



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ
Факултет „Горско стопанство”
Катедра „Лесовъдство”



доц. д-р Красимира Николова Петкова-Цокова

**ПОТЕНЦИАЛ ЗА ПРИСПОСОБИМОСТ НА ПРОИЗХОДИ
ОТ ДУГЛАСКА И ОБИКНОВЕН БУК КЪМ ПРОМЕНИ
В КЛИМАТА**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за придобиване на научна степен „доктор на науките“

Професионално направление: 6.5. Горско стопанство
Научна специалност: Горски култури, селекция и семепроизводство

Рецензенти: акад. дсн Александър Хараланов Александров
проф. д-р Петър Желев Стоянов
доц. д-р Величко Георгиев Гагов

София
2020

Дисертационният труд съдържа 199 страници текст, 55 фигури, 32 таблици и 10 приложения. Използваната литература включва общо 355 заглавия, от които 56 на кирилица и 299 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 23.03.2020 г. от 13.00 ч. в зала „Акад. Мако Даков“, сграда А на Лесотехническият университет, гр. София, бул. „Климент Охридски“ № 10 на открито заседание на научно жури, утвърдено със заповед № ЗПС - 636/28.11.2019 г. на ректора на ЛТУ в състав:

Председател:

проф. д-р Петър Желев Стоянов

Членове:

акад. дсн Александър Хараланов Александров – ИГ – БАН

чл.-кор. проф. д.н. Иван Александров Илиев – ЛТУ

проф. д-р Николина Пенкова Цветкова – ЛТУ

доц. д-р Величко Георгиев Гагов – ЛТУ

доц. д-р Емил Борисов Попов – ИГ – БАН

доц. д-р Веселка Атанасова Гюлева-Пантова – ИГ – БАН

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в Деканата на факултет „Горско стопанство“, стая № 222, сграда А на Лесотехническият университет, гр. София, бул. „Климент Охридски“ № 10 и на сайта на Университета (www.ltu.bg).

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Климатът на Земята се е променял както към затопляне, така и към охлаждане. В далечното минало тези промени са настъпвали в продължение на стоици години. Последните 130 години се характеризират предимно като период на затопляне с увеличаване на средната глобална температура с 1°C (IPCC 2014). Ако тази тенденция се запази и в бъдеще, способността на горите да се адаптират към променящите се условия може да бъде сериозно повлияна. Възможностите за приспособяване на дървесните видове към климатичните промени може да бъдат оценени чрез дългосрочни опити, каквито са географските култури. Те се създават чрез отглеждане на различни произходи от конкретен дървесен вид при еднакви условия. Произходите са адаптирани към климата на източника на посевен материал, а тяхната екологична пластичност се оценява при климатичните условия на мястото на географската култура. Разликата между климата на източника и този на мястото на опита може да се разглежда като експериментално симулирана климатична промяна. Този методичен подход дава възможност да се анализира, моделира и прогнозира реакцията на дървесните видове към изменението на климата.

Настоящата дисертация е насочена към изследване на произходи от дугласка (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) и обикновен бук (*Fagus sylvatica* L.). Двата дървесни вида имат сходни екологични изисквания – привързани са към свежи и влажни, средно богати до богати месторастения и висока въздушна влажност. Голяма част от създадените у нас култури от дугласка се намират в пояса на бука и успешно растат в неговото обкръжение, включително и в смесени с обикновен бук насаждения.

Първи опити с произходи от дугласка в нашата страна са създадени преди около 30 години, а с обикновен бук – преди повече от 40 години. Досегашните проучвания са свързани с изследване на отделни техни признаци, но не е оценявана реакцията им към климатичните условия на обектите, в които те са въведени.

Актуалността на промените в климата, възможностите на метода на географските култури и все още недостатъчно проучената екологична пластичност на дугласката и на обикновения бук определиха насоките на настоящето изследване.

II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Цел на работата е да се оцени потенциалът за адаптация на произходи от дугласка и обикновен бук в географски култури към промени в климата.

За осъществяване на така формулираната цел може да бъдат конкретизирани следните по-важни **задачи**:

1. Да се проучи как преместването на произходи от дугласка и обикновен бук при различни климатични условия в сравнение с тези на майчините насаждения ще се отрази на техни основни фенологични признаци.

2. Да бъде оценена надеждността на оцеляването на произходите като критерий за приспособимостта им към новите условия.

3. Да се изследва растежът по основни таксационни показатели на произходите като индикатор на адаптивния им потенциал към промяна на климата.

4. Да бъде направен опит за моделиране на растежа по височина на произходи от дугласка и обикновен бук на база на основни климатични показатели.

5. Да се проучи възможността за трансфер на букови произходи от условия на по-топъл и сух климат в България към по-влажен и по-хладен климат в Централна Европа (Германия).

6. Да се направи преценка на механичната стабилност на дугласката като показател за устойчивост на повреди от някои абиотични фактори.

7. Да се оцени продуктивността на произходи от дугласка при условията на Северозападна България.

III. ОБЕКТИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ И МЕТОДИ НА РАБОТА

III.1. Обекти на изследване

Географска култура от дугласка в УОГС „Петрохан“

Създадена е през пролетта на 1990 г. с 55 произхода на дугласка от САЩ, от които 27 континентални, 22 от Западните Каскадни планини и 6 от Тихоокеанското крайбрежие. Повечето произходи са от щатите Вашингтон и Орегон, но са включени и по един произход от щатите Монтана, Аризона и Ново Мексико, както и българският произход Казанлък (Табл. 1).

Таблица 1. Данни за произходите от дугласка в УОГС „Петрохан“

Произход			Семенна зона	Географска		Надм. височина, m
Група произходи	Име, номер	Код		Ширина N	Дължина W	
1	2	3	4	5	6	7
КОНТИНЕНТАЛНИ						
Монтана	Whitefish 3	W	Montana	48.5	114.5	1050
Ново Мексико	Alamogordo 55	A	840	33.0	105.8	750
Вашингтон	Greenwood 1	G	612	49.0	119.0	1350
	Keremeos 2	K	600	49.0	120.0	750
	Naches 13	N	641	46.5	121.3	1050

Произход			Семенна зона	Географска		Надм. височина, m
Група произходи	Име, номер	Код		Ширина N	Дължина W	
1	2	3	4	5	6	7
Източни Каскадни планини Орегон	Parkdale 14	P14	661	45.5	121.5	1650
	Parkdale 15	P15	661	45.5	121.7	1500
	Parkdale 16	P16	661	45.5	121.5	1350
	Parkdale 17	P17	661	45.5	121.5	1200
	Parkdale 18	P18	661	45.5	121.5	1050
	Parkdale 19	P19	661	45.5	121.5	900
	Parkdale 20	P20	661	45.5	121.5	750
	Warm Springs 33	WS33	662	45.0	121.5	667
	Warm Springs 32	WS32	662	45.0	122.0	900
	Santiam Pass 38	SP38	675	44.3	121.6	1125
Crescent 47	C47	681	43.3	121.8	1650	
Crescent 48	C48	681	43.3	122.0	1500	
Източен Орегон	Bates 21	B21	863	45.0	118.5	1667
	Bates 22	B22	863	45.0	118.5	1500
	Bates 23	B23	863	45.0	118.5	1333
	Canyon City 35	CC35	892	44.5	119.0	1500
	Canyon City 36	CC36	892	44.5	119.0	1350
	Canyon City 37	CC37	892	44.5	119.0	1650
Крайбрежни планини в Южен Орегон	Crater Lake 49	CL	501	42.7	122.5	1200
	Medford 50	MF50	501	42.5	122.5	1050
	Medford 51	MF51	502	42.6	122.8	900
ЗАПАДНИ КАСКАДНИ ПЛАНИНИ						
Вашингтон	Newhalem 4	NH4	402	48.5	121.5	667
	Newhalem 5	NH5	402	48.5	121.5	500
	Darrington 6	DR6	403	48.0	121.5	1167
	Darrington 7	DR7	403	48.0	121.5	1000
	Darrington 8	DR8	403	48.0	121.5	833
	Monroe 9	MR	411	47.8	121.3	525
Орегон	Idanha 24	I24	452	45.0	122.0	1050
	Idanha 25	I25	452	45.0	122.0	1200
	Idanha 26	I26	452	45.0	122.0	1050
	Idanha 27	I27	452	45.0	122.0	900
	Idanha 28	I28	452	45.0	122.0	1333
	Idanha 29	I29	452	45.0	122.0	750
	Idanha 30	I30	452	45.0	122.0	750
	Idanha 31	I31	452	45.0	122.0	750
Santiam Pass 39	SP39	473	44.3	121.8	1500	

Произход			Семенна зона	Географска		Надм. височина, m
Група произходи	Име, номер	Код		Ширина N	Дължина W	
1	2	3	4	5	6	7
Орегон	Oakridge 40	O40	472	44.0	122.0	1667
	Oakridge 41	O41	472	44.0	122.0	1500
	Oakridge 42	O42	473	44.0	122.0	1333
	Oakridge 43	O43	482	44.0	122.0	900
	Oakridge 44	O44	482	43.8	122.5	1350
	Oakridge 45	O45	482	43.8	122.5	1200
	Oakridge 46	O46	472	43.8	122.5	1500
ТИХООКЕАНСКО КРАЙБРЕЖИЕ						
Вашингтон	Bremerton 10	BM10	222	47.7	123.0	600
	Bremerton 11	BM11	222	47.7	123.5	450
	Moclips 12	MC	12	47.5	124.0	600
Орегон	Toledo 34	T	53	44.6	123.8	150
	Brookings 52	BR52	82	42.0	124.5	833
	Brookings 53	BR53	82	42.0	124.5	667
ИНТРОДУЦИРАН						
България	Казанлък	KZN		42.7	25.3E	750

Културата се намира на равно място с източно изложение, надморска височина 600 m и географски координати: 43.1898 северна ширина и 23.1464 източна дължина. Почвата е сива горска, глинесто-песъчлива, слабо каменлива, много дълбока. Месторастенето е свежо, средно богато до богато, от типа CD₂ (17). Залесяването е извършено с тригодишни семенищни фиданки при схема 2x2 m.

Географска култура от дугласка в ДГС Берковица

Създадена е през пролетта на 2006 г. с 29 произхода на дугласка – 20 от Германия (провинции Бавария, Райнланд Пфалц и Долна Саксония), 6 от САЩ и 3 от България (Табл. 2). Разположена е на полегат терен (8°) в горната част на североизточен склон с надморска височина 850 m и географски координати: 43.2193 северна ширина и 23.0902 източна дължина. Почвата е кафява горска, глинесто-песъчлива, рохка, слабо каменлива, дълбока, върху основна скала шисти. Месторастенето е свежо до влажно, средно богато до богато, от типа CD_{2,3} (29). Залесяването е извършено с двегодишни семенищни фиданки при схема 2x2 m.

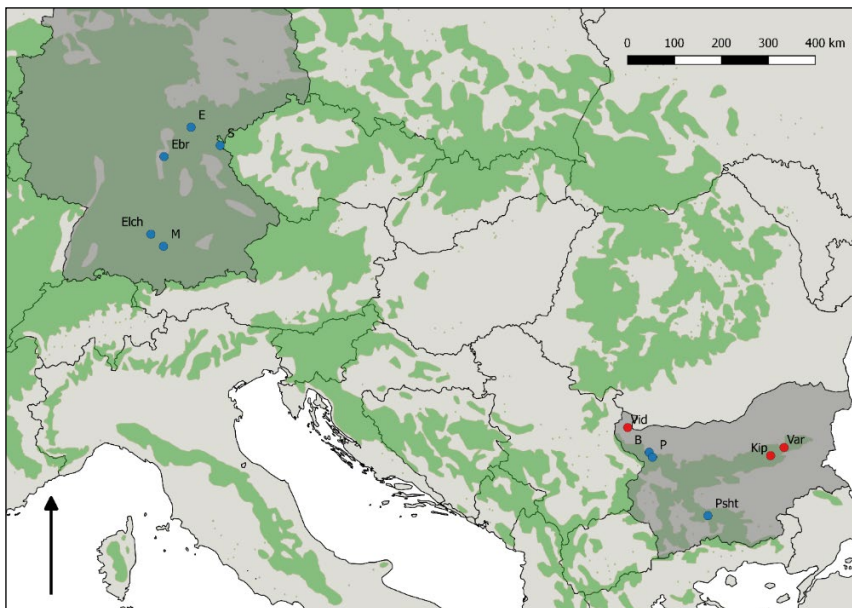
Таблица 2. Данни за произходите от дугласка в географската култура в ДГС Берковица

№	Държава/ Провинция (Щат)	Произход код	Произход име	Надм. височина, m	Географска дължина E	Географска ширина N
	Германия					
1	Бавария	M	Münnerstadt	300-310	10.20	50.22
2	Бавария	L	Lohr	440-455	9.50	50.00
3	Бавария	SF	Schweinfurt	380	12.23	50.05
4	Бавария	SS	Stadtsteinach	490-600	11.57	50.22
5	Бавария	SB	Schnaittenbach	480-500	11.97	49.50
6	Бавария	GH	Griesbach	460-510	13.22	48.45
7	Бавария	FS	Freising	420	11.75	48.40
8	Бавария	SS1	Stadtsteinach	550-650	11.52	50.17
	САЩ					
9	Вашингтон	MN	Mineral, Wa	533	122.17 W	46.70
10	Вашингтон	DR1	Darrington, Wa	381	121.58 W	48.37
11	Вашингтон	DR2	Darrington, Wa	381	121.75 W	48.33
12	Вашингтон	DR3	Darrington, Wa	381	121.55 W	48.33
13	Вашингтон	DR4	Darrington, Wa	381	121.58 W	48.37
14	Вашингтон	FO	Forks, Wa	838	124.22 W	48.08
	Германия					
15	Райнланд Пфалц	KL	Kaiserslautern	280-310	7.77	49.42
16	Райнланд Пфалц	OS	Osburg	565-590	6.75	49.75
17	Райнланд Пфалц	MY	Mayen	410-500	7.00	50.28
18	Райнланд Пфалц	D	Daun	560-620	6.68	50.17
19	Райнланд Пфалц	SCHL	Schneifel	530	6.50	50.25
20	Райнланд Пфалц	GS	Gerolstein	520-550	6.50	50.25
21	Райнланд Пфалц	KLW	Kaiserslautern W	280-310	7.77	49.42
22	Долна Саксония	OL	Oldendorf	180	9.45	51.93
23	Долна Саксония	MD	Münden	300	9.77	51.32
24	Долна Саксония	OLSP	Oldendorf (SP1)	290	9.42	51.85
25	Долна Саксония	ALH	Ahlhorn	30	7.97	52.90
26	Долна Саксония	SEG	Segeberg	40	10.12	53.93
27	България	SM	Смилян	950	21.77	41.63
28	България	KZN	Казанлък	750	25.43	42.63
29	България	NEV	Невестино	650	22.77	42.20

Географски култури от обикновен бук

През есента на 2009 г. и пролетта на 2010 г. са създадени три географски култури от обикновен бук в района на ДГС Видин, ДГС Върбица и ДГС Кипилово с 5 германски и 3 български произхода на бука (Фиг. 1). Залесяването

е извършено с двегодишни семенишни фиданки при схема 2x1 m, като в културите във Видин и Върбица са включени всичките 8 произхода, а в Кипилово – само произходи Silberbach, Ebersdorf, Берковица и Петрохан.



