

MORFOLOŠKA VARIJABILNOST LISTA MAKEDONSKOGA HRASTA (*Quercus trojana* Webb.) U BOSNI I HERCEGOVINI I CRNOJ GORI

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF THE LEAVES OF THE MACEDONIAN OAK (*Quercus trojana* Webb.) IN BOSNIA AND HERZEGOVINA AND MONTENEGRO

Dalibor BALLIAN¹, Alma HAJRUDINOVIĆ¹, Jozo FRANJIĆ², Faruk BOGUNIĆ¹

Sažetak

U radu je provedena morfometrijska analiza svojstava lista makedonskoga hrasta (*Q. trojana*) iz Bosne i Hercegovine i Crne Gore. Analizom je obuhvaćeno 13 populacija s ukupno 130 jedinki. Cilj je bio kroz analizu varijabilnosti morfoloških svojstava lista iz populacija, koje pripadaju malim i izrazito fragmentiranim populacijama, utvrditi stupanj njihove diferenciranosti i odrediti svojstva koja najbolje ukazuju na međupopulacijske razlike. Na osnovi provedene analize glavnih komponenti (PCA) nije utvrđeno jasno i logično grupiranje s obzirom na geografski raspored istraživanih populacija. Morfološka svojstva koja su najviše povezana s razlikovanjem populacija pokazala su relativno niske i umjerene vrijednosti s PC osima, čije su maksimalne vrijednosti korelacije iznosile $\leq 0,554$. Klsterska analiza je istovjetna rezultatima PCA i upućuje na postojanje dvije skupine populacija koje nisu geografski logično raspoređene. Rezultati deskriptivne i univarijatne statističke analize ukazali su na izraženu varijabilnost morfoloških svojstava lista između populacija, te prisutnost značajnih razlika po pojedinačnim svojstvima. Dobivene su značajne razlike na međupopulacijskoj razini, s tim da su unutarpopulacijske (individualne) statistički značajnije nego međupopulacijske.

KLJUČNE RIJEČI: *Quercus trojana*, morfologija lista, međupopulacijska i unutarpopulacijska varijabilnost.

Uvod

Introduction

Makedonski hrast (*Quercus trojana* Webb., = *Q. macedonica* DC.) predstavlja tipični istočnomediterranski florni element. Vrsta pripada zimzelenim hrastovima podroda *Cerris*, sekcije *Cerris* (Bellarosa i dr. 2005). Krajnji istočni areal nalazi

se u Turskoj i proteže se preko Bugarske, Grčke, Albanije do jugozapadne Hercegovine gdje mu se nalazi krajnji sjeverozapadni areal (Jalas i Suominen 1976; Christensen 1997). Utvrđeno je i jedino nalazište ove vrste u južnoj Hrvatskoj, Unešići u Dalmatinskoj zagori (Trinajstić 1974; Nikolić 2013). Također, male i izolirane populacije nalaze se i u Italiji (Schirone i Spada 2000). Areal makedonskoga hra-

¹ Prof. dr. sc. Dalibor Ballian, e-mail: balliandalibor9@gmail.com, mr. sc. Alma Hajrudinović, e-mail: alma.hajrudinovic@gmail.com, prof. dr. sc. Faruk Bogunić, e-mail: faruk.bogunic@gmail.com, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina,

² Prof. dr. sc. Jozo Franjić, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: franjic@sumfak.hr

sta je diskontinuiran, a posebice je ta diskontinuiranost izražena na krajnjem sjeverozapadnom dijelu rasprostranjenosti u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori (Stefanović i dr. 1983). Općenito, nastanjuje izrazito sušna staništa u području mediteranske i submediteranske klime, uglavnom staništa na vapnenačkoj podlozi, tvoreći čiste sastojine manjih površina ili se miješa s drugim vrstama termofilnih hrastova i s bjelograbićem (Stefanović i dr. 1983; Zieliński i dr. 2006). Karakterizira ga izrazita morfološka varijabilnost, pa su unutar arela opisane tri podvrste makedonskoga hrasta – ssp. *trojana*, ssp. *euboica* (Papaioannou) K. I. Christensen i ssp. *yaltirikii* Zieliński (Christensen 1997; Zieliński i dr. 2006). Svoje su opisane na osnovi karakteristika lista. Najrašireniji i najčešći tip lista tipske podvrste u području rasprostranjenosti vrste je list koji je rijetko do slabo dlakav ili potpuno gol, dok se ostale dvije podvrste razlikuju s obzirom na dlakavost lista (Zieliński i dr. 2006).

Morfološka je varijabilnost makedonskoga hrasta istraživana za područje bivše Jugoslavije (Jovančević 1965). Iako je obrađen relativno velik broj populacija, korištene su isključivo metode deskriptivne statistike u karakterizaciji populacija. Tako je opisan čitav niz oblika (formi) i varijeteta ove vrste (Jovančević 1965).

Recentne populacije makedonskoga hrasta u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori naseljavaju staništa submediteranskoga i mediteranskoga pojasa, te su sastojine ove vrste predstavljene različitim stadijima degradacije submediteranskih šuma (Redžić i dr. 2008). Stoga je areal ove vrste na krškom području izrazito fragmentiran uslijed brojnih šumskih požara, ilegalne sječe, kao i konverzije staništa u poljoprivredne površine, ponajprije u vinograde. Glede činjenice da naseljava najekstremnija krška područja, gdje se druge, ekonomski vrijednije vrste uopće ne mogu održati (Stefanović 1977; Stefanović i dr. 1977), posjeduje kompetitivne prednosti u odnosu na druge vrste drveća kao potencijalno značajna vrsta u pošumljavanjima ekstremnih staništa submediterana i u melioracijama krških goleti. Također, kroz povijest je predstavljao značajnu vrstu od ekonomske vrijednosti s obzirom da obilno plodonosi te da mu list ostaje zelen do proljeća, pa je stoga često služio kao stočna hrana (Đikić 1957).

