vein, 11. blade width in the upper ¼, 12. distance measured from the leaf base to the first tooth of the edge, 13. basal angle (to first tooth), 14. hairiness of a front blade side, 15. hairiness of a reverse blade side, 16. angle between the first vein and midrib, 17. angle between the fourth vein and midrib, 18. order of veins (paired x non paired), 19. base symmetry (symmetry x asymmetry), 20. base shape, 21. type of serration, 22. distance from the fourth vein to the tip, 23. blade length/petiole length ratio, 24. blade length/width ratio, 25. ratio of blade length to distance measured from the leaf base to the first tooth of the edge, 26. ratio of distance between the fourth vein to the tip and blade length, 27. ratio of position of the widest part of blade to blade length, 28. ratio of angle between the fourth vein and midrib to the angle between the first vein and midrib, 29. ratio of angle of blade fitting to the basal angle (to the first tooth), 30. Atkinson – result of discriminant function ATKINSON, CODLING (1986)

**Obr. 3.**

Graf hodnot diskriminační funkce ATKINSON, CODLING (1986) rozlišující diploidní (pravá část grafu) a tetraploidní jedince bříz (levá část); tmavý sloupec vyznačuje nesprávně zařazené jedince

Fig. 3.

Chart of a discrimination function ATKINSON, CODLING (1986), which sets apart diploid (right side of the chart) and tetraploid (left side) individuals of birch species; small black square represents incorrectly classified individuals by the model

Tento vzorec zařadil správně (v souladu s výsledky cytometrických analýz) 100 % jedinců (obr. 4).

Vyhodnocení tetraploidních jedinců

Pro další vyhodnocení dat byli využiti jen tetraploidní jedinci (N = 67). Tetraploidní jedinci rostoucí na území Krkonoš mohou náležet několika drobným taxonům, jejichž rozlišení je jedním z hlavních cílů této práce. Oproti tomu diploidní jedinci spadají pouze do jediného druhu – bříza bělokora (*Betula pendula*). Těchto diploidních bříz bylo proto odebráno méně (N = 6) a dále se jimi v práci již více nezabýváme.

Variabilita tetraploidních bříz může být způsobena v podstatě dvěma faktory: vlivem konkrétních stanovištních podmínek ovlivňujících fenotyp a přítomností různých drobných taxonů.

Vliv vlhkosti

Jedinou stanovištní proměnou, která byla odečítána pro každého jedince přímo na lokalitě, byl údaj, zda bříza roste na suchém nebo mokřem stanovišti. Domníváme se, že tato proměnná má zásadní vliv na projev fenotypu konkrétního taxonu a také že by se v případě výskytu více drobných taxonů projevila stanovištní preference různých taxonů na různou míru zamokření. Analýza byla provedena pomocí dvouvýběrového testu. V případě normálního rozdělení dat byl využit T-test, v případě jiného rozložení dat byl použit Mann-Whitneyův U-test. Normalita dat byla testována Kolmogorov-Smirnovovým testem.

Jediným znakem, který se alespoň blížil hladině významnosti $\alpha = 0,05$, je poměr úhlu nasazení 4. žilky k úhlu nasazení 1. žilky (obr. 5; Mean Sucho = 0,7597, Mean Mokro = 0,8347, T-value: -1,9681, p = 0,0533).