Фиг. 1. Разпространение на обикновения бук в Централна и Югоизточна Европа (зелено), профили на Германия и България (тъмносиво), местоположение на произходите (синьо): Elchingen (Elch), Silberbach (S), Ebersdorf (E), Mindelzell (M), Ebrach (Ebr), Пещера (Psht), Берковица (B), Петрохан (P) и на географските култури (червено): Видин (Vid), Върбица (Var) и Кипилово (Kip). Данни за картата: (EC.Europa.EU/Eurostat; species distribution map: www.EUFORGEN.org/species).

Културата в ДГС Видин се намира на равен терен със североизточно изложение, с надморска височина 200 m и географски координати: 43.89 северна ширина и 22.72 източна дължина. Почвата е чернозем, а месторастенето е свежо, богато, от типа D₂ (12).

Културата в ДГС Върбица е разположена върху равен терен, със северозападно изложение, с надморска височина 350 m и географски координати: 42.98 северна ширина и 26.62 източна дължина. Почвата е сива горска, а месторастенето е свежо до влажно, средно богато до богато, от типа CD_{2,3} (60).

Културата в ДГС Кипилово заема равен терен със североизточно изложение, надморска височина 500 m и географски координати: 42.88 северна ширина и 26.22 източна дължина. Почвата е сива горска, а месторастенето е свежо, средно богато до богато, от типа CD₂ (17).

III.2. Методи на работа

III.2.1. Фенологични и морфологични особености на фиданките от изследваните произходи

А. Дугласка

За 29-те произхода на дугласка в горски разсадник Берковица са изследвани следните фенологични фази и морфологични признаци: начало на разлистване (разпукване на пъпките), оцветяване на иглолистата, формиране на връхна пъпка и вдървяване на връхния (водещ) леторасъл на 50 фиданки (2 повторения x 25 броя) от всеки произход. Приложена е методика на Kleinschmit et al. (1974).

Б. Обикновен бук

Проследени са фенофазите на разлистване и есенно обагряне на листата на фиданки от 7 произхода на обикновен бук в горски разсадник Берковица и на 8 произхода на бука в географската култура в ДГС Върбица. Наблюденията в Берковица са извършени през втория вегетационен период след засяване на посевните материали (2009 г.), а във Върбица – на четвъртата (2013 г.) и седмата (2016 г.) година след създаването на културата. Приложена е методика на Forstreuter (2002).

III.2.2. Оценка на оцеляване, растеж и механична стабилност

Оцеляването беше определено във всички географски култури през първите 3 години след създаването им. В географската култура от дугласка в УОГС „Петрохан“ оцеляването беше отчетено и в края на всеки вегетационен период до 8-ата (1997) година, както и на 14-ата (2003) и на 17-ата (2006) година след създаване на културата. В географската култура от 29 произхода на дугласка в Берковица то бе отчетено и на 6-ата (2011) и 11-ата (2016) година след създаването на културата. За географските култури от обикновен бук във Върбица и Кипилово оценка на оцеляването беше правена и в края на всеки вегетационен период до 8-ата година (2017 г.).

Определена е средната височина на произходите във всички географски култури, както следва:

- в културата в УОГС „Петрохан“ – на възраст 24 години;
- в културата в ДГС Берковица – на 11-ата година след залесяването в парцелите, в които е установен процент на оцеляване над 50;
- в културите от обикновен бук във Видин, Върбица и Кипилово – в края на първите 3 вегетационни периода след залесяването и от четвъртата до осмата година – само в културите във Върбица и Кипилово.

Средната височина за всички обекти е изчислена като средна аритметична величина въз основа на измерените височини от всеки произход.

Средният диаметър беше определен само за произходите от дугласка в географските култури в УОГС „Петрохан“ (на 24-годишна възраст) и в Берковица (на 11-годишна възраст). Приложен е стандартен таксационен метод.

Стъбленият обем беше определен само за произходите от дугласка в географската култура в УОГС „Петрохан“ на 24-годишна възраст на индивидите по формулата:

$$V = G.HF, \text{ m}^3,$$

където: G е общата кръгова площ на дърветата от съответния произход, m^2 ;

HF – видовата височина за култури от дугласка (Ферезлиев 2012).

Механичната стабилност е изчислена само за произходите от дугласка в географската култура в УОГС „Петрохан“. Определен е коефициентът на колективна механична стабилност, изчислен като съотношение на средната височина (m) към средния диаметър (cm) за всеки произход (Mayer and Ott 1991).

III.2.3. Климатични показатели, използвани при анализа на резултатите и при разработване на моделите

В анализа на резултатите и при разработването на моделите за произходите от дугласка са включени следните климатични показатели: средна годишна температура на въздуха (MAT), средна годишна минимална температура на въздуха (AAMT), средна месечна температура на най-студения месец (MSMT), средна месечна температура на най-топлия месец (MWMT) – Wang et al. (2006), индекс на континенталността – I_c (представява разликата между средната месечна температура на най-топлия и най-студения месец, Chakraborty et al. 2015, Rivas-Martinez et al. 2017) и средна годишна валежна сума (MAP).

Основните климатични показатели, използвани в анализа на резултатите за произходите от обикновен бук, са коефициент на Еленберг и екологично разстояние.

Коефициентът на Еленберг (Ellenberg 1988) е определен за всяка географска култура и за всеки произход по формулата

$$EQ = 1000 \frac{T_{07}}{P_{ann}}, \text{ където:}$$

T_{07} е средната годишна температура на най-топлия месец (юли), $^{\circ}\text{C}$;

P_{ann} – средната годишна сума на валежите, mm .

Чрез коефициента на Еленберг се определя средното екологично разстояние ΔE , по формулата

$$\Delta E = X_t - X_o,$$

където:

X_i е средната стойност на коефициента на Еленберг (EQ) за съответната географска култура (Видин, Върбица и Кипилово);

$X_o - EQ$ за съответния произход на обикновения бук (Mátyás et al. 2009).

III.2.4. Статистическа обработка на резултатите

Статистическата обработка е извършена с програмни R пакети stats и agricolae (de Mendiburu 2017, R Core Team 2018), а визуализирането на резултатите – с графични функции на R пакета ggplot2 (Wickham 2016). Използвани са следните статистически анализи:

Дисперсионен анализ

Еднофакторен (Single factor ANOVA) и двуфакторен (Two factor ANOVA) дисперсионен анализ.

От методите за множествоно сравняване са приложени методите на Tukey и критерия на Duncan.

Проверката за хомогенност на дисперсията е извършена с теста на Fligner-Killeen (Молле 2012). Приложен е и непараметричният критерий на Games-Howell (Peter 2017, 2018).

Регресионен анализ

Разработени са следните типове регресионни модели:

А. Едномерен линеен регресионен модел (от първа степен)

Б. Линеен регресионен модел от втора степен (представен графично с па-
рабола)

В. Обобщен линеен модел (Generalized Linear Model – GLM) – този модел в R се представя с различни функции от няколко библиотеки. Тук е приложена функцията *glm* (R Core Team 2018) с *link*-опции към фамилиите функции *poisson*, от R-библиотеката stats (R Core Team 2018) с обосновка в Thomas (2015).

Г. Нелинеен логистичен модел (Nls Logistic Model) – приложен е за средната дата на различните фенофази, като е построяван с функцията *SSlogis* от R-пакета stats (R Core Team 2018) със самостартиращи се начални стойности. При адекватен модел инфлексната точка съвпада с прогнозираната средна стойност.

ABC анализ

Класифицира произходите в три неприпокриващи се групи и позволява поясна интерпретация на наблюдаваното вариране. Алгоритъмът на метода е представен от Ultsch and Lötsch (2015), а програмната му реализация в езика R – от Thrun et al. (2017).

Корелационен анализ

Корелационен коефициент на Spearman (Молле 2012)

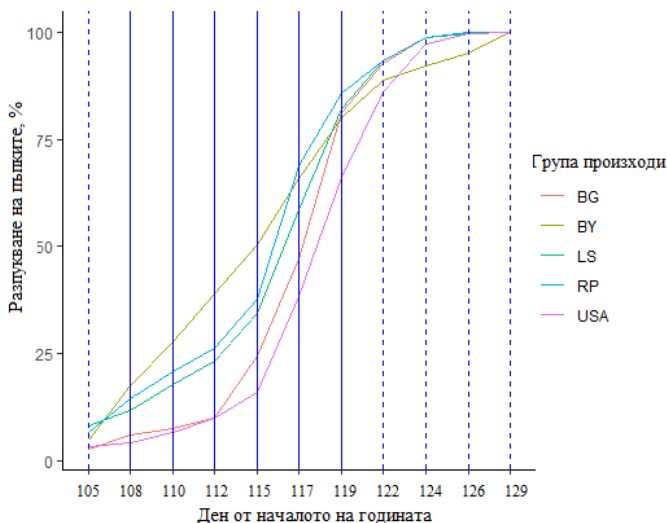
IV. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

IV.1. Произходи от дугласка

IV.1.1. Оценка на фенологични и морфологични особености

Проучванията са извършени за общо 29 германски, американски и български произхода от дугласка в горския разсадник на ДГС Берковица през вегетационния период на 2005 г. (втората година след засяването). Проследени са фенофазите „разпукуване на пъпките“, „формиране на връхна пъпка“ и „вдървявяване на връхния леторасъл“. Направена е оценка и на оцветяването на иглолистата.

Ходът на фенофазата „разпукуване на пъпките“ по групи произходи е представен на Фиг. 2. Най-ранно развитие се установява при баварските произходи (BY) със средна дата на настъпване на фенофазата на 113-тия ден (23.04.). В тази група попадат произходи, за които е доказано, че са континентални (Stadtsteinach и Schnaittenbach), а за континенталните произходи е характерно ранното им развитие (Jestaedt 1980, Попов 1990, Malmqvist et al. 2017, Konnert and Bastien 2019).

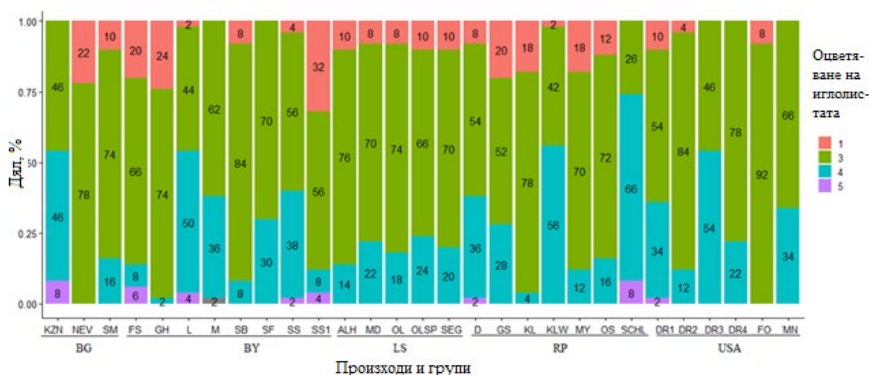


Фиг. 2. Ход на фенофаза „разпукуване на пъпките“ на групите произходи в разсадник Берковица през 2005 г.

Забележка: България (BG), Бавария (BY), Долна Саксония (LS), Райнланд Пфалц (RP) и САЩ (USA). Плътната синя линия показва статистически значимо влияние на фактора „група произходи“ върху фенофазата на съответния ден от началото на годината с $p < 0.001$, а пунктираната линия – липса на статистическа значимост.

Най-късно се развиват американските произходи – със средна дата на настъпване на фенофазата на 117-ия ден (27.04.). Това са главно крайбрежни произходи и такива от зоната между крайбрежната планинска верига и Западните Каскадни планини в щата Вашингтон, които по данни на Jestaedt (1980), Günzl (1986), Попов (1990) са с късно разлистване.