Precizna karakterizacija morfološke varijabilnosti populacija može poslužiti kao dobar indikator i često predstavlja početni korak u analizi niza procesa, raznolikosti populacija, ekofiziološke adaptacije i adaptibilnosti specifičnih morfoloških svojstava na uvjete staništa. Iako su posljednja dva desetljeća obilježena dominacijom molekularnih biljega, analiza morfološke varijabilnosti u hrastova ostaje i dalje nezaobilazna metoda u istraživanju ovoga roda (Kramer i dr. 2002; Uribe-Salas i dr. 2008; Viscosi i dr. 2009).

Cilj rada bio je da se istraživanjem varijabilnosti morfoloških svojstava lista makedonskoga hrasta iz rubnih popula-

cija, koje pripadaju krajnjem sjeverozapadnom arealu vrste, utvrdi stanje strukture prirodnih populacija, budući da su one relativno male i izrazito fragmentirane, te detektiraju morfološka svojstva povezana s diskriminacijom populacija. Provedene analize predstavljaju preliminarne rezultate u okviru širih aktivnosti koje se provode na istraživanjima makedonskoga hrasta. Dobiveni rezultati mogli bi se koristiti u svrhu razdjelbe sjemenskih jedinica makedonskoga hrasta, te u mogućoj manipulaciji šumskim reproduktivnim materijalom, a što bi moglo imati implikacije usmjerene prema oplemenjivanju ove vrste, kao i očuvanju autoktonoga genofonda.

Materijal i metode

Material and Methods

Materijal za istraživanje sakupljen je u prirodnim populacijama makedonskog hrasta u Bosni i Hercegovini i u Crnoj Gori, što se podudara s istraživanjima koje je proveo Jovančević (1965). Ukupno je uzorkovano 13 populacija (Tablica 1), a svaka je populacija predstavljena s 10 stabala. Uzorkovana su isključivo fiziološki zrela stabla koja su plodonosila i koja su reprezentirala prosječne sastojinske prilike. Uzorkovanje je obavljeno od početka kolovoza do sredine rujna 2008. godine. Selekcionirana su soliterna i rubna stabla koja su imala dobro razvijenu krošnju. Sakupljeni su uzorci potpuno razvijenih srednjih listova kratkih fertilnih izbojaka s južnoga dijela krošnje i iz njezine sredine (Franjić 1994, 1996, 1996a, 1996b; Trinajstić i Franjić 1996, Ballian i dr. 2010). Uzorkovani listovi su herbarizirani i naknadno analizirani.

Tablica 1. Geografske značajke istraživanih populacija.

Table 1. Geographic characteristics of analyzed populations.

Redni broj / Nbr.	Populacija / Population	Latituda / Latitude	Longituda / Longitude	Nadmorska visina (m) / Altitude (m)
1	Papratno (Bosna i Hercegovina, BiH)	43°06'24"	17°54'15"	226
2	Borojevići (BiH)	43°07'52"	17°52'47"	268
3	Bobanovo selo (BiH)	42°59'07"	17°48'29"	382
4	Trebinje (BiH)	42°43'01"	18°12'07"	270
5	Hutovo (BiH)	42°56'58"	17°47'29"	383
6	Hrasno (BiH)	42°59'08"	17°50'14"	381
7	Vlašnja (BiH)	42°39'16"	18°12'08"	388
8	Kozice (BiH)	43°08'45"	17°54'08"	299
9	Trebižat (BiH)	43°09'25"	17°36'25"	70
10	Morača (Crna Gora, CG)	42°31'29"	19°20'40"	117
11	Ulcinj (CG)	41°58'21"	19°15'57"	189
12	Danilovgrad (CG)	42°41'39"	18°57'35"	532
13	Petrovac (CG)	42°13'01"	18°57'03"	383



Slika 1. Geografski smještaj istraživanih populacija (1 – Papratno, 2 – Borojevići, 3 – Bobanovo selo, 4 – Trebinje, 5 – Hutovo, 6 – Hrasno, 7 – Vlašnja, 8 – Kozice, 9 – Trebižat, 10 – Morača, 11 – Ulcinj, 12 – Danilovgrad, 13 – Petrovac).

Figure 1. Geographic location of analyzed populations (1 – Papratno, 2 – Borojevići, 3 – Bobanovo selo, 4 – Trebinje, 5 – Hutovo, 6 – Hrasno, 7 – Vlašnja, 8 – Kozice, 9 – Trebižat, 10 – Morača, 11 – Ulcinj, 12 – Danilovgrad, 13 – Petrovac).

Izbor mjerenih morfoloških svojstava je usklađen s prethodnim istraživanjima (Jovančević 1965; Christensen 1997; Kremer i dr. 2002). Ukupno je analizirano deset mjerenih, jedno procijenjeno i tri izvedena svojstva. Pregled morfoloških svojstava prikazan je u tablici 2. i na slici 2. i 3.

Na istraživanome uzorku napravljena je deskriptivna, univarijatna i multivarijatna statistička analiza. U cilju utvrđivanja tipa međupopulacijske varijabilnosti te povezanosti pojedinih morfoloških svojstava lista s razlikovanjem populacija, napravljena je analiza glavnih komponenti (PCA). Izmjerene vrijednosti morfoloških svojstava lista podvrgnute su *log*-transformaciji kako bi se distribucija približila normalnoj (Quinn i Keough 2009). Zadržane su PC funkcije koje su imale *eigen* vrijednosti veće od 1, a prikazane su prve dvije na dvodimenzionalnom dijagramu.

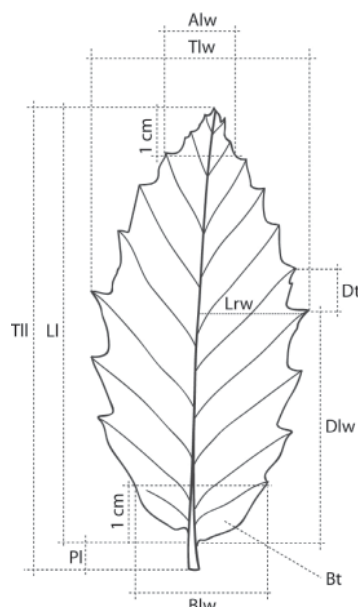
Naknadno je napravljena i klasteraska analiza da bi se utvrdili odnosi između istraživanih populacija. Dendrogram je baziran na Euklidskim udaljenostima primjenom UPGMA metode (Sneath i Sokal 1973). PCA i dendrogram napravljeni su u programu MVSP 3.13p (Kovach 2007), a deskriptivna i univarijatna analiza u SPSS ver. 15 (SPSS Inc. 2007).