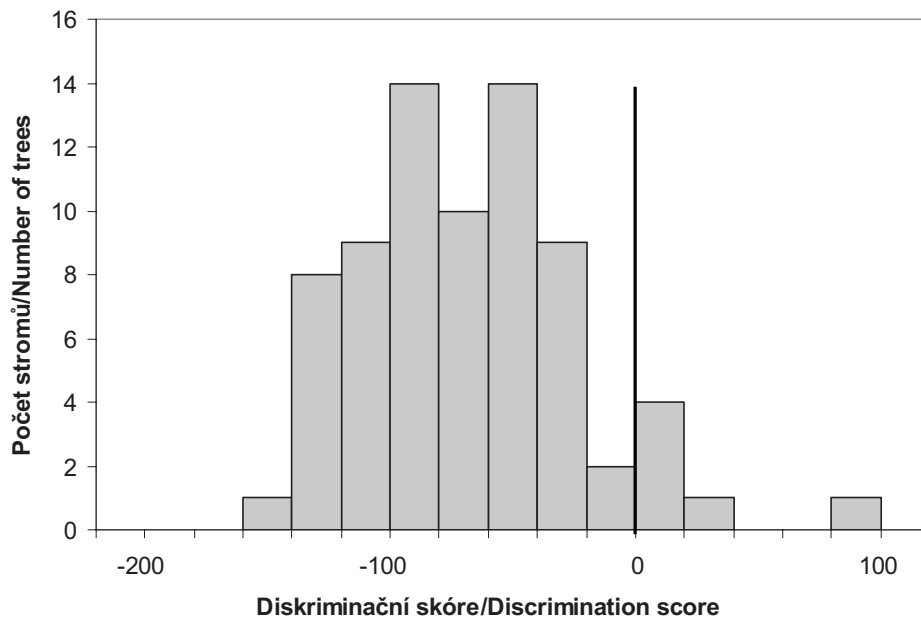
Vliv lokalit

Základní přehled o struktuře datového souboru poskytuje ordinační diagram na obr. 6, kde jsou různými symboly vyznačeny stromy příslušející k jednotlivým lokalitám. Z grafu je patrné, že se v pravé dolní části vylíší břízy z Obřího dolu a v levé polovině diagramu jedinci z Malé Kotelní jámy.

Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami byly dále zjišťovány pomocí analýzy variance a neparametrického Kruskal-Wallisova testu (tab. 4). Signifikantní rozdíly byly zaznamenány u 12 z celkové 30 hodnocených znaků. Konkrétní rozdíly mezi jednotlivými lokalitami byly stanoveny pomocí post-hoc testů a jsou ve zmíněné tabulce uvedeny pomocí odlišných písmen. Primárně byla využita modifikace Tukeyho HSD post-hoc testu pro nestejný počet opakování (tzv. „Unequal N HSD“ test). Ve čtyřech případech (úhel špičky listu, vzdálenost nejširšího místa čepele od báze, úhel 1. žilky, vzdálenost nejširší části čepele ku délce čepele) ukázal signifikantní výsledek analýzy variance rozdíl mezi alespoň dvěma lokalitami, avšak následný HSD post-hoc test neukázal žádné konkrétní lokality, mezi kterými by tento rozdíl měl být. Toto je způsobeno tím, že výsledek analýzy variance nebyl příliš signifikantní. Dostí silný HSD post-hoc test tyto rozdíly za signifikantní přítom nepovažoval. V uvedených čtyřech případech byla do tab. 4 použita indikace rozdílů mezi konkrétními lokalitami na základě liberálnějšího Newman-Keulsova testu.