Оценката на оцветяването на иглолистата на отделните произходи показва (Фиг. 3), че не са регистрирани фиданки със сиво-зелено оцветяване на иглолистата, а такива с жълто-зелено оцветяване се срещат само при 8 произхода и съставляват едва 2 – 8%. Най-голяма част от наблюдаваните фиданки (при 24 произхода – над 50%) са със зелено оцветяване. При произходи Griesbach (GH), Stadtsteinach (SS1), Невестино (NEV) от 22 до 32% от растенията имат синьо-зелено оцветяване, а при произходи Lohr (L), Darrington (DR3), Schneifel (SCHL) и Kaiserslautern W (KLW) повече от половината от растенията са светлозелени. Синьо-зеленото оцветяване е характерно за иглолистата на континенталния сорт на дугласката, а зеленото – за крайбрежния сорт, но има сведения (Jestaedt 1980), че и при произходи от континенталния сорт на дугласката преобладава зеленото оцветяване на иглолистата.

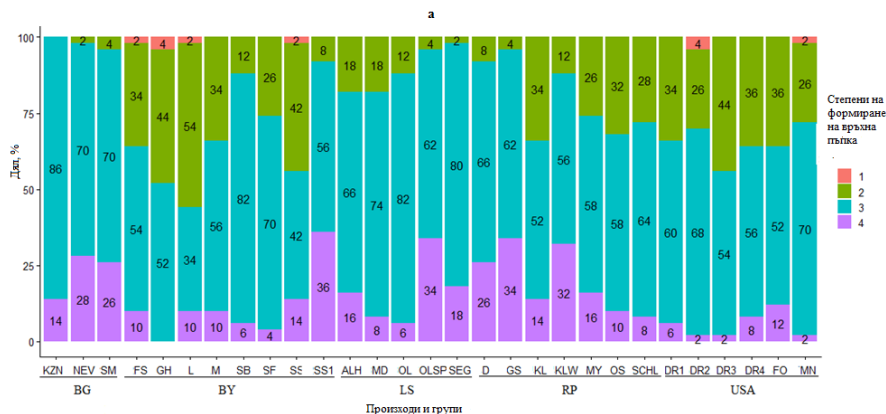


Фиг. 3. Дял (в проценти) на оцветяването на иглолистата на произходите от дугласката: 1 – синьо-зелено, 2 – сиво-зелено, 3 – зелено, 4 – светлозелено, 5 – жълто-зелено.

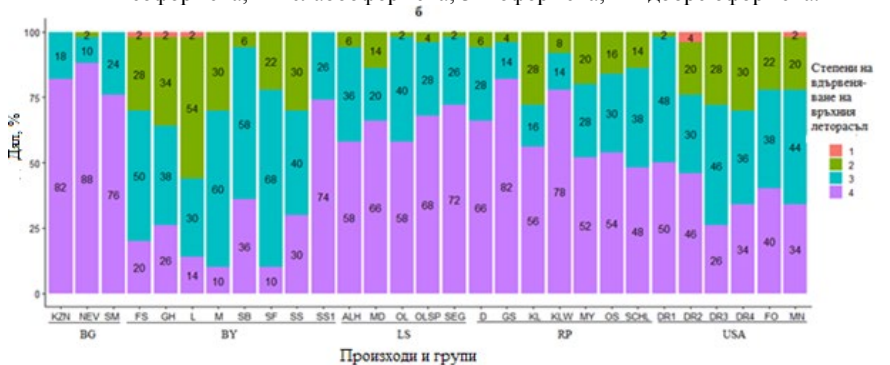
Към средата на октомври при повечето произходи над 50% от фиданките са достигнали степен 3 – „оформена“ връхна пъпка, като при почти всички произходи част от фиданките са с добре оформени връхни пъпки (Фиг. 4а). По-слабо е застъпена степен „слабо оформена“ и едва при единични фиданки от 6 произхода връхната пъпка е „неоформена“.

Българските произходи и отделни произходи от Бавария, Райнланд Пфалц и Долна Саксония са с добре вдървенели връхни леторасли (над 70%) – Фиг. 4б. При всички произходи е застъпена и степен 3 – „леко вдървенял“, малка част от произходите са с „невдървенял до леко вдървенял“ терминален

леторасъл и само единични индивиди са невдървенели. В средата на месец октомври произходите все още не са достигнали крайната степен на напълно оформена връхна пъпка и вдървявяване. Това може да се обясни със сравнително високите средноденонощни температури в началото на октомври 2005 г., които са около и над 10°C.



1 – неоформена; 2 – слабооформена; 3 – оформена; 4 – добре оформена.



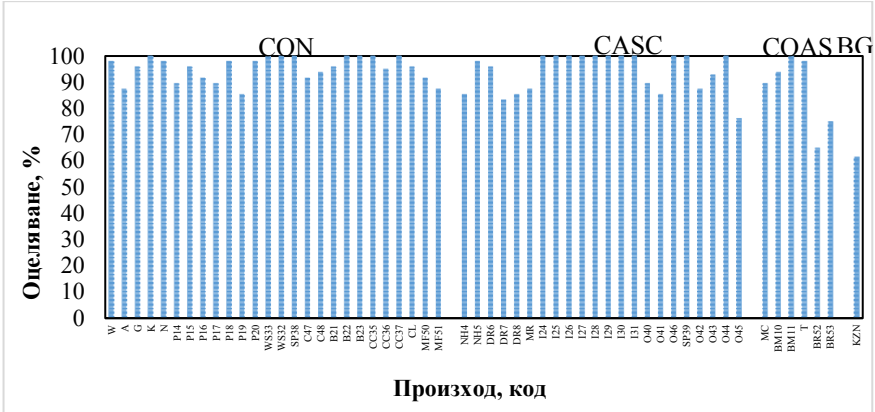
1 – невдървенял; 2 – невдървенял до леко вдървенял; 3 – леко вдървенял; 4 – леко вдървенял до вдървенял.

Фиг. 4. Приключване на вегетацията на произходите от дугласка: **а** – формиране на връхна пъпка; **б** – вдървявяване на връхния леторасъл.

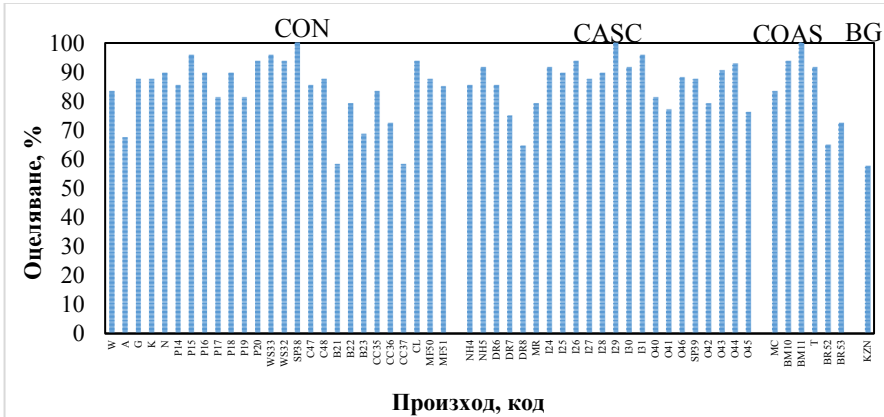
IV.1.2. Оцеляване

Средният процент на оцеляване на дугласката в УОГС „Петрохан“ на третата година (1992) е над 85. Най-висок е при континенталните произходи, следван от произходите от Западните Каскадни планини и е най-нисък при крайбрежните произходи (Фиг. 5).

1992



2006

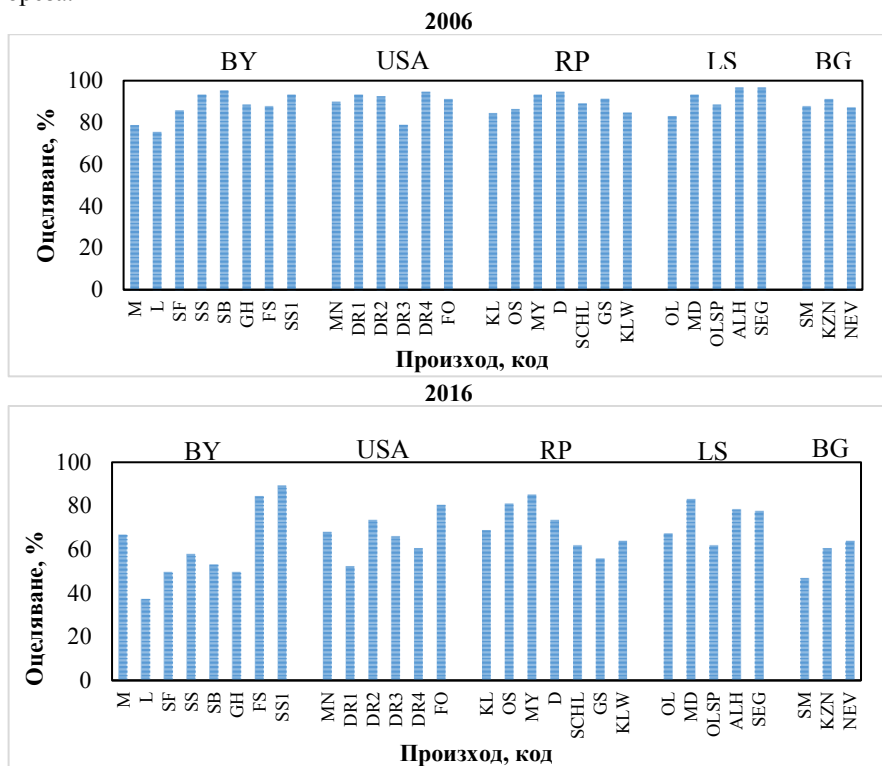


Фиг. 5. Оцеляване на произходите от дугласка на третата (1992) и 17-ата (2006) година след създаването на географската култура в УОГС „Петрохан”.

Забележка: CON – континентални, CASC – Западни Каскадни планини, COAS – крайбрежни, BG – България.

На 17-ата година (2006) при част от континенталните произходи – Greenwood (G), Keremeos (K), Whitefish (W), Alamogordo (A), Bates (B21, B22, B23), Canyon City (CC35, CC36, CC37) – се забелязва чувствително увеличение на загубите, което може да се свърже с диагностицираното през 2004 г. заболяване, причинено от гъбния патоген *Rhabdocline pseudotsugae*, водещо до опадане на 4-, 3- и дори 2-годишни иглолиста и загуба на прираст, както и до загиване на дърветата.

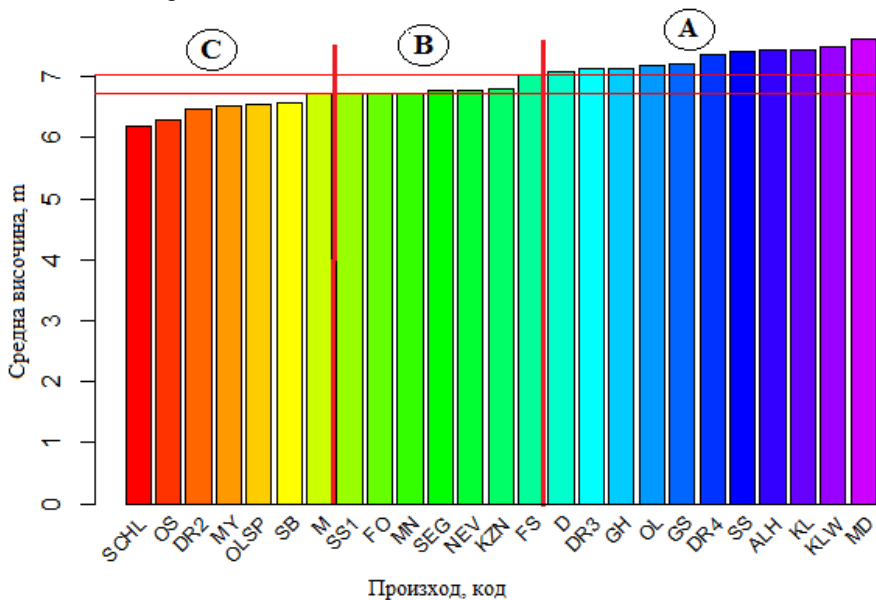
В географската култура в ДГС Берковица прихващането на първата година (2006) е сравнително високо и е около и над 90% (Фиг. 6). На 11-ата година (2016) са констатирани значителни загуби в повечето части на културата и оцеляването е 65.7% или с около 30% по-ниско от установеното преди пет години. Основна причина са повредите от ледолом вследствие на падналия дъжд в началото на декември 2014 г. и отрицателните температури през нощта след валежа, което довежда до обледяване на цялата надземна част на индивидите и под тежестта на ледената маса част от тях се повалят или частично изкореняват, а други се пречупват на различна височина от основата. При част от произходите са установени и загуби вследствие на буйно развитие на конкурентна растителност, най-често трепетлика, а на места и обикновен габър и бреза.



Фиг. 6. Оцеляване на произходите от дугласка на първата (2006) и единадесетата (2016) година след създаване на географската култура в ДГС Берковица. Забележка: BY – Бавария, USA – САЩ, RP – Райнланд Пфалц, LS – Долна Саксония, BG – България.