Za potrebe deskriptivne statističke analize izračunati su parametri – aritmetička sredina (*as*), standardna devijacija (*SD*), koeficijent varijacije (*CV*) i raspon vrijednosti (*min-max*). Univarijatna analiza podrazumijeva analizu varijance srednjih vrijednosti morfoloških svojstava obrađivanih po-

Tablica 2. Istraživana morfološka svojstva lista.

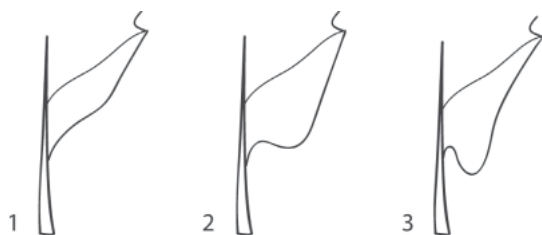
Table 2. Investigated morphological leaf traits.

Šifra svojstva / Trait code	Svojstvo / Trait	Jedinica mjerenja / Measurement unit
Mjerenja svojstva / Measured traits		
Tll	ukupna dužina lista (PI+ LI) / total leaf length (PI + LI)	mm
PI	dužina peteljke / petiole length	mm
LI	dužina plojke / lamina length	mm
Tlw	širina plojke na najširem dijelu plojke / lamina width at the widest point	mm
Dlw	udaljenost od baze plojke do najširega dijela / distance from lamina base to the widest point of lamina	mm
Dt	udaljenost između zubaca na najširem dijelu plojke / distance between the teeth at the widest lamina point	mm
Lrw	širina desne strane plojke od vrha režnja do središnje žile na najširem dijelu / lamina width on the right side as measured from the lobe tip to the midrib vein	mm
Nbn	broj bočnih žila s desne strane plojke / number of secondary veins on the right side of lamina	
Blw	širina plojke na udaljenosti 1 cm od baze plojke / lamina width at 1 cm distance from the lamina base	mm
Alw	širina plojke na udaljenosti 1 cm od vrha plojke / lamina width at 1 cm distance from the lamina apex	mm
Izvedena svojstva / Calculated traits		
LR	LI / Tlw	
LO	$100 \times Dlw / LI$	%
PR	$100 \times PI / Tll$	%
Procijenjena svojstva / Estimated values		
Bt	tip baze plojke / shape of lamina base	



Slika 2. Analizirana morfološka svojstva lista makedonskoga hrasta.

Figure 2. Analyzed morphological leaf traits of Macedonian oak.



Slika 3. Oblici baze plojke lista.
Figure 3. Shapes of lamina base.

pulacija te post hoc LSD test za svojstva koja su se pokazala interesantnima za razlikovanje populacija.

Rezultati Results

Provedena PCA analiza rezultirala je s tri funkcije koje su imale veće *eigen* vrijednosti od 1 i koje su objasnile 80,871 % ukupne varijabilnosti u morfološkim svojstvima za istraživane populacije (Tablica 3). Prva os objašnjava 41,874 % varijabilnosti, druga 23,635 %, dok je treća os objasnila 15,362 % ukupne varijabilnosti (Tablica 3). Pojedinačne vrijednosti povezanosti morfoloških svojstava s osima pokazale su relativno niske vrijednosti, posebice s prvom osi, dok je umjereno visoka s drugom i trećom. Morfološka svojstva koja su korelirala s prvom osi su – izvedeno svoj-

Tablica 3. Eigen vrijednosti, kumulativna varijanca i doprinos pojedinačnih svojstava PC osima.

Table 3. Eigen values, cumulative variance and factor loadings of morphological traits to PC axes.

	PC 1	PC 2	PC 3
Eigen vrijednosti / Eigenvalues	5,862	3,309	2,151
Varijanca (%) / Variance (%)	41,874	23,635	15,362
Kumulativna varijanca (%) / Cumulative variance (%)	41,874	65,509	80,871
Doprinos pojedinačnih varijabli PC osima / Factor loadings			
Tll	0,104	-0,482	-0,265
Pl	0,365	0,026	-0,038
Li	0,001	-0,493	-0,264
Tlw	0,369	-0,112	0,027
Dlw	-0,092	-0,449	0,282
Dt	0,125	-0,312	0,413
Lrw	0,319	0,023	-0,028
Nbn	-0,291	0,141	-0,379
Bt	-0,275	0,087	-0,11
Blw	0,269	0,252	-0,17
Alw	-0,062	0,156	0,554
LR	-0,392	-0,004	-0,133
LO	-0,344	0,036	0,311
PR	0,292	0,309	0,033

stvo LR, te Tlw, Pl i Lrw (Tablica 3). Svojstva povezana s drugom osi su svojstva Ll, Tll i Dlw s nešto višim vrijednostima u odnosu na prvu os. S trećom osi su korelirala svojstva – Alw, Dt i Nbn (Tablica 3). PCA analiza pokazala je razdvajanje populacija koje formiraju nedovoljno jasne grupe na temelju prve osi (Slika 4). Na PCA dijagramu moguće je uočiti populacije koje ukazuju na relativno kontinuiranu varijabilnost, te nedovoljno jasno udruživanje u diskretne grupe. Evidentno je da se populacije ne grupiraju na temelju geografskih značajki, već pokazuju nasumičan raspored koji je vjerojatno u skladu s mikroekološkim značajkama.