Geometrická morfometrika

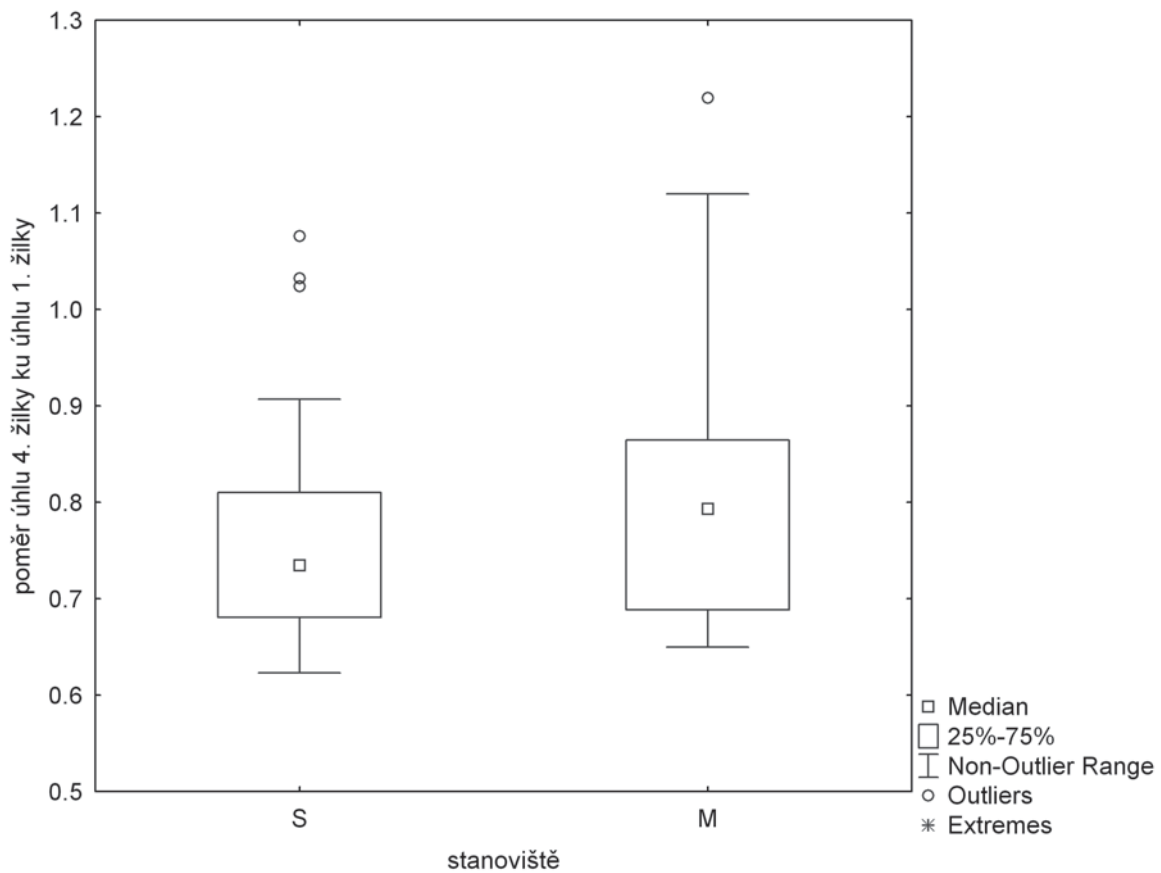
Také výsledky geometricko-morfometrických analýz tetraploidních jedinců naznačují, že populace pocházející z Obřího dolu je více odlišná od ostatních populací (obr. 7). Jedinci rostoucí na této lokalitě (pozice v grafu znázorněna čtvercem) leží v grafu na ose PC1 spíše v záporných hodnotách, zatímco jedinci v ostatních populacích jsou zastoupeni v obou částech osy (osa PC1 popisuje 73,5 % variability, osa PC2 popisuje 10 % variability).

**Obr. 4.**

Graf hodnot nově navržené diskriminační funkce v tomto příspěvku, která rozlišuje diploidní (pravá část grafu) a tetraploidní (levá část) jedince břízy.

Fig. 4.

Chart of a newly developed discrimination function which sets apart diploid (right side of the chart) and tetraploid (left side) individuals of birch species

**Obr. 5.**

Krabicový diagram hodnot poměru úhlu 4. žilky k úhlu 1. žilky v závislosti na vlhkosti stanoviště (S – sucho, M – mokro)

Fig. 5.

Box and Whiskers plot of a ratio of angle between the fourth vein and midrib to the angle between the first vein and midrib in dependence on moisture regime of a site (S – dry, M – water-logged)

Tab. 4.

Průměrné hodnoty (mean), směrodatné odchylky (SD) měřených znaků u tetraploidních brýz v rámci jednotlivých lokalit a výsledky testů zjišťujících rozdíly mezi lokalitami; odlišná písmena v řádcích za hodnotami jednotlivých charakteristik značí průkazně odlišné rozdíly mezi lokalitami, jímž hodnoty s odlišnými písmeny přísluší

Means and standard deviation of measured traits in particular tetraploid birch populations and test results of their comparison; different letter indexes at the values in the table lines denote significant differences in the evaluated characteristics among the compared localities

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05; ns. = result not significant