IV.1.3. Растеж по височина

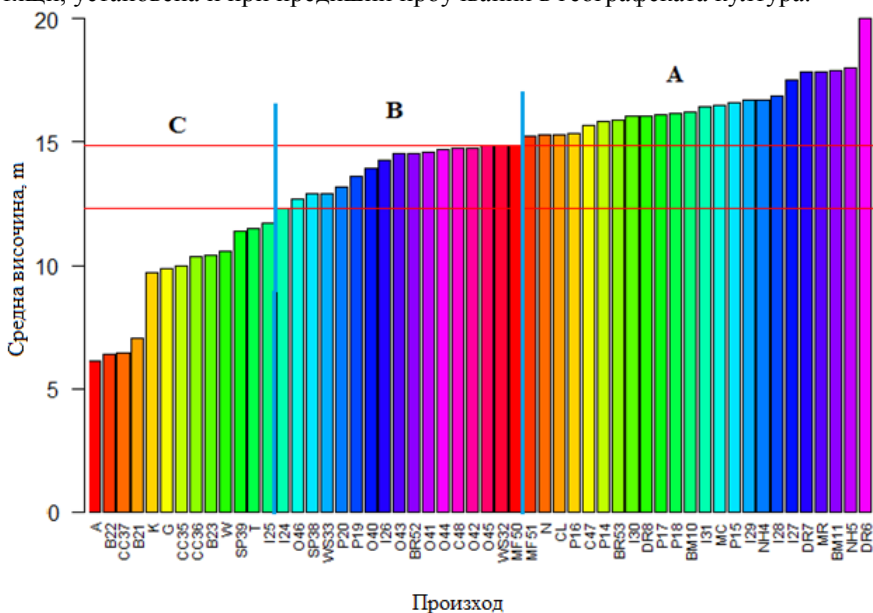
В географската култура в ДГС Берковица е анализиран растежът по височина на 11-ата година след залесяването. Поради установеното значително припокриване на интервалите на вариране по височина е приложен ABC анализ, при който общият брой на измерените височини е разпределен в три непресичащи се класа – с високи (клас А), средни (клас В) и ниски (клас С) стойности (Фиг. 7). Разпределението на произходите по средна височина в рамките на обособените три класа очертава група от 11 произхода като най-бързорастящи, които попадат в клас А с най-високи стойности на средната височина. С умерен растеж по височина са 7 произхода, които са отнесени към клас В и 7 произхода са сравнително бавнорастящи и попадат в клас С с най-ниски стойности на средната височина.



Фиг. 7. Разпределение на произходите от дугласка в ДГС Берковица в три класа (А, В и С) според средната им височина

Растежът по височина на 24-ата година след създаването на географската култура в УОГС „Петрохан“ е оценен също с прилагането на ABC анализ (Фиг. 8). Разпределението на произходите по средна височина в рамките на обособените три класа очертава група от 24 произхода като най-бързорастящи, които попадат в клас А с най-високи стойности на средната височина. С умерен растеж по височина са 17 произхода, които са отнесени към клас В и 13 произхода са сравнително бавнорастящи и попадат в клас С с най-ниски

стойности на средната височина. Особено впечатляващ, с най-голяма средна височина (20 m) е Darrington (DR6) от Западните Каскадни планини в щата Вашингтон. След него се нареждат 4 произхода: Newhalem (NH5), Monroe (MR) и Darrington (DR7) от същата група и крайбрежният Bremerton (BR11), с приблизително еднаква средна височина – 17.9 – 18.0 m. От всичките 13 произхода, обособени в клас С като най-ниски, заслужават внимание Alamogordo (A), Keremeos (K), Greenwood (G), Whitefish (W), Bates (B21, B22, B23) и Canyon City (CC35, CC36, CC37). Те запазват позицията си като най-бавнорастящи, установена и при предишни проучвания в географската култура.



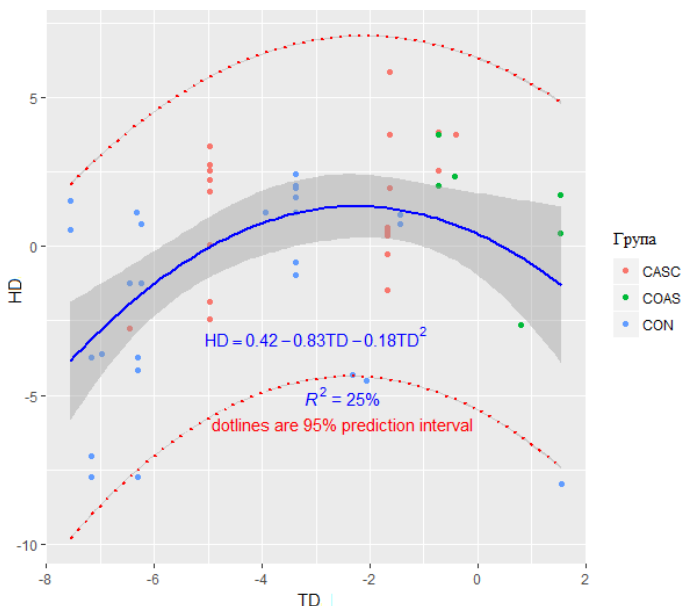
Фиг. 8. Разпределение на произходите в трите класа (А, В и С) според средната им височина

IV.1.4. Зависимост на растежа по височина от основни климатични показатели

Разработени са регресионни зависимости за растежа по височина на произходите от дугласка в географската култура в УОГС „Петрохан“ и основни климатични показатели. Първата зависимост (Фиг. 9) е за разликата в средната височина на всеки произход на възраст 24 години със средната височина на „местния“ произход (в случая произход Казанлък), означена като HD (относителна височина) и приета за зависима променлива, и разликата между

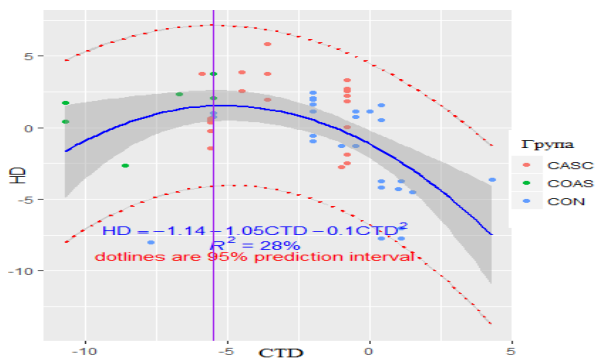
средната минимална температура на всеки произход и на географската култура (TD) – като независима променлива (Schmidtling 1994, Carter 1996). Когато пикът на регресионната крива е в точката, където разликата в средната годишна минимална температура между източника на посевен материал (произхода) и географската култура TD е нула, това показва, че производите са оптимално адаптирани към място, където средната минимална температура съвпада с тази на местопроизхода на източника на посевни материали. При пик в точката, в която TD е отрицателно число, производите растат най-добре на по-топли места със съответното отклонение от 0°C, а при пик в точката, при която TD е положително число производите растат най-добре на по-студени места в сравнение с мястото, от което произхождат. Тук пикът на регресионната крива (параболата) за географската култура от дугласка е при TD = -1.66°C, което показва, че оптималният растеж на дугласката в изследваната географска култура се наблюдава за произходи, трансферирани от по-хладни места с 1.66°C в сравнение с това на географската култура. Всички произходи, относителната височина на които има по-голяма стойност от 0 на ординатата, са по-високи от „местния“ произход. За групата на континенталните произходи (CON) преместването при условията на географската култура е към по-топъл климат, като разликата в средната минимална температура на местопроизхода и на мястото на географската култура е отрицателно число. Единствено изключение е произход Alamogordo (A) от Ново Мексико, за който преместването в България е с около 10° на север, при по-хладен климат (Табл. 1). За 14 от континенталните произходи в условията на географската култура растежът им по височина е по-слаб от този на „местния“ произход. Останалите 12 произхода са с по-добър растеж от него. За всички произходи от Западните Каскадни планини (CASC) преместването е към по-топъл климат. При тези условия повечето от тях постигат по-голяма височина от „местния“. За половината от крайбрежните произходи (COAS) преместването е при по-топъл, а за останалите – при по-хладен климат от този на местопроизхода. Те са по-високи от „местния“ произход с изключение на произход Toledo (T), който отстъпва по този показател на „местния“.

Следващите регресионни зависимости са за описаната по-горе зависима променлива HD и трансферното разстояние за някои климатични показатели. Трансферното разстояние е изчислено като разлика между съответния климатичен показател на географската култура и този на източника на посевни материали (произхода) – Leites et al. (2012), Lamy et al. (2013).



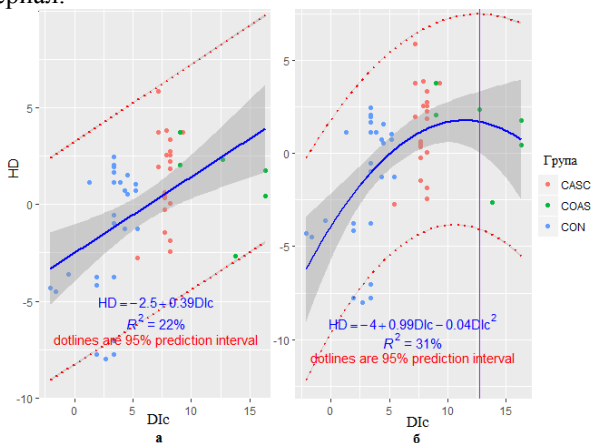
Фиг. 9. Зависимост между относителната височина на 24-годишна възраст (HD) и разликата в средната годишна минимална температура между източника на посевен материал и географската култура (TD)

Установена е регресионна зависимост, представена с параболичен модел (Фиг. 10) между относителната височина (HD) и разликата между температурата на най-студения месец на географската култура и произхода на посевните материали (STD). Пикът на регресионната крива от параболичния модел е при $STD = -5.5^{\circ}\text{C}$, т.е. оптималният растеж по височина се наблюдава при произходи, за които зимите в условията на географската култура са по-студени с 5.5°C от мястото, от което произхождат. На това условие отговарят крайбрежните произходи Bremerton (BM10, BM11) и континенталните произходи от Южен Орегон Medford (MF50, MF51). За всички произходи от Западните Каскадни планини (CASC) и крайбрежните (COAS) произходи преместването е към по-студени зими. За по-голямата част от континенталните произходи трансферът в СЗ България е към по-студена зима, а само за част от тях – към по-топла зима. Преместените към по-студена зима произходи са с по-добър растеж по височина от „местния“ произход в сравнение с тези, за които преместването е към по-топла зима.



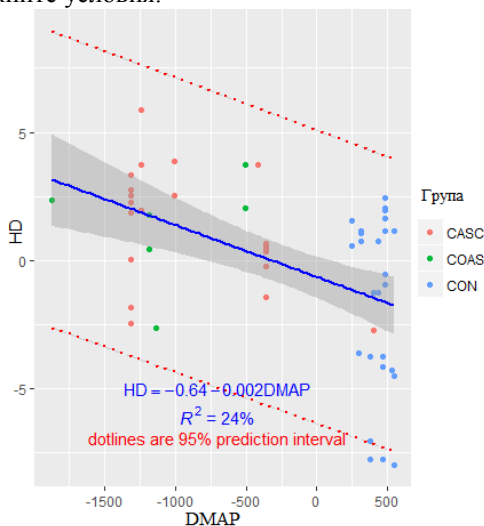
Фиг. 10. Зависимост между относителната височина на произходите на 24-годишна възраст (HD) и разликата в температурите на най-студения месец между географската култура и източника на посевен материал (CTD, °C)

Зависимостите между относителната височина и разликата в индекса на континенталност са представени на Фиг. 11 с два регресионни модела – линейен (Фиг. 11а) и параболичен (Фиг. 11б). С увеличаване на разликата в индекса на континенталност (Dlc) нараства и относителната височина (HD), т.е. при трансфер към по-континентален климат голяма част от произходите са по-високи от „местния“. Особено големи са различията при преместване на крайбрежните произходи (COAS), но това не се отразява отрицателно на техния растеж. Оптимумът в растежа по височина се наблюдава при нарастване на коефициента на континенталността с 12.7 спрямо този на източниците на посевен материал.



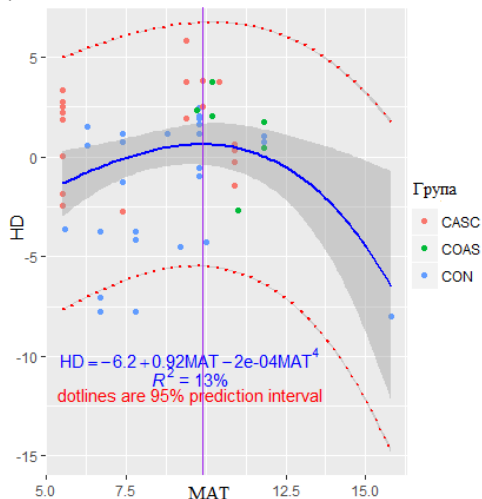
Фиг. 11. Зависимости (а – линейна и б – параболична) между относителната височина на 24-годишна възраст (HD) и разликата в индекса на континенталност на географската култура и източника на посевен материал (Dlc)

Установена е регресионна зависимост между относителната височина и разликата в годишната сума на валежите (DMAP) между географската култура и местопроизходите, представена с линеен модел (Фиг. 12). Положителните стойности на DMAP показват, че произходите са трансферирани към по-влажни условия. Ясно личи, че всички континентални произходи (CON) са трансферирани към по-влажни условия, докато крайбрежните (COAS) и тези от Западните Каскади (CASC) са преместени в значително по-сухи условия. Фигурата показва ясно групиране на произходите, като повечето континентални произходи имат по-малка височина от „местния“ произход. Изглежда нелогично при нарастване на валежната сума на новото място произходите да не се възползват от по-добрите влажностни условия, което би трябвало да повлияе положително на растежа им по височина. В случая се намесват генетичните заложиби на произходите. Част от континенталните произходи принадлежат най-вероятно към вариетет *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, който се характеризира със значително по-слаб растеж от *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*. Като допълнителен фактор, влияещ върху растежа на континенталните произходи, е тяхната чувствителност към гъбните патогени *Phaeocryptopus gaeumannii* (Rohde) Petrak и *Rhabdocline pseudotsugae* Syd., установени в изследваната географска култура, предпоставка за развитието на които са по-влажните условия.