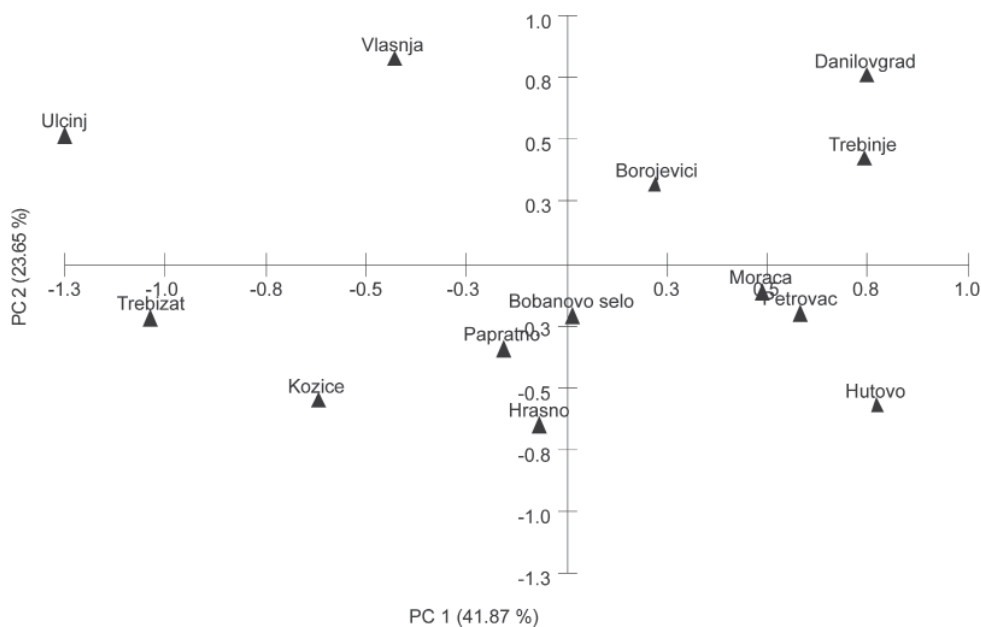
Prema klusterskoj analizi, koristeći UPGMA metodu, istraživane se populacije mogu podijeliti u dva glavna podklastera (Slika 5). Prvi podklaster obuhvaća populacije Danilovgrad, Trebinje, Hutovo, Bobanovo selo, Petrovac, Morača i Borojevići, dok prestale populacije tvore drugi podklaster (Slika 5). Iz klusterske analize uočeno je grupiranje koje je sukladno rezultatima PCA analize.

Na osnovi deskriptivne i univarijatne analize, uočljivo je da samo dva svojstva (Lr i Bt) nisu pokazala signifikantne razlike, dok su za sva ostala svojstva utvrđene signifikantne razlike. Prosječne vrijednosti koeficijenta varijabilnosti za istraživana morfološka svojstva lista kretala su se u rasponu od 11,4 do 34,77 %. Najnižu prosječnu vrijednost koeficijenta varijacije imalo je svojstvo LO, dok je najvišu vrijednost pokazalo svojstvo Pl (Tablica 4).

Kada se promatraju pojedinačne vrijednosti koeficijenta varijacije, uočljivo je da populacije Trebinje, Bobanovo selo, Trebižat i Petrovac pokazuju najviše vrijednosti koeficijenta varijabilnosti za većinu istraživanih svojstava (Tablica 5).

Srednje vrijednosti analiziranih svojstava u većini slučajeva nisu pokazale velike razlike između populacija (Tablica 5).

Najviša vrijednost aritmetičke sredine za Tll je u populaciji Hutovo (65,18 mm), a najmanja u populaciji Ulcinj (50,35 mm). Svojstvo Pl kreće se od 2,73 mm (Kozice) do 4,68 mm (Trebinje). Pl je ujedno i svojstvo s najvišim koeficijentom varijabilnosti, čije su se srednje populacijske vrijednosti kretale i do 47,28 % (Trebižat). Populaciju Hutovo karakterizira najveće vrijednosti svojstava Ll, Tlw i Dlw. S druge strane, populacija Ulcinj imala je najmanje vrijednosti svojstava Ll (47,49 mm) i Tlw (18,24 mm). Najniže vrijednosti svojstva Dlw zabilježeno je u populaciji Vlašnja (19,69 mm). Vrijednosti svojstva Dt kreću se od 4,87 mm (Ulcinj) do 6,85 mm u populaciji Papratno. Populacija s najmanjom vrijednosti svojstva Lrw je Ulcinj (9,25 mm), a s najvišom (12,85 mm) je Hutovo. Maksimalna vrijednost svojstva Nbn zabilježena je u populaciji Ulcinj (10,68). Srednje vrijednosti svojstva Bt kretale su se u rasponu od 1,82 do 2,66, te je većina populacija imala relativno slične vrijednosti. Najviša vrijednost svojstva Blw zabilježena je u populaciji Petrovac (19,10 mm) dok je Ulcinj imao najnižu (14,76 mm). Također je



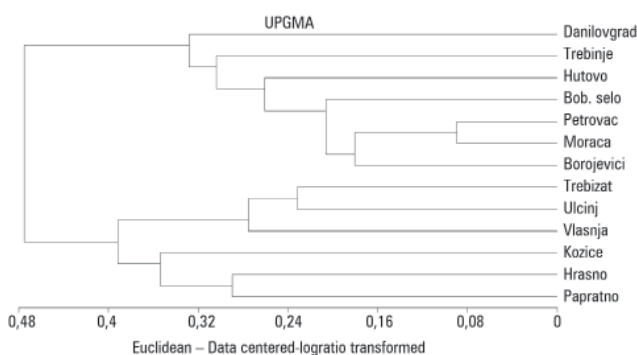
Slika 4. PCA ordinacijski dijagram analiziranih populacija.

Figure 4. PCA ordination plot of analyzed populations.

najmanja vrijednost svojstva Alw zabilježena u populaciji Ulcinj (11,45 mm), dok je najveća u populaciji Trebinje (14,40 mm), (Tablica 5).

Od izvedenih svojstava lista, LR svojstvo pokazalo je vrlo slične vrijednosti koje su se kretale u rasponu od 2,28 (Danilovgrad) do 2,68 (Trebizat), ali nije pokazalo postojanje signifikantnih razlika. Svojstvo LO imalo je najviše vrijednosti u populaciji Papratno (48,32 %), a najniže u populaciji Morača (40,69 %), dok je svojstvo PR imalo najviše vrijednosti u populaciji Trebinje (7,87 %), a najniže u populaciji Kozice (4,98 %), (Tablica 5).

Na osnovi rezultata LSD testa, svojstva Pl, Ll, Tll i Tlw su s najvećim brojem signifikantnih razlika između populacija (Tablica 6). S druge strane, populacije koje su se u najvećem broju slučajeva međusobno razlikovale su Ulcinj i Vlasnja, koje su s najnižim vrijednostima istraživanih svojstava. Populacije Hutovo i Papratno su imale najviše vrijednosti istraživanih svojstava (Tablica 5 i 6).