Kód/ Code	Znak/Trait	Labský důl (N = 32)			Velká Kotelní jáma (N = 22)			Malá Kotelní jáma (N = 6)			Obří důl (N = 7)			Výsledky testů/Test results			Hladina významnosti p/Significance	
		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		F (one-way ANOVA)	H (Kruskal-Wallis)	Q-test	p	Sign.
1	délka čepele [mm]	36,73	ab	5,59	36,18	a	6,47	32,79	a	3,81	44,86	b	6,54	5,36		0,0023	**	
2	šířka čepele [mm]	30,04	ab	4,62	29,48	ab	5,41	26,33	a	2,65	35,36	b	6,22	3,91		0,0126	*	
3	úhel báze listu	285,66		33,17	278,58		37,60	284,17		13,88	289,54		14,60	1,23		0,7456	ns.	
4	úhel špičky listu	64,70	a	9,22	72,23	ab	11,33	78,50	b	17,37	62,21	a	16,32	4,08		0,0104	*	
5	úhel vroubení listu – 3. žilka	65,97		11,48	63,52		12,01	75,92		15,81	59,18		10,98	2,36		0,0797	ns.	
6	délka řapíku [mm]	12,28		2,45	11,34		2,84	10,67		0,98	14,14		3,37	2,69		0,0540	ns.	
7	vzdálenost nejširšího místa čepele od báze [mm]	15,03	a	3,11	15,86	a	3,59	15,46	a	2,81	18,89	b	2,67	2,78		0,0483	*	
8	počet postranních žilek	5,34	ab	0,56	5,48	ab	0,65	5,00	a	0,35	6,07	b	0,43	4,53		0,0061	**	
9	vzdálenost mezi zuby u 3. a 4. žilky [mm]	4,45	ab	0,85	4,20	ab	0,89	3,60	a	0,31	5,09	b	0,79	3,85		0,0135	*	
10	počet zubů mezi 3. a 4. žilkou	1,19		0,42	1,06		0,64	0,75		0,27	1,18		0,28	1,48		0,2280	ns.	
11	šířka čepele listu v horní 1/4 listu [mm]	14,73		3,23	16,19		3,41	14,71		2,50	17,86		5,62	1,93		0,1343	ns.	
12	vzdálenost 1. zubu od báze čepele [mm]	8,85		2,21	9,80		2,22	8,58		0,92	9,07		1,87	1,05		0,3775	ns.	
13	úhel báze (k 1. zoubku)	244,17		25,65	236,25		31,94	227,79		20,51	264,64		13,61	2,65		0,0567	ns.	
14	oděnění lícové strany	2,500		0,84	1,970		0,81	2,500		0,32	2,464		0,89	7,60		0,0550	ns.	
15	oděnění rubové strany	4,227	a	1,03	3,489	b	0,70	3,958	ab	0,56	4,643	ab	0,89	14,63		0,0022	**	
16	úhel 1. žilky	42,44	a	4,46	39,38	ab	6,17	36,79	b	2,22	44,11	a	4,16	4,05		0,0107	*	
17	úhel 4. žilky	32,10	ab	5,95	29,28	a	3,08	30,46	ab	3,07	37,68	b	7,36	8,22		0,0417	*	
18	uspořádání žilek (párové x nepárové)	0,977		0,07	0,920		0,12	0,958		0,10	1,000		0,00	7,08		0,1317	ns.	
19	symetrie báze (symetrická x asymetrická)	0,555		0,24	0,546		0,23	0,667		0,34	0,643		0,28	2,34		0,6735	ns.	
20	tvár báze	4,266		0,86	4,421		0,87	4,458		0,64	4,893		0,20	3,86		0,2767	ns.	