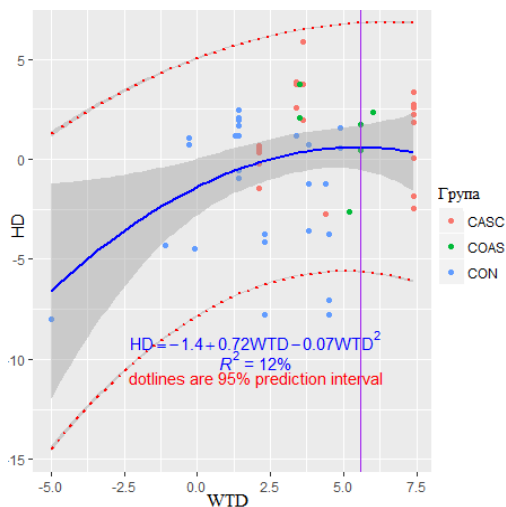
Фиг. 12. Зависимост на относителната височина на възраст 24 години (HD) и разликата в средната годишна сума на валежите на географската култура и източника на посевен материал (DMAP, mm)

Регресионната зависимост между относителната височина (HD) и средната годишна температура на производите (MAT) е представена на Фиг. 13. Полученият параболичен модел показва, че с оптимален растеж по височина се характеризират производите от места със средна годишна температура 9.4°C. На това условие отговарят производите Darrington от Западните Каскадни планини в щат Вашингтон.



Фиг. 13. Зависимост между относителната височина на производите на 24-годишна възраст (HD) и средната годишна температура (MAT) на източниците на посевен материал

Установена е зависимост между височината и средната температура на най-топлия месец, която е представена също с параболичен модел (Фиг. 14). Трансферът за повечето производите (с изключение на континенталните Alamogordo, Greenwood, Keremeos и Medford) е към по-топло лято в сравнение с източника на посевен материал. Пикът на параболичния модел е при $WTD = 5.6^\circ C$, т.е. растежният оптимум е при производите, които са преместени от по-хладно лято с $5.6^\circ C$ в сравнение с това на географската култура (Фиг. 14). При тези условия почти половината от производите имат по-добър растеж по височина от „местния“.

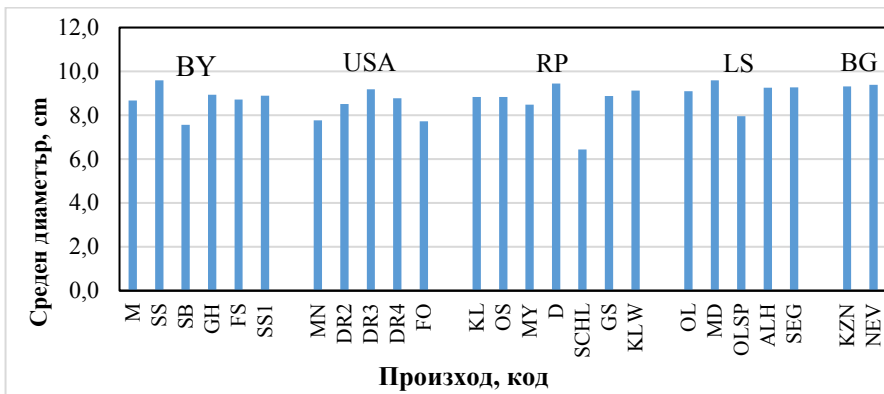


Фиг. 14. Зависимост между относителната височина на 24-годишна възраст (HD) и разликата в температурите на най-топлия месец между географската култура и източника на посевен материал (WTD, °C)

IV.1.5. Растеж по диаметър

Географска култура от дугласка в ДГС Берковица

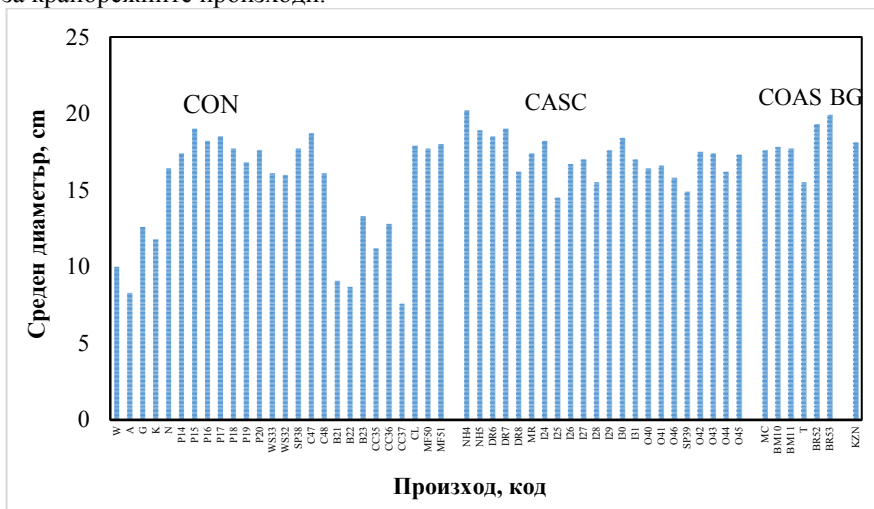
Средният диаметър на дугласката в географската култура на 11-ата година след създаването ѝ е 8.7 cm, като варира от 6.4 до 9.6 cm (Фиг. 15). С най-голям среден диаметър се характеризират произходът от Долна Саксония Münden (MD) и баварският Stadtsteinach (SS) – 9.6 cm, а с най-малък – произход Schneifel (SCHL) от Райнланд Пфалц – 6.4 cm. Към най-бързорастящите по диаметър произходи се причисляват и Daun (D) от Райнланд Пфалц – 9.4 cm, българските Казанлък (KZN) и Невестино (NEV) – 9.3 и 9.4 cm и американският Darrington (DR3) – 9.2 cm. Най-голямо вариране в средния диаметър в границите на около 3 cm, от 6.4 cm при произход Schneifel (SCHL) до 9.4 cm при Daun (D), се констатира при произходите от Райнланд Пфалц. При баварските и американските произходи варирането е в рамките до 2 cm – от 7.6 cm при Schnaittenbach (SB) до 9.6 cm при Stadtsteinach (SS), респ. от 7.7 cm при Mineral (MN) и Forks (FO) до 9.2 cm при Darrington (DR3). Най-бавнорастящите произходи по височина Schneifel (SCHL) от Райнланд Пфалц и Schnaittenbach (SB) от Бавария се характеризират и с най-слаб растеж по диаметър – 6.4 респ. 7.6 cm.



Фиг. 15. Среден диаметър на произходите в географската култура

Географска култура от дугласка в УОГС „Петрохан“

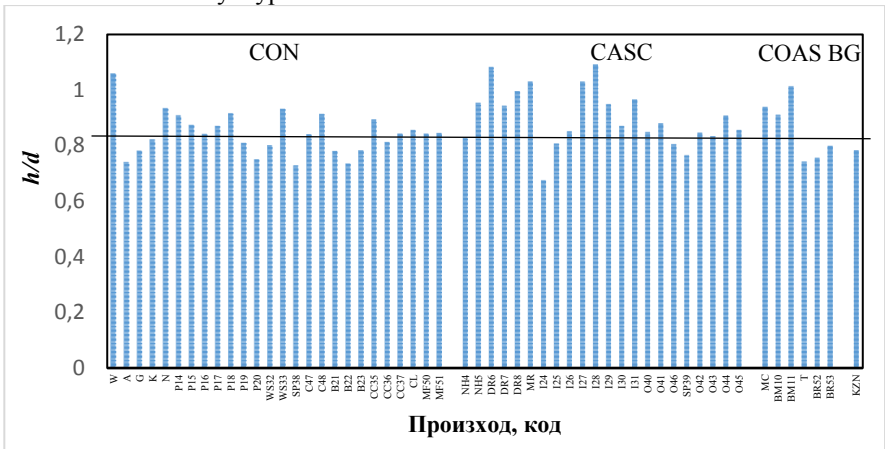
С най-голям среден диаметър на възраст 24 години се характеризира произходът от Западните Каскадни планини Newhalem (NH4) – 20.2 cm, а с най-малък – континенталният Canyon City (CC37) – 7.6 cm (Фиг. 16). Най-малък е средният диаметър на континенталните произходи – 14.8 cm, а най-голям – на крайбрежните произходи – 18.0 cm. Междинно положение заемат произходите от Западните Каскадни планини със среден диаметър 16.1 cm. „Местният“ произход Казанлък има среден диаметър (18.1 cm) малко над средния за крайбрежните произходи.



Фиг. 16. Среден диаметър на произходите в географската култура на 24-годишна възраст

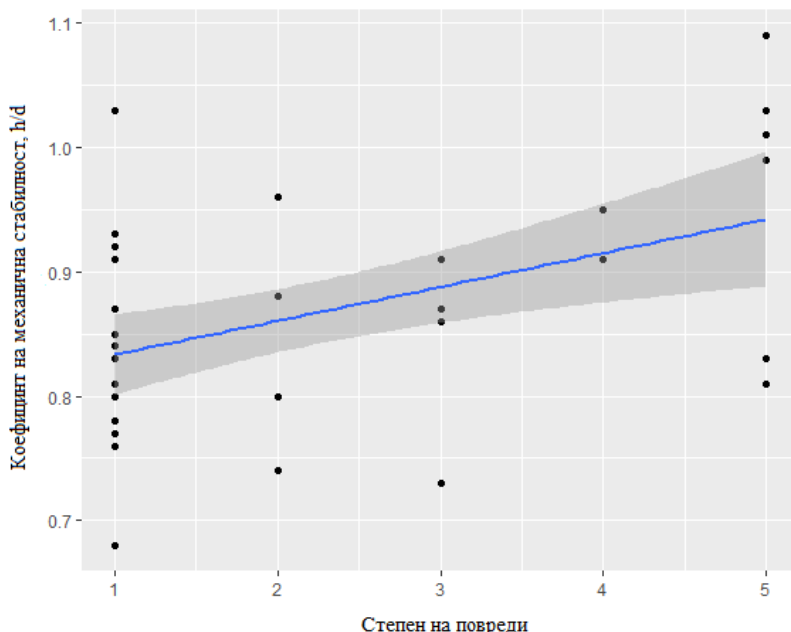
IV.1.6. Механична стабилност

Механичната стабилност е изследвана за географската култура от дугласка в УОГС „Петрохан“. В нея от 54 американски и един български произход (Фиг. 17), на възраст 24 години (2011 г.) само 12 произхода са със съотношение на h/d под 0.8. От тях 7 са континентални – Alamogordo (A), Greenwood (G), Parkdale (P20), Santiam pass (SP38), Bates (B21, B22, B23), т.е. характеризират се със сравнително по-бавен растеж. Другите 5 включват произходите от Западните Каскадни планини Idanha (I24) и Santiam pass (SP39), крайбрежните Toledo (T) и Brookings (BR52) и „българският“ Казанлък (KZN). При останалите 43 произхода рискът от повреди от абиотични фактори е по-голям. Коефициентът h/d е особено висок (> 1.0) при произходи Whitefish (W), Monroe (M), Idanha (I27, I28) и Bremerton (BR11). Податливостта на по-голямата част от произходите към повреди от ветровал се прояви в продължение на 3 години (2015, 2016 и 2018 г.). При посочените като силно нестабилни произходи Whitefish (W) и Monroe (M) не бяха констатирани повредени индивиди, но при произходи Idanha (I27, I28) и Bremerton (BR11) с особено висок коефициент на колективна механична стабилност, бяха повалени почти всички индивиди. В групата на засегнатите от ветровал участват и произходи Parkdale (P20) и Santiam pass (SP38), за които е определен коефициент на механична стабилност 0.75 – 0.73. Тази стойност на съотношението, макар и под критичната граница от 0.8, може да се счита за недостатъчна за осигуряване на стабилност на културата.



Фиг. 17. Колективна механична стабилност на 55 произхода от дугласка в 24-годишна географска култура в УОГС „Петрохан“ (CON – континентални, CASC – Западни Каскадни планини, COAS – крайбрежни, BG – български).

Установена е зависимост между коефициента на механична стабилност (h/d) и степента на повредите от ветровал (Фиг. 18).