Slika 5. UPGMA dendrogram temeljen na Euklidskim udaljenostima.

Figure 5. UPGMA dendrogram based on Euclidean distances.

Tablica 4. Deskriptivni statistički parametri morfoloških svojstava lista za sve analizirane populacije i rezultati analize varijance (p).

Table 4. Descriptive statistic parameters of morphological leaf traits for all analyzed populations and ANOVA results (p).

Svojstvo / Trait	Aritmetička sredina \pm SD / Mean \pm SD	Minimum / Minimum	Maximum / Maximum	CV (%)	p
Tll	57,87 \pm 8,10	40,26	79,74	14,00	0,000*
Pl	3,79 \pm 1,32	1,38	7,94	34,77	0,000*
Ll	54,07 \pm 7,33	38,30	74,42	13,56	0,000*
Tlw	22,04 \pm 3,68	13,52	32,66	16,71	0,000*
Dlw	23,83 \pm 4,29	13,46	33,68	18,00	0,002*
Dt	6,13 \pm 1,18	3,76	10,48	19,28	0,000*
Lrw	10,86 \pm 1,84	6,98	15,46	16,93	0,001*
Nbn	9,47 \pm 1,37	6,60	13,60	14,51	0,001*
Blw	17,35 \pm 2,65	12,02	24,26	15,30	0,000*
Alw	12,62 \pm 1,86	8,78	17,79	14,74	0,016*
LR	2,48 \pm 0,31	1,73	3,55	12,34	0,129
LO	44,04 \pm 5,02	29,41	56,16	11,40	0,045*
PR	6,48 \pm 1,83	2,89	11,13	28,24	0,002*
Bt	2,31 \pm 0,58	1,00	3,00	25,04	0,102

* – signifikantne razlike na razini $p < 0,05$. / * – significant differences at $p < 0,05$.

Rasprava i zaključci

Discussion and Conclusions

Dobiveni rezultati u ovom istraživanju ukazali su na visoku fenotipsku varijabilnost istraživanih svojstava u populacijama makedonskoga hrasta u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori. Istraživane populacije rubne su u odnosu na središte areala, ali one predstavljaju izrazito fragmentirane ostatke nekadašnjih populacija. Rubne populacije imaju posebno

Tablica 5. Deskriptivna statistika za istraživana svojstva lista na populacijskoj razini.
Table 5. Descriptive statistics of the analyzed leaf traits at population level.

Populacija / Svojtvo / trait	Papratno	Borojevci	Bobanovo selo	Trebinje	Moraca	Petrovac	Hutovo	Hrasno	Damirovgrad	Vlasnja	Ulcinj	Kozice	Trebizat
	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean	Arithmetička sredina / Mean
	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)
Tll	58,58	59,92	60,70	59,11	61,31	62,66	65,18	60,37	54,43	50,59	50,35	54,46	54,61
Pl	3,71	4,53	3,97	4,68	4,32	4,38	4,64	3,51	4,01	2,85	2,86	2,73	3,14
Li	54,83	55,39	56,73	54,43	56,99	58,28	60,54	56,86	50,42	47,75	47,49	51,73	51,47
Tlw	22,41	22,68	22,92	24,02	23,12	23,84	25,11	22,32	22,29	19,89	18,24	20,48	19,24
Dlw	26,58	24,78	24,67	24,94	23,18	24,63	27,09	24,94	21,28	19,69	21,22	23,38	23,41
Dt	6,85	6,08	6,56	6,98	6,35	6,54	6,80	5,79	5,68	5,16	4,87	6,14	5,88
Lrw	11,04	11,22	10,61	11,72	11,32	11,79	12,57	10,86	11,04	10,17	9,25	9,97	9,60
Nbn	9,10	9,58	9,28	8,28	9,66	9,52	9,48	10,38	9,10	10,02	10,68	8,22	9,76
Bt	2,24	2,44	2,66	2,32	2,46	2,44	2,16	1,98	1,82	2,48	2,30	2,28	2,46
Blw	16,80	18,15	18,09	18,78	18,13	19,10	18,51	17,21	18,21	16,85	14,76	15,72	15,22
Alw	13,31	13,22	12,79	14,40	11,85	12,43	13,35	12,36	12,68	11,91	11,45	12,69	11,58
LR	2,50	2,45	2,50	2,29	2,47	2,50	2,42	2,57	2,28	2,43	2,65	2,54	2,68
LO	48,32	44,69	43,51	45,64	40,69	41,96	44,75	43,73	42,53	41,19	44,65	45,43	45,42
PR	6,41	7,50	6,54	7,87	7,03	6,88	7,11	5,73	7,41	5,58	5,65	4,98	5,58
	18,65	25,18	29,62	24,32	27,06	19,39	18,39	21,96	16,39	40,08	30,29	31,21	36,86

značenje jer najčešće zauzimaju marginalna staništa, te su podložna različitim evolucijskim i ekološkim procesima u odnosu na glavninu areala vrste (Sexton i dr. 2009). Isto tako periferne i fragmentirane populacije za rezultat mogu imati posljedicu neostvarivanja ekološkoga optimuma uslijed kontinuirane izravne selekcije (Chybicki i dr. 2012). Također, uslijed male gustoće rubne populacije mogu biti izložene samooplodnji, što može dovesti do povišene stope inbridinga (Savolainen i Kuittinen 2000), a u simpatriji s blisko srodnim vrstama može doći do križanja (Salvini i dr. 2009). Za makedonski hrast potvrđeno je da se križa s cerom (*Q. cerris* L.), a utvrdio je Vierhaper (1912) i to na lokalitetima koji su obuhvaćeni ovim radom. Svakako treba napomenuti da istraživanja koja se provode na problemu križanja makedonskoga hrasta i cera ukazuju na relativno nisku stopu, ali prisutne su hibridizacije na pojedinim od istraživanih lokaliteta (Bogunić, usmeno priopćenje).