21	typ pilování	2,289	0,38	2,352	0,49	1,958	0,10	2,357	0,38	6,08	0,1077	ns.
22	vzdálenost 4. žilky od špičky čepelce	13,84	a	13,29	a	9,42	a	19,75	b	7,89	0,0002	***
23	poměr mezi délkou čepelce a délkou řapíku	3,052	0,50	3,276	0,53	3,101	0,48	3,242	0,41	0,97	0,4103	ns.
24	poměr mezi délkou čepelce a šířkou čepelce	1,227	0,10	1,235	0,13	1,251	0,16	1,278	0,12	0,39	0,7632	ns.
25	poměr délky čepelce ku vzdálenosti 1. zubu	4,393	1,33	3,932	1,40	3,867	0,68	5,069	0,92	1,72	0,1710	ns.
26	vzdálenost z úžlabí 4. žilky ku délce čepelce	0,374	ab	0,360	ab	0,286	a	0,438	b	6,46	0,0007	***
27	vzdálenost nejširší části čepelce ku délce čepelce	0,409	a	0,437	ab	0,470	b	0,422	ab	3,47	0,0211	*
28	poměr úhlu 4. žilky ku úhlu 1. žilky	0,760	0,14	0,754	0,10	0,828	0,07	0,856	0,16	1,71	0,1730	ns.
29	poměr úhlu nasazení báze ku úhlu báze (1. zoubek)	1,175	0,12	1,185	0,10	1,254	0,11	1,095	0,06	2,43	0,0733	ns.
30	Atkinson – diskriminační funkce	-20,50	6,69	-23,07	4,99	-26,25	4,50	-26,43	10,72	2,54	0,0640	ns.

Note: for codes of morphological traits see Tab. 3

Vyhodnocení tetraploidních jedinců

V oblasti Krkonoš, ale i v rámci námi zkoumaných lokalit, by se podle regionálně-floristických údajů měla nacházet jak bříza karpatská, tak i bříza pýřitá. Musíme však počítat i s dalšími dvěma scénáři, a sice že se v Krkonoších objevuje jediný, variabilní tetraploidní taxon bříz a také že se zde může vyskytovat ještě vyšší počet drobných taxonů, které dosud nebyly dostatečně rozlišovány (např. provizorně popsaná *B. petraea* nebo pro území ČR značně pochybná severská *B. tortuosa*; rešerše k tématu viz KARLÍK 2010).

Získané výsledky neukazují zcela jednoznačný výskyt více tetraploidních taxonů. Uvědomujeme si, že nezřetelnost výsledků mohou způsobovat nerovnoměrné počty hodnocených jedinců na lokalitách. Ty jsou však dané rozdílnou velikostí lokalit a rozdílnou abundancí bříz na nich rostoucích.

Z ordinačního diagramu analýzy PCA (obr. 6) je možné vysledovat, že se z datového souboru výrazněji odlišuje zejména lokalita Obří důl. Část jedinců vykazuje značně odchylné hodnoty sledovaných znaků, které naznačují, že by se mohlo jednat o břízu pýřitou. Pak se ale bude na lokalitě Obří důl vyskytovat smíšená populace tetraploidních bříz, protože je tam (uvážíme-li nízký počet zkoumaných stromů) poměrně značný rozptyl naměřených morfometrických hodnot (tab. 4, obr. 6). Pro determinaci (alespoň části) stromů z Obřího dolu jako bříza pýřitá hovoří několik okolností. Listy na této lokalitě jsou zejména silně chlupaté, což je významný kvantitativní znak právě pro *B. pubescens*. Stanovištní podmínky jsou zde poněkud příznivější – zkoumané stromy rostly v poněkud nižší nadmořské výšce. Naměřené znaky zde ostře kontrastují s Kotelními jámami (zejména s konzistentnější lokalitou „Malá Kotelní jáma“), kde se jedná o kary s extrémními a silně reliktními podmínkami, které jsou naopak optimální pro výrazně oreofytní *Betula carpatica*. Nastíněnou hypotézu však bude nezbytné ověřit molekulárními metodami.