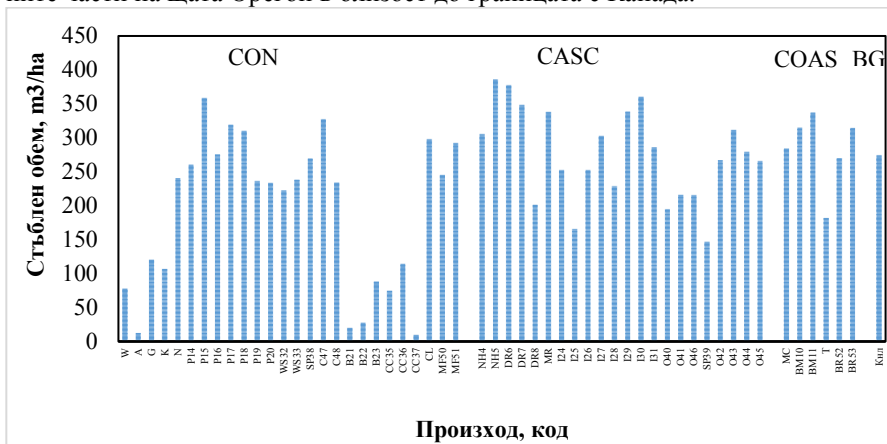
Фиг. 18. Зависимост между коефициента на механична стабилност и степента на повредите от ветровал в географската култура от дугласка в УОГС „Петрохан“

IV.1.7. Стъблен обем и продуктивност

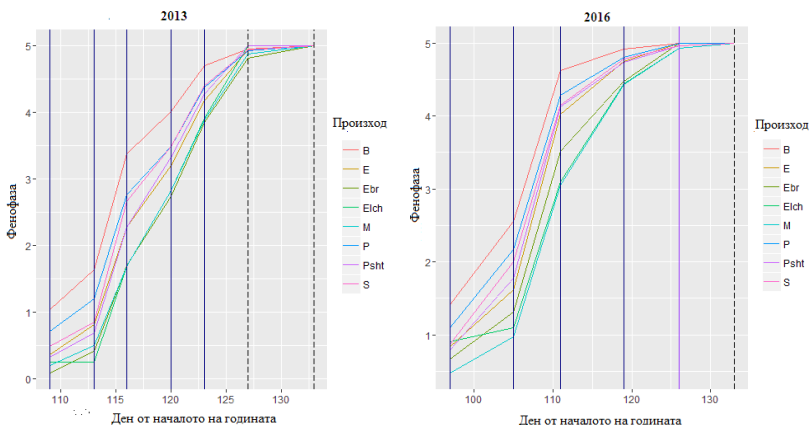
Средната стойност на стъбленият обем общо за географската култура е $238.5 \text{ m}^3/\text{ha}$, но с голямо вариране при отделните произходи (Фиг. 19). Най-голям е стъбленият обем при произход Newhalem (NH5) от Западните Каскадни планини – $377.2 \text{ m}^3/\text{ha}$, следван от произходи Darrington (DR6), Idanha (I30), Parkdale (P15) със стъблен обем над $350 \text{ m}^3/\text{ha}$. Към първите 10 най-продуктивни произхода се причисляват и Darrington (DR7), Idanha (I29), Monroe (MR) – също от Западните Каскадни планини, крайбрежният Bremerton (BM11) и континенталните Crescent (C47) и Parkdale (P17).

Най-малък стъблен обем се регистрира при континенталните произходи Canyon City (CC37) от Източните Каскадни планини и Alamogordo (A) от Ново Мексико – едва $13 - 17 \text{ m}^3/\text{ha}$. Тези резултати са очаквани, тъй като посочените континентални произходи се характеризират с най-слаб растеж по височина и диаметър. Със сравнително малък запас дървесина в границите на $25 - 130 \text{ m}^3/\text{ha}$ са и още 8 континентални произхода – Bates (B21, B22 и B23) и

Canyon City (CC35 и CC36) от вътрешната територия на Източен Орегон, Whitefish (W) от щата Монтана и Greenwood (G) и Keremeos (K) от най-северните части на щата Орегон в близост до границата с Канада.

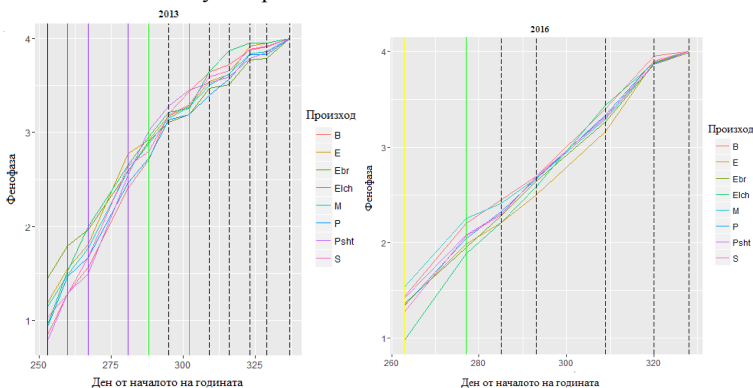


високите температури да е допринесло за удължаване на функционалната активност на листата.



Фиг. 20. Ход на разлистването на произходите от обикновен бук през 2013 и 2016 г. Забележка: В – Берковица, Е – Ebersdorf, Ebr – Ebrach, Elch – Elchingen, М – Mindelzell, Р – Петрохан, Psht – Пещера и S – Silberbach. Цветът на вертикалните линии кореспондира със следните нива на значимост:

Код на значимост: *** – 0.001; ** – 0.01; * – 0.05; . – 0.1; – тъмносин; ** – лилав; пунктирна линия – няма значимост.

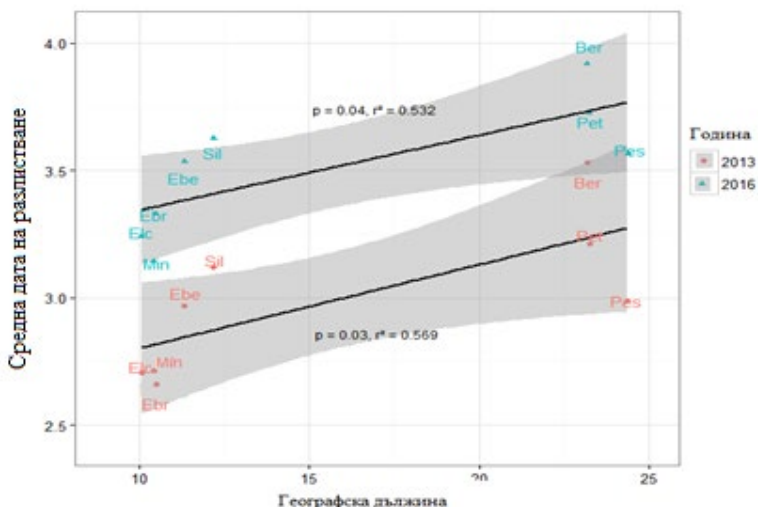


Фиг. 21. Ход на есенно обагряне на листата на произходите от обикновен бук през 2013 и 2016 г.

Забележка: В – Берковица, Е – Ebersdorf, Ebr – Ebrach, Elch – Elchingen, М – Mindelzell, Р – Петрохан, Psht – Пещера и S – Silberbach. Цветът на вертикалните линии кореспондира със следните нива на значимост: 0.0001 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’

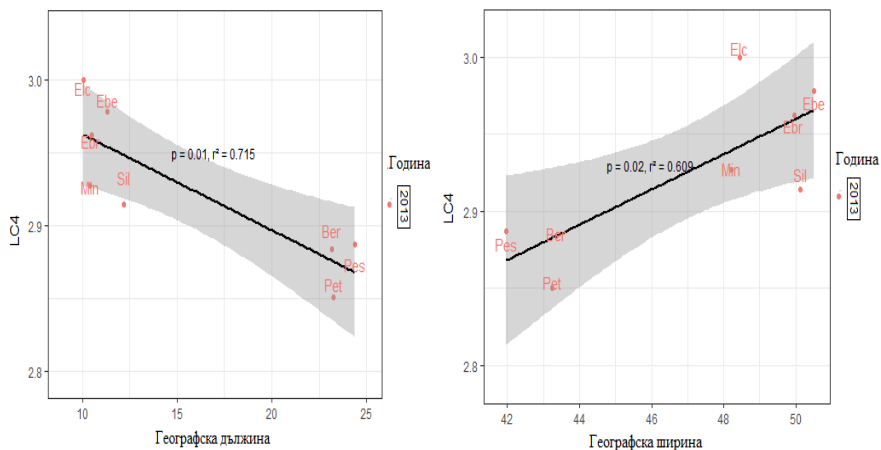
Цвят: ‘***’ – тъмносин; ‘**’ – лилав, ‘*’ – зелен; ‘.’ – жълт; пунктирна линия – няма значимост.

Установена е статистически значима зависимост между средната дата на разлистване и географската дължина на производите (Фиг. 22), като с нарастване на географската дължина, т.е. с преместване на изток, разлистването е по-ускорено или българските производци и през двата изследвани вегетационни периода се разлистват по-рано в сравнение с германските.



Фиг. 22. Зависимост между средната дата на разлистване на производите и географската дължина

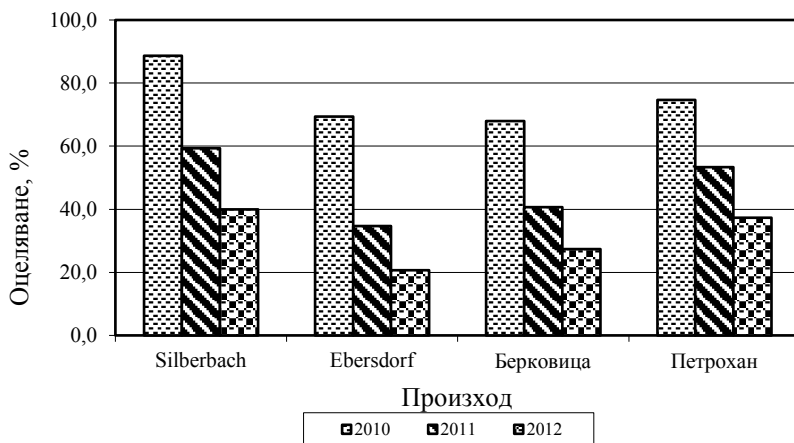
Установена е линейна зависимост и между средната дата на есенно обагряне на листата, от една страна, и географската дължина и географската ширина – от друга страна (Фиг. 23). Докато зависимостта с географската дължина е обратнопропорционална, то с географската ширина тя е право пропорционална, т.е. при по-източните и по-южни производци есенното обагряне на листата настъпва по-късно.



Фиг. 23. Зависимост между средната дата на есенно обагряне на листата на произходите и географската дължина и географската ширина

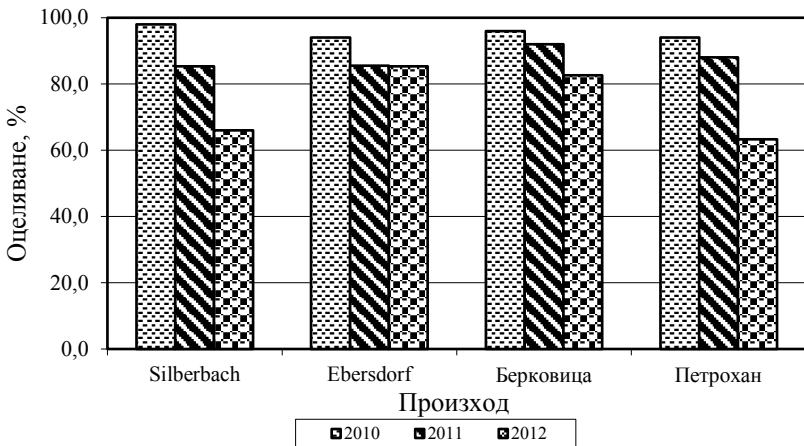
IV.2.2. Оцеляване

В географската култура от обикновен бук във Видин, при най-сухи условия на месторастене, оцеляването на изследваните произходи е ниско (Фиг. 24). След първия вегетационен период то е 75.2% за цялата географска култура и прогресивно намалява в края на втория (47.0%) и на третия вегетационен период – 31.3%.

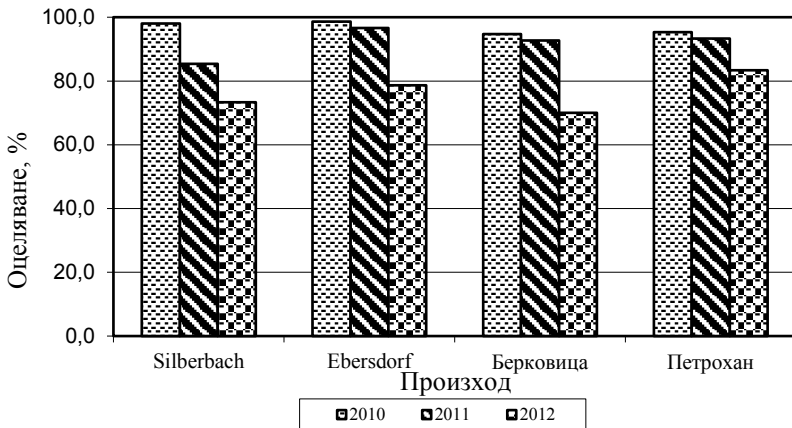


Фиг. 24. Оцеляване на произходите на първата (2010), втората (2011) и третата (2012) година в географската култура във Видин

Оцеляването на произходите през първите 3 години от създаването на географските култури във Върбица и Кипилово, които се намират при по-влажни условия на месторастене, е сравнително високо (Фиг. 25 и 26).



Фиг. 25. Оцеляване на произходите на първата (2010), втората (2011) и третата (2012) година в географската култура във Върбица

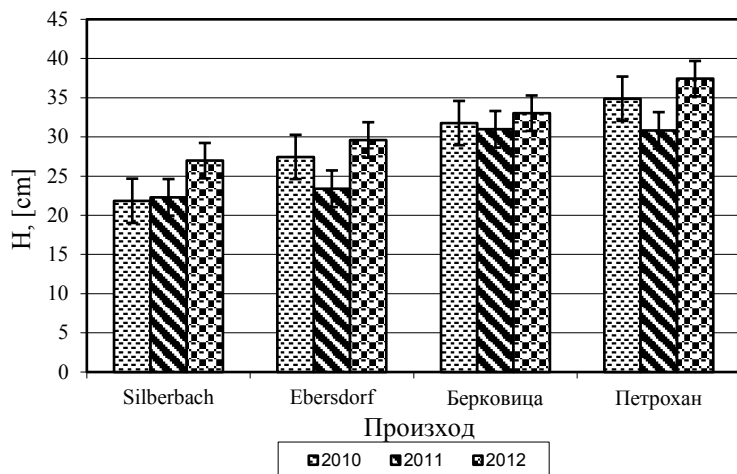


Фиг. 26. Оцеляване на произходите на първата (2010), втората (2011) и третата (2012) година в географската култура в Кипилово

IV.2.3. Растеж по височина

А. До третата година след създаването на културите

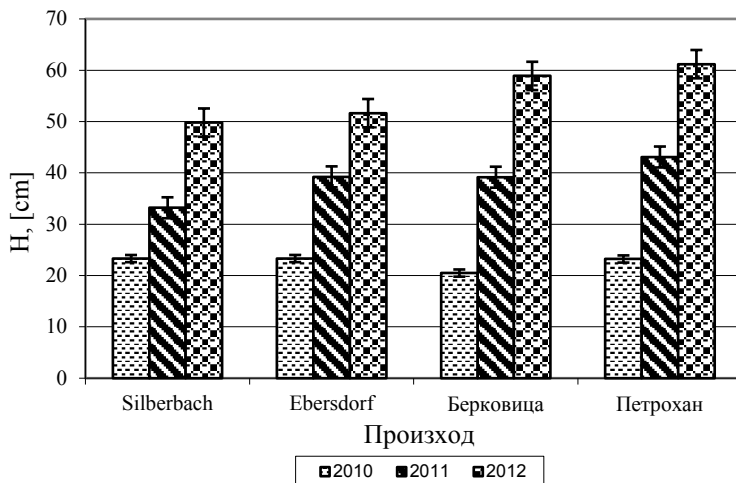
През първата година в географската култура във Видин с най-добър растеж по височина се характеризират българските произходи (Фиг. 27). През втората година, поради високия процент на загинали фиданки, средната височина намалява за произходи Ebersdorf от 27.4 на 23.4 cm, за Берковица – от 31.8 на 31.0 cm и за Петрохан – от 34.9 на 30.8 cm.