Iako su dobivene značajne razlike između populacija po pojedinačnim morfološkim svojstvima lista, dobiveni rezultati podudaraju se s navodima drugih autora (usp. Tablica 4; Trinajstić 1974; Banfi i Consolino 2002). Iako je ova vrsta nedovoljno istraživana, Jovančević (1965) navodi detaljne podatke o morfološkim svojstvima lista. Tako navodi da je na osnovi istraživanih svojstava podijelio istraživane populacije u tri grupe, sa širokim, uskim i intemedijarnim oblikom lista. Ova istraživanja pokazala su da su izvedena svojstva LO, LR i PR, kao pokazatelji oblika lista (Kremer i dr. 2002) imala različite vrijednosti koeficijentata varijabilnosti i nisu imala visoku povezanost s PC, osim za razliku od mjenjenih svojstava. Slični su rezultati dobiveni u analizi koju su proveli Kremer i dr. (2002) istražujući morfološku varijabilnost hrasta kitnjaka i hrasta lužnjaka, ali na izrazito velikom uzorku. Svakako, u ovom slučaju treba voditi računa da svaku istraživanu populaciju čini 10 jedinki. Također, unutar svake populacije bilo je moguće uočiti prisutnost svih tipova lista koje navodi Jovančević (1965), ali za kategorizaciju morfoloških tipova lista neophodno je ipak povećati veličinu uzorka. Iako autor nije precizirao metodologiju uzorkovanja listova za analize, u ovom istraživanju je procedura uzorkovanja pojedinačnih listova unutar stabla bila istovjetna za svaku jedinku.

Zanimljivo je da nije utvrđena prisutnost geografske povezanosti i izdiferenciranosti istraživanih populacija, što se može objasniti mikrostanišnom prilagodbom. Kod malih i marginalnih populacija moguće je očekivati nisku varijabilnost (Barrett i Husband 1989), dok su s druge strane pojedini autori potvrdili višu stopu varijabilnosti u odnosu na populacije iz središta areala (Rusanen i dr. 2003). Slični rezultati u kontekstu nepostojanja geografske izdiferenciranosti zabilježeni su na različitim drvenastim vrstama (Mazur i sur. 2004; Brus i dr. 2011; Krauze-Michalska i Boratynska 2013).

Često se kao objašnjenje navodi činjenica da balkanske populacije termofilnih hrastova imaju podrijetlo od većega broja malih refugijalnih populacija unutar Balkanskoga poluotoka (Slade i dr. 2008) koje su naknadno kolonizirale staništa, ali da je prošlo nedovoljno vremena da bi došlo do procesa morfološke diferencijacije uslijed adaptacije na specifične ekološke uvjete. Svakako treba napomenuti činjenicu da se istraživane populacije makedonskoga hrasta nalaze u području južne Bosne i Hercegovine, koje je označeno kao 'hotspot diversity' u okviru 25 ključnih i najvećih glacijalnih mediteranskih refugija (Médail i Diadema 2009). Paleontološki podaci pokazali su da u tom području utjecaj odlede nije bio značajan, te da brojne vrste koje su naseljavale navedena područja nisu značajno migrirale u odnosu na recentna staništa (Brande 1973, 1989; Grüger 1996).

Odsutnost geografske izdiferenciranosti može biti i posljedica rane povijesne fragmentacije ishodišnih populacija, koje su se tijekom povijesti adaptirale na različite uvjete staništa (Schirone i Spada 2000). Mala veličina populacija može imati smanjeni potencijal za oprašivanje, a njegov krupan žir predstavlja kompeticijsku nepovoljnost u širenju plodova na veće udaljenosti, pa iz tih razloga može tvoriti samo lokalne populacije (Chybicki i dr. 2012). Događaji kao što su kolonizacija goleti ili opožarenih površina također mogu oblikovati postojeću strukturu populacija (Brus i dr. 2011).

Neophodno je uzeti u obzir sve potencijalne čimbenike koji uzrokuju varijabilnost i strukturiranost populacija te veličinu uzorka, ali možda je najutjecajni čimbenik dugogodišnji konstantni antropogeni utjecaj (Đikić 1959; Stefanović i dr. 1977), koji je vidljiv i danas (Slika 6 i 7).

S obzirom da se radi o području submediterana, te o ekološki vrlo vrijednoj vrsti šumskog drveća za čije očuvanje postoje svi preduvjeti, preporučuje se konzervacija na svim



Slika 6. Adultne jedinke makedonskoga hrasta iz populacije Papratno.
Figure 6. Adult individuals of Macedonian oak from the population Papratno.



Slika 7. Tipično degradirano stanište makedonskoga hrasta.

Figure 7. Typical degraded habitat of Macedonian oak.

slobodnim i očuvanim površinama metodom *in situ*, uz posebno obraćanje pozornosti na podrijetlo sjemena u radovima reintrodukcije na devastirana staništa, na što upućuju i dobiveni rezultati.

Zaključno se može istaći da je istraživanjem populacija makedonskoga hrasta, u krajnjem dijelu sjeverozapadnoga areala, utvrđena visoka stopa varijabilnosti istraživanih morfoloških svojstava lista, te da su brojni čimbenici koji mogu utjecati na strukturu malih i fragmentiranih populacija ove vrste u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori. Također se može preporučiti da se buduća istraživanja obave na znatno većem uzorku. Isto tako korištenje molekularnih biljega može doprinijeti boljem i preciznijem poznavanju varijabilnosti makedonskoga hrasta u ovom dijelu prirodnoga areala.

Tablica 6. Signifikantne razlike između populacija na temelju *post-hoc* LSD testa za svojstva LI, PI, Tlw, Lrw, Blw.

Table 6. Observed significant differences among the populations based on *post-hoc* LSD test for LI, PI, Tlw, Lrw, Blw characters.