Břízy v Obřím dole měly také největší listy (délka a šířka listu a s nimi do značné míry související další dvě proměnné: vzdálenost nejširšího místa od báze a vzdálenost 4. žilky od špičky čepelce), což by mohla být další indicie k doložení výskytu odlišného taxonu (konkr. *B. pubescens*). Je však možné, že největší listy souvisejí s nejpříznivějšími stanovištními podmínkami Obřího dolu ze všech zkoumaných lokalit. Na obezřetnost při vyhodnocování velikosti listu jako jednoho z morfologických znaků upozorňuje GARDINER (1972). Velikost listu může velmi silně ovlivňovat výsledky a zastínit tak vliv znaků jiných, a proto v analýzách navrhuje použití spíše znaků poměrových. Velkou proměnlivost morfologických znaků, zejména u zástupců tetraploidních taxonů bříz, uvádí i GILL a DAVY (1983).

Vliv vlhkosti

Na projev morfologických znaků mohou mít vliv stanovištní poměry konkrétního stanoviště. Například u břízy bělokoré byly pozorovány korelace s environmentálními faktory v počtu žilek a zoubků na listové čepeli (KOVAČIČ, NIKOLIĆ 2005) nebo ve velikosti listové čepelce (FRANIEL, WIĘSKI 2005). V této studii vyhodnocujeme vlhkostní poměry stanoviště. Testována byla hypotéza, že na vlhkých stanovištích budou jedinci podobní spíše taxonu *B. pubescens* a na suchých stanovištích budou jedinci s morfologickými znaky popsány spíše pro *B. carpatica*. Na základě sebraných dat se však nezdá, že by morfologické vlastnosti byly vlhkostí stanoviště ovlivněny. Pouze jediný znak, konkrétně poměr úhlu 4. žilky ku úhlu 1. žilky, se blíží k hranici slabě signifikantní závislosti. Neprůkaznost vlivu vlhkosti však může být dána zejména výběrem pouhých čtyř lokalit (kde nemusí být *B. pubescens* dostatečně zastoupena) a také nerovnoměrným rozložením stanovišť dle vlhkosti (na suchých stanovištích rostlo 54 zástupců a na mokřích stanovištích 13 zástupců tetraploidních bříz).

Porovnání metod klasické a geometrické morfometricky

Provedením obou metod jsme dospěli k podobným výsledkům. Použití klasické morfometricky nicméně výrazněji ukazuje na variabilitu datového souboru (zejména na odlišnost Obřího dolu). Zda-li se jedná o nepodstatné znaky a artefakty a nebo zda jsou to rozdíly reflektující taxonomickou variabilitu dat, pomůže rozhodnout plánované provedení molekulárních analýz. Výhodou geometrické morfometricky je zejména celkově menší časová náročnost na získávání primárních dat. Hlavní výhodou klasické morfometricky je možnost identifikace konkrétních morfologických znaků, jimiž se taxony nejvýrazněji odlišují, a které lze následně aplikovat na běžné určování v terénu pro potřeby lesnické praxe, ochrany přírody i základního výzkumu (floristické mapování, fytoecologické snímkování).

Poděkování:

Tento příspěvek vznikl za podpory grantových projektů CIGA ČZU 20104308 „Vztah populací břízy karpatské a typu stanoviště ve vrcholových horských polohách“, NAZV QH92087 „Funkční potenciál vybraných listnatých dřevin a jejich vnášení do jehličnatých porostů v Jizerských horách“, IGA FLD 201130 „Analýza genetických vztahů populací horských bříz“ a MŠMT ČR 2B06012 „Management biodiverzity v Krkonoších a na Šumavě“.

Poděkování patří také inženýru Martinovi Čížkovi, jenž nám pomohl se zpracováním grafických výstupů v programu COREL, a kolegům z regionu, kteří nám doporučili lokality pro sběr materiálu a pomohli zajistit provedení terénních prací.