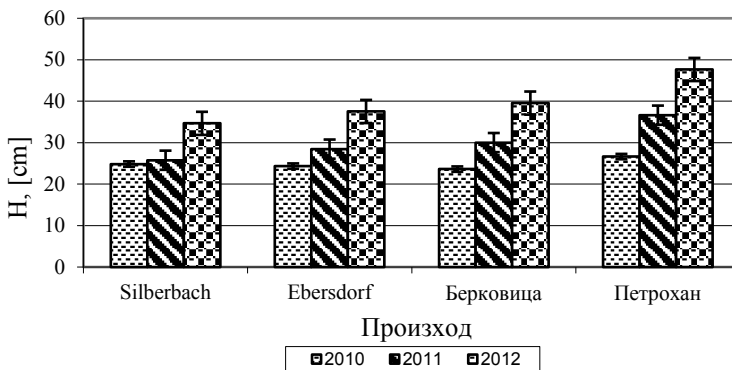
Фиг. 27. Средна височина на произходите на първата (2010), втората (2011) и третата (2012) година в географската култура във Видин

В края на първата година след създаването на културата във Върбица не се установяват съществени различия между средната височина на произходите (Фиг. 28). На втората година произход Silberbach отстъпва по височина на останалите произходи, произходи Ebersdorf и Берковица са с приблизително еднаква средна височина и най-голяма е средната височина на произход Петрохан. В края на третата година с най-добър растеж по височина се открояват българските произходи Берковица и Петрохан.

В географската култура в Кипилово още през първата година се очертава с най-добър растеж българският произход Петрохан и запазва водещото си място и в следващите две години. На второ място се нарежда произход Берковица, а германските Ebersdorf и Silberbach заемат трето и четвърто място за целия тригодишен период (Фиг. 29).



Фиг. 28. Средна височина на производите на първата (2010), втората (2011) и третата (2012) година в географската култура във Върбица

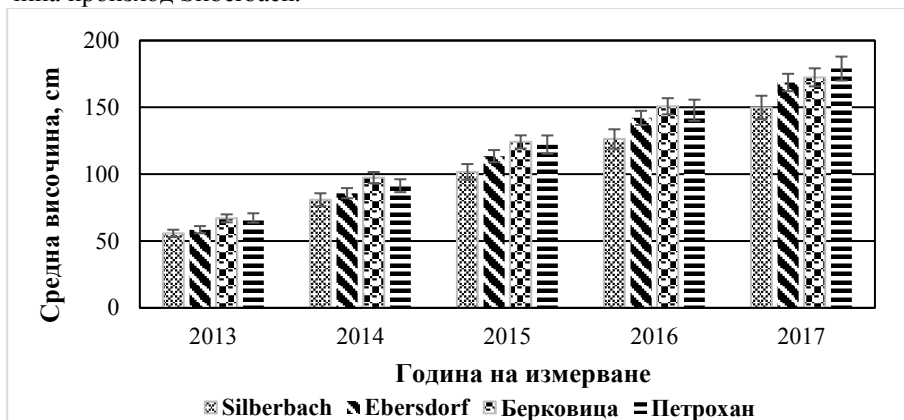


Фиг. 29. Средна височина на производите на първата (2010), втората (2011) и третата (2012) година в географската култура в Кипилово

Б. От четвъртата до осмата година след създаването на културите във Върбица и Кипилово

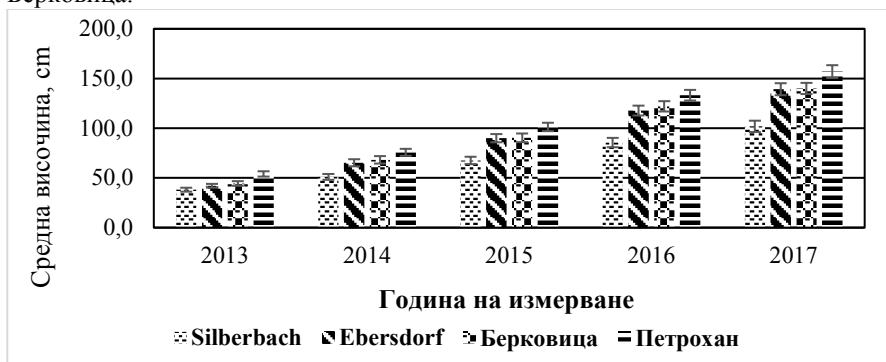
Както през първите три години, така и след четвъртата година, производите нарастват по-активно в географската култура във Върбица в сравнение с тази в Кипилово. Посочената тенденция за по-добър растеж на българските производими в първите три години се запазва и през следващия петгодишен период, като във Върбица на петата, шестата и седмата година с по-голяма

средна височина се характеризира произход Берковица, а на осмата най-голяма средна височина се отчита при произход Петрохан – 179 cm (Фиг. 30). Прави впечатление, че и произход Ebersdorf нараства активно, като леко отстъпва на българските произходи. По-значително изостава в растежа по височина произход Silberbach.



Фиг. 30. Средна височина на произходите от четвъртата (2013) до осмата (2017) година след създаване на географската култура във Върбица

В географската култура в Кипилово също с по-добър растеж се отличават българските произходи, но през целия петгодишен период най-високи са индивидите от произход Петрохан (Фиг. 31). И тук Ebersdorf нараства по-активно в сравнение със Silberbach. Последният значително отстъпва по този показател на останалите, като към осмата година е с близо 60 cm по-нисък от българския произход Петрохан, докато Ebersdorf се доближава до произход Берковица.



Фиг. 31. Средна височина на произходите от четвъртата (2013) до осмата (2017) година след създаване на географската култура в Кипилово

IV.2.4. Зависимост на растежа по височина от коефициента на Еленберг (EQ) и екоразстоянието (ΔE)

Изчисленото екоразстояние (ΔE) за германските и българските произходи показва (Табл. 3), че трансферът им в географските култури във Върбица и Видин е към по-сухи и по-топли условия, докато в географската култура в Кипилово, където са въведени 4 от всичките 8 букови произхода, стойността на коефициента само за произход Ebersdorf е положителна, а за останалите три – германският Silberbach и българските Берковица и Петрохан е отрицателна, което означава, че при тях трансферът е към малко по-хладни и по-влажни условия.

Таблица 3. Коефициент на Еленберг (EQ) на германските и българските произходи на бука и екоразстояние (ΔE) на произходите в географските култури, в които те са въведени

Държава	Произход	EQ	ΔE		
			Върбица	Кипилово	Видин
Германия	Elchingen (E)	24.7	6.4		13.54
Германия	Silberbach (S)	24.0	7.1	-3.0	14.22
Германия	Ebersdorf (E)	17.0	14.1	4.0	21.22
Германия	Ebrach (Ebr)	25.3	5.8		12.93
Германия	Mindelzell (M)	19.6	11.5		18.63
България	Пещера (Psht)	17.2	13.9		21.02
България	Берковица (B)	25.7	5.4	-4.7	12.52
България	Петрохан (P)	21.1	10.0	-0.2	17.10

Измерените средни височини на произходите на третата година след залесяването са коригирани с ефекта на мястото на географската култура (site effect) с цел да може да бъдат сравнявани (коригираните височини са означени като H'_3). Ефектът на мястото на географската култура е изчислен като разлика между средната височина на четирите произхода (Silberbach, Ebersdorf, Берковица и Петрохан) на съответната географска култура и средната височина общо за трите географски култури (Табл. 4).

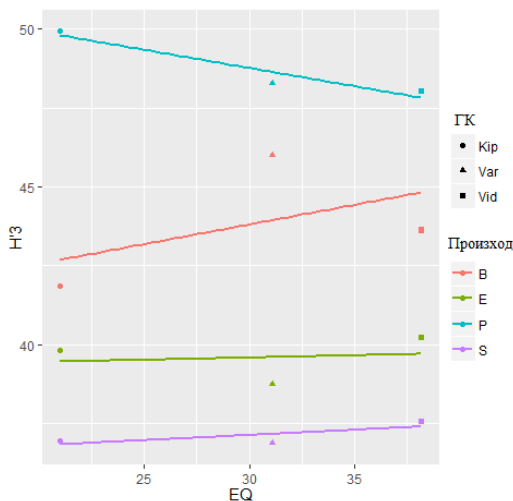
Коригираните височини на четирите произхода (Silberbach, Ebersdorf, Берковица и Петрохан) показват различна реакция при нарастване на коефициента на Еленберг (Фиг. 32). При произхода от по-влажен климат Петрохан ($EQ = 21.1$) височината намалява с нарастване на EQ . Такава реакция би могла да се очаква, тъй като по-суровите условия на околната среда влияят негативно на жизнеността на дървесния вид и способността му да натрупва биомаса. По-различна е реакцията на произход Берковица ($EQ = 25.7$), при който се установява нарастване на височината с нарастване на коефициента на Еленберг. Това може да се обясни с факта, че този произход е вече адаптиран към

по-влажна среда и се представя по-добре в по-сухи условия в сравнение с произхода от по-влажнен и хладен климат – Петрохан. При двата германски произхода Ebersdorf и Silberbach се забелязва слаб наклон на регресионната права, който показва стабилност в ефективността на условията на месторастене като стойности на коригираната височина. Това може да се дължи на по-ниската фенотипна пластичност, която е ключов елемент на отговора на растенията към променящите се климатични условия.

Таблица 4. Средна височина на третата година след залесяването на четирите буквени произходи (S, E, B и P) в трите географски култури (ГК), ефект на мястото на географската култура, зависимост на коригираната височина (H'_3) от екоразстоянието (ΔE) и резултати от двуфакторния дисперсионен анализ ANOVA за разлики между произходите

ГК	Средна височина, cm	Ефект на мястото на ГК, cm	$f(x)$ за H'_3 vs. ΔE на произхода	Разлики между произходите	
				F	p
Видин	31.8 ± 4.5	-10.6	-0.019	11.31	***
Върбица	55.3 ± 5.5	12.9	-0.35	4.58	**
Кипилово	40.1 ± 5.6	-2.3	0.157	10.39	***
Общо	42.4	п.а.	п.а.	п.а.	п.а.

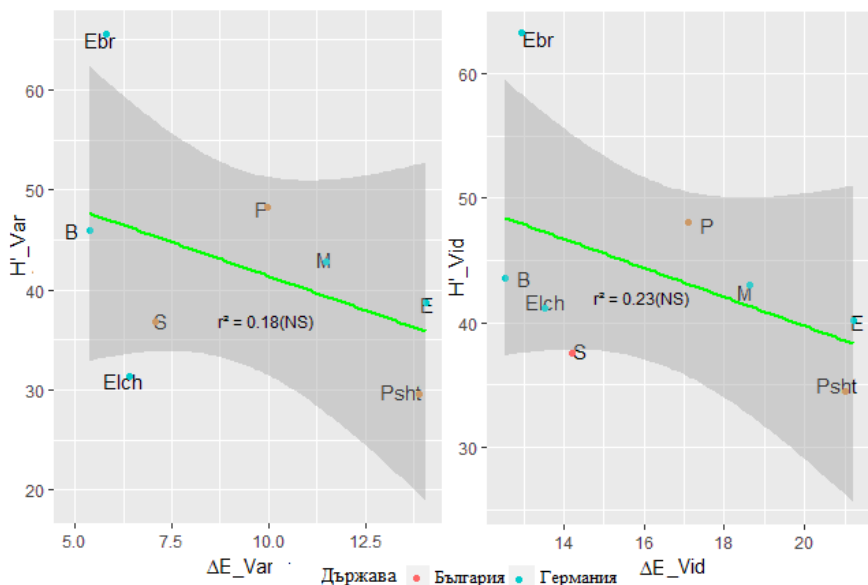
Забележка: Ниво на значимост: ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$. п.а. – няма значимост.



Фиг. 32. Норма на реакция на коригираните височини (H'_3) на буквите произходи на стойностите на EQ на географските култури.

Забележка: B – Берковица, $EQ = 25.7$; E – Ebersdorf, $EQ = 17.0$; P – Петрохан, $EQ = 21.1$; S – Silberbach, $EQ = 24.0$; ГК – географска култура, Kip – Кипилово, Var – Върбица и Vid – Видин.