	Populacija / Population	Papratno	Borojevici	Bobanovo selo	Trebinje	Moraca	Petrovac	Hutovo	Hrasno	Danilovgrad	
Svojstvo / Trait	Hrasno				0,028			0,033			
	Vlasnja		0,002	0,036	0,001	0,006	0,004	0,001		0,029	
	PI	Ulcinj	0,002	0,039	0,001	0,007	0,005	0,001		0,031	
	Kozice		0,001	0,021	0,000	0,003	0,002	0,000		0,017	
	Trebizat		0,010		0,004	0,027	0,021	0,005			
	Hutovo				0,039						
	LI	Danilovgrad			0,033		0,026	0,008	0,001	0,029	
	Vlasnja	0,017	0,010	0,003	0,024	0,002	0,000	0,000	0,002		
	Ulcinj	0,013	0,008	0,002	0,019	0,002	0,000	0,000	0,002		
	Kozice						0,027	0,003			
	Trebizat						0,021	0,002			
	Tlw	Vlasnja			0,042	0,006	0,030	0,008	0,001		
	Ulcinj	0,005	0,003	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	0,007	
	Kozice				0,018		0,024	0,002			
	Trebizat	0,033	0,021	0,014	0,002	0,009	0,002	0,000	0,038	0,041	
	Lrw	Hutovo	0,044		0,010						
	Hrasno								0,025		
	Danilovgrad								0,045		
	Vlasnja					0,042		0,034	0,002		
	Ulcinj	0,019	0,010			0,001	0,007	0,001	0,000	0,034	0,019
	Kozice					0,022		0,017	0,001		
	Trebizat		0,033			0,006	0,024	0,004	0,000		
	Blw	Petrovac	0,034								
	Vlasnja							0,039			
	Ulcinj		0,002	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,025	0,002
Kozice		0,025	0,029	0,005	0,027	0,002	0,002	0,011		0,022	
Trebizat		0,007	0,009	0,001	0,008	0,000	0,000	0,003		0,006	

Zahvala

Acknowledgement

Istraživanje je obavljeno u okviru projekta koji je financiralo Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke Bosne i Hercegovine, po naslovom "Istraživanje strukture, diverziteta i diferenciranosti antropogeno degradiranih populacija crnog cera (*Quercus trojana* Webb.) u dijelu prirodnog rasprostriranja u Bosni i Hercegovini", br. 03-39-5980-11-2/08, kojima stoga dugujemo veliku zahvalnost.

Literatura

References

- Ballian, D., M. Memišević, F. Bogunić, N. Bašić, M. Marković, D. Kajba 2010: Morfološka varijabilnost hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na području Hrvatske i zapadnog Balkana. Šumarski list 7–8: 371–386.
- Barrett, S. C. H., B. C. Husband, 1989: The genetics of plant migration and colonization. U: A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler, B. S. Weir (ur.): Plant population genetics, breeding and genetic resources, Sinauer Associates, 254–277 str., Sunderland.
- Bellarosa, R., Simeone, M., Papini, A., B. Schirone, 2005: Utility of ITS sequence data for phylogenetic reconstruction of Italian oaks, Mol. Phylogenet. Evol., 34: 355–370.
- Brande, A., 1973: Untersuchungen zur postglazialen Vegetationsgeschichte im Gebiet der Neretva-Niederungen (Dalmatien, Herzegowina), Flora, 162: 1–44.
- Brande, A., 1989: Patterns of Holocene vegetation and landscape changes in South Dalmatia; Ecol. Medit., 15: 45–53.
- Brus, R., Ballian, D., Zhelev, P., Pandža, M., Bobinac, M. Acevski, J., Raftoyannis, Y., K. Jarni, 2011: Absence of geographical structure of morphological variation in *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* in the Balkan Peninsula, Europ. J. Forest. Res., 130: 657–670.
- Christensen, K. I., 1997: *Quercus* L. U: A. Strid, K. Tan (ur.): Flora Hellenica 1: 42–50 str. – Königstein.
- Chybicki, I. J., Oleksa, A., Kowalkowska, K., J. Burczyk, 2012: Genetic evidence of reproductive isolation in a remote enclave of *Quercus pubescens* in the presence of cross-fertile species, Plant Syst. Evol., 298: 1046–1056.
- Đikić, S., 1959: Historijski razvoj devastacije i degradacije krša u Bosni i Hercegovini, Krš Bosne i Hercegovine, Savezno savjetovanje o kršu, Knjiga 3, Split.
- Franjić, J., 1994: Morphometric leaf analysis as an indicator of common oak (*Quercus robur* L.) variability in Croatia, Ann. Forest., 19(1): 1–32.
- Franjić, J., 1996: Morfometrijska analiza posavskih i podravskih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., *Fagaceae*) u Hrvatskoj, Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Franjić, J., 1996a: Morfometrijska analiza varijabilnosti lista posavskih i podravskih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., *Fagaceae*) u Hrvatskoj, Glasn. Šum. Pokuse 33: 153–214.
- Franjić, J., 1996b: Multivariate analysis of leaf properties in the common oak (*Quercus robur* L., *Fagaceae*) populations of Posavina and Podravina in Croatia, Ann. Forest. 21(2): 23–60.
- Grüger, E., 1996: Vegetational change – the changing face of Dalmatia. U: J. Chapman, R. Shiel, Š. Batović (ur.): Archaeological and ecological investigations in a Mediterranean landscape, Leichestor University Press, 33–43 str., London, New York.
- Jalas, J., Souminen, J., 1976. *Fagaceae*. Atlas Florae Europae III, The Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo, 66–79 str., Helsinki.
- Jovančević, M., 1965: Rasprostranjenje, varijabilitet i sistematika crnog cera (*Quercus macedonica* A DC.) u Jugoslaviji, Anali Eksp. Šumarstvo JAZU, 3: 271–448.
- Kovach, W.L., 2007. MVSP – A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.
- Krauze-Michalska, E., K. Boratynska, 2013: European geography of *Alnus incana* leaf variation, Plant Biosyst., 147: 601–610.
- Kremer, A., Dupouey, J. L., Deans, J. D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R., Espinel, S., Jensen, J., Kleinschmit, J., Van Dam, B., Ducouso, A., Forrest, I., De Heredia, U. L., Lowe, A. J., Tutkova, M., Munro, R. C., Steinhoff, S., V. Badeau, 2002: Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed oak stands, Ann. For. Sci., 59: 777–787.
- Mazur, M., Boratynska, K., Marcysiak, K., Didukh, Y., Romo, A., Kosiński, P., A. Boratynski, 2004: Low level of inter-population differentiation in *Juniperus excelsa* M. Bieb. (*Cupressaceae*). Dendrobiology, 52: 39–46.
- Médail, F., K. Diadema, 2009: Glacial refugia influence plant diversity in the Mediterranean Basin. J. Biogeogr., 36: 1333–1345.
- Nikolić, T., 2013: Flora Croatica Database, <http://hirc.botanic.hr/fcd/Search.aspx>.
- Quinn, P.G., J. M. Keough, 2009: Experimental design and data analysis for biologists, 8th ed. Cambridge University Press, 537 str., Cambridge.
- Redžić, S., Barudanović, S., M. Radević, 2008: Bosna i Hercegovina zemlja raznolikosti, Federalno ministarstvo okoliša i turizma Bosne i Hercegovine, Sarajevo.
- Rusanen, M., Vakkari, P., A. Blom, 2003: Genetic structure of *Acer platanoides* and *Betula pendula* in northern Europe, Can. J. For. Res., 33: 1110–1115.
- Salvini, D., Bruschi, P., Fineschi, S., Grossoni, P., Kjær, E. D., G. G. Vendramin, 2009: Natural hybridisation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. within an Italian stand as revealed by microsatellite fingerprinting, Plant Biol., 11: 758–765.
- Savolainen, O., H. Kuittinen 2000: Small population processes. U: Young, A., Boshier, D., Boyle, T., (ur.) Forest Conservation Genetics – Principles and Practice, CABI – Publishing, 91–100 str., Wallingford.
- Sexton, J. P., McIntyre, P. J., Angert, A. L., K. J. Rice, 2009: Evolution and ecology of species range limits, Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst., 40: 415–436.
- Schirone, B., F. Spada, 2000: Some remarks on the conservation of genetic resources of Mediterranean oaks. U: S. Borelli, M. C. Varela (ur.): Mediterranean Oaks Network, Report of the first meeting, 21–26 str., Antalya.