ZÁVĚR

Určování bříz může být v prostoru střední Evropy obtížné, což je dáno alopolyloidním původem drobnějších taxonů. I v oblasti Krkonoš se zdá, že rozlišování drobnějších taxonů je nesnadné. Vliv vlhkosti stanoviště na morfologickou variabilitu listů byl sice neprůkazný, nicméně významný vliv lokálních stanovištních podmínek na variabilitu listů je pravděpodobný. Spolehlivě se podařilo rozlišit pouze příslušníky břízy bělokoré od ostatních stromových bříz. Pro toto rozlišení se zdá přínosné využití nově navrhované diskriminační funkce, avšak její spolehlivost je nutně ověřit ještě na dalších jedincích. Jednotlivé taxony tetraploidních bříz (pokud ve skutečnosti existují) se s využitím morfologických znaků na listech spolehlivě rozlišit nepodařilo. Na základě dosavadní zkušenosti předpokládáme, že se ve vyšších polohách Krkonoš vyskytuje převážně bříza karpatská *Betula carpatica*. Na jedné lokalitě (Obří důl) se zřejmě vyskytuje směsná populace břízy karpatské s jiným tetraploidním taxonem, zřejmě břízou pýřitou *B. pubescens*. Pro potvrzení této hypotézy by však bylo zapotřebí odběru materiálu z dalších stromů a lokalit a především plánované provedení molekulárních analýz.

Geometrická morfometrika se pro postžení morfologické variability listů bříz projevila jako použitelná a efektivní metoda, avšak neumožňuje jasné stanovení konkrétních klíčových determinačních znaků. To je ale dáno podstatou využití metody, která pracuje s analýzou obrysu, jež objekt hodnotí jako celek.

LITERATURA

- ATKINSON M. D., CODLING A. N. 1986. A reliable method for distinguishing between *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Watsonia*, 16: 75-76.
- BALÁŠ M., KUNEŠ I., ZAHRADNÍK D. 2010. Reakce břízy karpatské na vápnění a přihnojení dusíkem. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55: 106-113.
- BRAAK C.J.F. TER, ŠMILAUER P. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for Canonical community ordination (version 4.5). *Wageninien, Biometris*: 500 s.
- Florabase – FLDOK. 2011. Databanka flóry České republiky. [online]. [cit. 24. 6. 2011]. Dostupné na World Wide Web: <http://florabase.cz/databanka/index.php>.
- FRANIEL I., WIĘSKI K. 2005. Leaf features of silver birch (*Betula pendula* Roth). Variability within and between two populations (uncontaminated vs Pb-contaminated and Zn-contaminated site). *Trees*, 19: 81-88.
- GARDINER A. S., JEFFERS J. N. R. 1962. Analysis of the collective species *B. alba* L. on the basis of leaf measurements. *Silvae Genetica*, 11 (5/6): 125-76.
- GARDINER A. S. 1972. A review of the sub-species *carpatica* and *tortuosa* within the species *Betula pubescens* Ehrh. *Botanical Journal of Scotland*, 41: 451-459.
- GILL J. A., DAVY A. J. 1983. Variation and polyploidy within lowland populations of the *Betula pendula/Betula pubescens* complex. *New Phytologist*, 94: 433-451.
- HAMMER Ø., HARPER D. A. T., RYAN, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. [online]. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 9 s. [cit. 25. 2. 2011]. Dostupné na World Wide Web: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf.
- IWATA H., UKAI Y. 2002. SHAPE: A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*, 93: 384-385.
- KARLÍK P. 2010. Taxonomická problematika bříz *Betula* L. v České republice se zvláštním zřetelem na drobné taxony z okruhu břízy pýřité *Betula pubescens* agg. In: Prknová, H. (ed.): *Bříza – strom roku 2010*. Kostelec nad Černými lesy, 23. září 2010. Praha, Česká zemědělská univerzita: 61-65.
- KARLÍK P. et al. 2010. Problematika určování druhů bříz *Betula* L. ve světle průtokové cytometrie. In: Prknová, H. (ed.): *Bříza – strom roku 2010*. Kostelec nad Černými lesy, 23. září 2010. Praha, Česká zemědělská univerzita: 51-56.
- KOVAČIĆ S., NIKOLIĆ T. 2005. Relations between *Betula pendula* Roth. (*Betulaceae*) leaf morphology and environmental factors in five regions of Croatia. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 47 (2): 7-13.
- KŘÍŽ Z. 1990. *Betula* L. – bříza. In: Hejný S. & Slavík B. (eds): *Květena České republiky 2*. Praha, Academia: 36-46.
- KUHL F. P., GIARDINA C. R. 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*, 18: 236-258.
- KUNEŠ I., BALCAR V., ZAHRADNÍK D. 2007. Influence of a planting hole application of dolomitic limestone powder and basalt grit on the growth of Carpathian birch (*Betula carpatica* W. et K.) and soil chemistry in the air-polluted Jizerské hory Mts. *Journal of Forest Science*, 53: 505-515.
- KUNEŠ I. et al. 2010. Bříza byla a zůstává tématem pro lesnický provoz i výzkum. In: Prknová, H. (ed.): *Bříza – strom roku 2010*. Kostelec nad Černými lesy, 23. září 2010. Praha, Česká zemědělská univerzita: 32-36.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. [online]. Vienna, Austria. [cit. 15. 7. 2011]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.R-project.org/>.
- ULBRICHOVÁ I., PODRÁZSKÝ V., KOUBA M. 2010. Potenciál břízy pro obnovu buldozerových ploch v Krušných horách. In: Prknová, H. (ed.): *Bříza – strom roku 2010*. Kostelec nad Černými lesy, 23. září 2010. Praha, Česká zemědělská univerzita: 72-77.
- ŮRADNÍČEK L. et al. 2009. *Dřeviny České republiky*. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 367 s.

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF BIRCH GENUS (*Betula* L.) IN THE KRKONOŠE MTS WITH FOCUS ON THE TETRAPLOID TAXA**SUMMARY**

Recently, birch (*Betula* spp.) is widely used in forestry practice. The individual birch species are, nevertheless, hard to distinguish; they have highly variable morphological traits. In particular, the tetraploid birches related to *Betula pubescens* including *Betula carpatica* are very problematic species to determine. With respect to these facts, the aim of our study was to evaluate the power of morphological traits measured on leaves when applied on birch species in the Giant Mountains (Krkonoše). Another objective was to determine which of these traits are mostly influenced by environmental conditions. To answer these specific questions, 4 locations (Tab. 1) in the Giant Mountains were selected to study local populations of various birch species by means of traditional and geometric morphometrics. Traditional morphometrics used 22 primary traits and 8 proportional traits (Fig. 1, Tab. 2). Diploid and tetraploid individuals were distinguished by comparing all morphologic traits in PCA analysis (Fig. 2). Statistically significant difference was observed in 14 traits (Tab. 3). Discrimination functions appeared to be a good solution for distinguishing the diploid and tetraploid individuals in studied region. Specific function published by ATKINSON, CODLING (1986) with discrimination power 98.7% was used. In addition we developed a new function: $y = (31 * i) - (10 * j) + (12 * l) - 166$ with 100% reliability on our data set (Fig. 3, 4). Statistically significant influence of water logged site was not observed in any of the traits. However, there was one trait in which the significance level approached $\alpha = 0.005$ (Fig. 5). To visualize a structure of tetraploid trees a data set ordination diagram was created (Fig. 6). There can be seen that birches from Obří důl valley are separated in the lower right corner and samples from Malá Kotelní jáma are separated in the left part of the diagram. Differences among sites in various traits were assessed also with ANOVA and Kruskal-Wallis test (Tab. 4). From 30 evaluated traits 12 were statistically significant. Different leaf profiles on studied sites were observed using geometric morphometrics – program package SHAPE ver. 1.3 (IWATA, UKAI 2002). This analysis also confirmed a major divergence of location Obří důl valley (Fig. 7).

Based on these results it can be concluded that diploid and tetraploid birches can be distinguished within the Giant Mountains (Krkonoše) region (especially with the utilization of the newly developed discrimination function). Influence of water logging on any of studied traits was not confirmed. Determination of particular tetraploid species by morphological methods was not yet successful, although some trends observed in other regions can be traced. According to recent results *Betula carpatica* seems to prevail in the Giant Mountains, whereas other taxa are locally rather less common species.

To verify this hypothesis and to find reliable traits to determine tetraploid species, molecular methods will have to be utilized in further research.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jana Ešnerová, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbátka, Česká republika
tel.: 224 383 792; e-mail: esnerova@fld.czu.cz