- Slade, D., Škvorc, Ž., Ballian, D., Gračan, J., D. Papes, 2008: The chloroplast DNA polymorphisms of White Oaks of section *Quercus* in the Central Balkans, *Silvae Genet.*, 57(4–5): 227–234.
- Sneath, P. H., R. R. Sokal, 1973: Numerical taxonomy. W. H. Freeman, 573 str., San Francisco.
- SPSS Inc. Released 2007: SPSS for Windows, Version 15.0. Chicago, SPSS Inc.
- Stefanović, V., 1977: Fitocenologija sa pregledom šumskih fitocenoza Jugoslavije. Zavod za udžbenike Sarajevo, 283 str., Sarajevo.
- Stefanović, V., Burlica, Č., Dizdarević, H., Fabijanić, B., N. Prolić, 1977: Tipovi niskih degradiranih šuma submediteranskog područja Hercegovine, Šumarski fakultet i institut za šumarstvo u Sarajevu, Posebna izdanja br. 11.
- Stefanović, V., Beus, V., Burlica, Č., Dizdarević, H., I. Vukorep, 1983: Ekološko – vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 1983, Šumarski fakultet, Posebna izdanja 17.
- Trinajstić, I., 1974: *Quercus* L. U: Trinajstić I. (ur.): Analitička flora Jugoslavije, 1: 460–481.
- Trinajstić, I., J. Franjić, 1996: Listovi kratkoga plodnoga izbojka, osnova za morfometrijsku analizu lista hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., *Fagaceae*). U: S. Matić, J. Gračan (ur.): Skrb za hrvatske šume od 1846. do 1996, Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava, 1: 169–178, Hrvatsko šumarsko društvo, Zagreb.
- Uribe-Salas D., Sáenz-Romero C., González-Rodríguez A., Téllez-Valdéz O., K. Oyama, 2008: Foliar morphology variation in the white oak *Quercus rugosa* Neé (*Fagaceae*) along a latitudinal gradient in Mexico: potential implications for management conservation, *For. Ecol. Manag.*, 256: 2121–2126.
- Vierhaper, F., 1912: Neue pflanzenhybriden, *Vergl. Österreichischen botanischen Zeitschrift Jargb.*, 8/9: 1–5.
- Viscosi, V., Fortini, P., Slice, D.E., Loy, A., C., Blasi 2009: Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of subgenus *Quercus* (*Fagaceae*), *Plant Biosyst.*, 143: 575–587.
- Zielinsky J., Petrova A., D. Tomaszewski, 2006: *Quercus trojana* subsp. *yaltirikii* (*Fagaceae*), a new subspecies from southern Turkey, *Willdenowia*, 36: 845–849.

Summary

A morphometric analysis of the leaf traits of Macedonian Oak (*Q. trojana*) in its north-westernmost range was conducted, including in total 130 individuals from 13 natural populations in Bosnia and Herzegovina and Montenegro. The purpose of the study was to use the analysis of variance for the morphological characteristics of leaves from small and markedly fragmented populations to determine if there are any patterns of population differentiation and detect the morphological characteristics associated with such differentiation.

The Principal Components Analysis (PCA) did not identify the existence of discrete groups but rather of a continuous gradient in the variation of morphological characteristics and the absence of geographical population patterns. The morphological characteristics most closely related to population differences displayed relatively low to moderate values with PCs whose maximum correlation values were ≤ 0.554 . The results of a cluster analysis conformed to the PCA results, indicating two population groups, which equally display no geographical pattern. The results of descriptive and univariate statistics pointed to marked variability of morphological leaf characteristic between populations and the presence of significant differences among individuals.

Finally, it should be noted that the study of populations of Macedonian Oak in its north-westernmost range identified a high degree of variability in the morphological leaf characteristics studied, and indicate that many different factors impact on the patterns of the small and fragmented populations of this species in Bosnia and Herzegovina and Montenegro. Further research on a larger sample, using molecular markers, will contribute to a better and more accurate knowledge of Macedonian Oak variability in this part of its natural range.

Since this is a sub-Mediterranean region, and Macedonian Oak is a very important tree species from ecological point of view, thus conservation by *in situ* method in all open and preserved areas is recommended, with particular attention to the origin of the forest reproductive material for reintroduction to degraded habitats, as suggested by the results obtained.

KEY WORDS: *Quercus trojana*, leaf morphology, inter- and intrapopulation variability.