Установява се забавяне на растежа по височина на всичките 8 произхода с нарастване на екологичното разстояние (ΔE) както при по-влажните условия на месторастене във Върбица, така и при по-аридните условия във Видин (Фиг. 33). Въпреки че регресионната права не е статистически значима, разположението на произходите е сходно и в двете географски култури, като най-голяма е височината на произход Ebrach, а най-малка – на произход Пещера.



Фиг. 33. Регресионна зависимост на коригираните височини (H'_z) на 8 произхода на обикновения бук с екоразстоянието (ΔE), в две географски култури с различна стойност на коефициента на Еленберг (EQ).

Забележка: Elch – Elchingen, S – Silberbach, E – Ebersdorf, M – Mindelzell, Ebr – Ebrach, Psht – Пещера, B – Берковица и P – Петрохан; ляво – Върбица (Var) – EQ 31.1; дясно – Видин (Vid) – EQ 38.2.

И двете географски култури имат коефициент на Еленберг над 30, т.е. и на двете места букът е при гранични условия за успешното си развитие, като в географската култура във Видин условията са дори критични. При това оценяването на буковите произходи още в първите години рязко намалява, а след третата година остават само отделни индивиди. При тези екстремни условия към третата година след създаването на културите с най-добри растежни показатели са българските произходи от надморска височина до 900 m Петрохан и Берковица, докато произход Пещера от надморска височина 1300 m е с по-малка височина и от тази на германските произходи. Липсата на статисти-

ческа достоверност на зависимостта между коригираната височина и екоразстоянието може да се обясни с отсъствие на генетична диференциация между германските и българските произходи (Фиг. 33). Това показва, че в условия на по-топъл климат германските произходи имат подобен темп на растеж по височина, както и местните произходи, което е признак на добра адаптивност към такива условия.

V. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

1. Фенофазите на изследваните произходи от дугласка и обикновен бук са в по-голяма степен генетично предопределени и в по-малка са повлияни от промяната на екологичните условия.

2. Оцеляването на изследваните произходи и от двата вида може да се приеме като първоначален показател за тяхната приспособимост към новите условия.

3. За произходите от дугласка статистически е доказано, че:

- най-бързорастящи в географската култура в Берковица са Münden от Долна Саксония и Kaiserslautern W от Райнланд Пфалц, а в УОГС „Петрохан“ – Darrington и Newhalem от Западните Каскадни планини.

- най-бавно нарастват Schneifel от Райнланд Пфалц и Schnaittenbach от Бавария в Берковица и AlamoGordo от Ново Мексико – в УОГС „Петрохан“.

- с нарастване на възрастта голяма част от бързорастящите произходи променят своя ранг по височина, докато най-бавнорастящите запазват ранга си.

4. Произходите на дугласка Oakridge от Западните Каскадни планини в щата Орегон не променят растежа си у нас, което е признак за тяхната приспособимост при условията на Северозападна България.

5. При дугласката има статистически значима положителна корелация между коефициента на механична стабилност и степента на повредите от вятър.

6. Най-продуктивни са произходите от дугласка Newhalem, Darrington, Idanha и Parkdale, над средното ниво е и продуктивността на „местния“ произход Казанлък.

7. Стъбленият обем на произходите от дугласка е в статистически достоверна отрицателна корелация с надморската височина.

8. Средният годишен прираст по обем на най-продуктивните произходи от дугласка е подобен на този в естествения ѝ ареал, което е доказателство за добрата им приспособимост към климата на Северозападна България.

9. Валежният режим оказва особено силно влияние върху оцеляването на произходите от обикновен бук, критерий за което може да се приеме стойност на коефициента на Еленберг по-ниска от 30.

10. При обикновения бук с по-добър растеж по височина в условията на по-топлия и по-сух климат у нас се отличават изследваните български произходи, което е признак на добрата им приспособимост към местните условия, докато германските произходи растат успешно, но по-бавно.

11. За произходите от обикновен бук съществува статистически доказана регресионна зависимост между растежа по височина, от една страна, и коефициента на Еленберг (EQ) и екологичното разстояние (ΔE), от друга - различните произходи реагират нееднозначно на нарастването на коефициента на Еленберг, но показват еднаква тенденция за намаляване на височината с увеличаване на екологичното разстояние.

12. Българските произходи на обикновения бук, като част от югоизточния му ареал, са с по-дълъг вегетационен период и имат по-добър растеж по височина в сравнение с германските, но ранното им развитие ги прави по-чувствителни към ниски пролетни температури, поради което асистираната миграция на букови посевни материали от Южна към Централна Европа трябва на този етап да се разглежда критично.

Получените резултати и направените изводи позволяват да бъдат дадени следните по-важни **препоръки** за бъдещата работа с произходи на дугласка и обикновен бук:

1. Фазите на приключване на вегетацията и на вдървяване на връхния леторасъл при произходи от дугласка да бъдат отчитани, когато средноденонощната температура на въздуха се задържи трайно под 10°C.

2. При необходимост от създаване на култури от дугласка и възможност за внасяне на посевен материал да бъдат предпочитани произходите от Западните Каскадни планини в щата Вашингтон Newhalem и Darrington като най-продуктивни и най-устойчиви на гъбни патогени. Допълнителна възможност е използването на произходите от второ поколение Münden от Долна Саксония и Kaiserslautern W от Райнланд Пфалц.

3. За източник на посевен материал може да бъдат използвани и по-възрастни и в добро общо състояние култури от дугласка у нас, преди всичко тези с генетично доказана принадлежност към „крайбрежния“ (тихоокеански) вариант на дугласката.

4. От бъдеща залесителна работа следва да бъдат изключени континенталните произходи Greenwood и Keremeos от щата Вашингтон, Whitefish от щата Монтана, Bates и Canyon City от източен Орегон и Alamogordo от Ново Мексико поради бавния им растеж, ниската продуктивност и високата чувствителност към гъбните патогени *Phaeocryptopus gaeumannii* и *Rhabdocline pseudotsugae*.

5. Да бъде коригирана към по-ниско ниво възприетата досега гранична стойност на коефициента за механична стабилност при дугласката.

6. За създаване на географски и други опитни култури от обикновен бук да бъдат избирани места със стойност на коефициента на Еленберг (*EQ*), не по-висока от 30.

7. На този етап е твърде рано да се дават надеждни препоръки за използването на букови произходи за асистирана миграция.

Настоящата работа демонстрира значението на дългосрочните експерименти за оценка на реакцията на произходи от дугласка и обикновен бук към промените в климата. Тя може да бъде използвана като теоретична предпоставка за препоръчване на подходящи произходи и трансфер на горски репродуктивен материал от посочените видове в контекста на климатичните промени..

Цитирана литература

1. Молле, Е. 2012. Биостатистика, Издателска къща при ЛТУ, София, 328 с.
2. Попов, Е. 1990. Влияние на произхода на семена от дугласка (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) върху растежа по височина, формирането на терминалната пъпка и студоустойчивостта на едногодишни фиданки, Наука за гората, 3, 3 – 17.
3. Ферезлиев, А. 2012. Растежни особености на зелената дугласка (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) в Северозападни Родопи, автореферат на дисертация за ОНС “доктор“, 33.
4. Carter, K.K. 1996. Provenance tests as indicators of growth response to climate change in 10 north temperate tree species, Can. J. For. Res. 26: 1089 – 1095.
5. Chakraborty, D. et al. 2015. Selecting populations for non-analogous climate conditions using universal response functions: the case of Douglas-fir in Central Europe. PloS One 10:e0136357.
6. de Mendiburu, F. 2017. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-8. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
7. Ellenberg, H. 1988. Vegetation ecology of Central Europe., Cambridge University Press 4th Ed. 731.
8. Forstreuter, M. 2002. Auswirkungen globaler Klimaänderungen auf das Wachstum und den Gaswechsel (CO₂/H₂O) von Rotbuchenbeständen (*Fagus sylvatica* L.). Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 119, 317.
9. Günzl, L. 1986. Anbauverfahren aus den österreichischen Douglasien-Provenienzversuchen der letzten 20 Jahre, Allgemeine Forstzeitung, 2: 32 – 33.
10. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
11. Jestaedt, M. 1980. Untersuchungen über die Jugendentwicklung von Douglasien-provenienzen im Hessen, Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 16, J.D. Sauerländers Verlag, Frankfurt am Main, 105.
12. Kleinschmit, J. et al. 1974. Ergebnisse aus dem internationalen Douglasienherkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland. Silvae Genetica 23(6):167 – 176.
13. Konnert, M., J.C. Bastien. 2019. Genecology of Douglas-fir and tree improvement strategy, In: Spiecker, H., M. Lindner, J. Schuler (Eds.) Douglas-fir – an option for Europe, European forest institute, 46 – 49.
14. Lamy J.-B., S. Delzon, A. Kremer. 2013. Adaptive potential – a partial insurance against climate change risks, In.: Fitzgerald, J. and Lindner, M. (eds.) Adapting to climate change in European forests – Results of the MOTIVE project. Pensoft Publishers, Sofia: 22 – 27.

15. Leites, L. et al. 2012. Height-growth response to climatic changes differs among populations of Douglas-fir: a novel analysis of historic data. *Ecological Applications*, 22: 154 – 165.
16. Malmqvist, C. et al. 2017. Differences in bud burst timing and bud freezing tolerance among interior and coastal seed sources of Douglas fir, *Trees*, 31:1987 – 1998.
17. Mátyás, C. et al. 2009. Juvenile growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. *iForest* 2: 213 – 220.
18. Mayer, H., E. Ott. 1991. *Gebirgswaldbau Schutzwaldpflege*, Gustav Fischer, Stuttgart.
19. Peters, G. 2017. Diamond plots: a tutorial to introduce a visualisation tool that facilitates interpretation and comparison of multiple sample estimates while respecting their inaccuracy.” *_PsyArXiv_*. <URL: <https://psyarxiv.com/fzh6c>>.
20. Peters, G. 2018. *_userfriendlyscience: Quantitative analysis made accessible_*. doi: 0.17605/ osf.io/txequ (URL: <http://doi.org/10.17605/osf.io/txequ>), R package version 0.7.2, <URL: <https://userfriendlyscience.com>>.
21. R Core Team 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
22. Rivas-Martinez, S. et al. 2017. Bioclimatology of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. In: Loidi J (Ed.) *The Vegetation of the Iberian Peninsula*, Springer International Publishing, vol. 1: 29 – 81.
23. Schmidting, R.C. 1994. Use of provenance tests to predict response to climate change: loblolly pine and Norway spruce. *Tree Physiology* 14: 805 – 817.
24. Thomas, W. Yee. 2015. *Vector Generalized Linear and Additive Models: With an Implementation in R*. New York, USA: Springer, 200.
25. Thrun, M. et al. 2017. ABCanalysis: Computed ABC Analysis. R package version 1.2.1. <https://CRAN.R-project.org/package=ABCanalysis>
26. Ultsch A, J. Lötsch. 2015. Computed ABC Analysis for Rational Selection of Most Informative Variables in Multivariate Data. - *PLoS ONE* 10(6), e0129767.
27. Wang, T et al. 2006. Use of response functions in selecting lodgepole pine populations for future climates, *Global Change Biology*, Vol. 12, Issue 12: 2404 – 2416.
28. Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

СПРАВКА

за приносите в дисертационния труд

Приноси с научен и научно-методичен характер

1. За първи път при този вид изследвания се въвежда класификационна процедура, използваща ABC анализа при дугласка като метод, който позволява интерпретация на резултатите при припокриване на значителна част от варирането на данните за определен показател.

2. Приложен е нелинеен логистичен модел (Nls Logistic Model) за определяне на средната дата на фенофазите при произходи от дугласка и от обикновен бук.

3. За първи път са разработени регресионни модели за зависимост между растежа по височина на произходи от дугласка в Северозападна България и основни климатични показатели.

4. Потвърждава се по-ранното начало на вегетацията при континентални произходи от дугласка и по-късното при Тихоокеанските крайбрежни произходи.

5. Получени са доказателства, че най-бавнорастящите произходи от дугласка с нарастване на възрастта запазват ранга си.

6. Потвърждава се по-ранното разлистване на произходи от обикновен бук от югоизточната част на естествения му ареал (България) в сравнение с тези от Централна Европа (Германия).

7. Спецификата в протичането на фенологичните фази при българските произходи от обикновен бук дава основание да се приеме, че те представляват екологично обусловени фенотипове.

8. Установена е линейна зависимост между фенофазите (средна дата на разлистване и на есенно обагряне на листата) на произходите от обикновен бук от една страна и географската ширина и дължина – от друга.

9. Потвърждава се по-високият процент на оцеляване на континенталните произходи в сравнение с Тихоокеанските крайбрежни произходи от дугласка.

10. Установена е достоверна отрицателна корелация между стъблени обем и надморската височина на изследваните произходи от дугласка.

Научно-приложни приноси

1. Най-продуктивни и адаптирани към климатичните условия в Северозападна България са произходите на дугласка Darrington и Newhalem от Западните Каскадни планини на САЩ, които са перспективни за залесяване в този район.

2. Фенологичните признаци, оцеляването и растежът по височина на изследваните произходи от дугласка и от обикновен бук може да бъдат прилагани като критерии за избора на подходящи произходи при промяна на климата.

3. От проучените местни произходи на обикновения бук са отбрани такива, които при евентуални по-бързи климатични промени може успешно да подпомогнат адаптацията му.

4. Коефициентът на Еленберг е надежден критерий за растежа и жизнеността на обикновения бук и може успешно да се прилага при оценка на състоянието на буковите гори в България.

Списък на публикациите, свързани с дисертационния труд

1. Илиев, С., К. Петкова. 1995. Сравнителни проучвания върху растежа по височина на произходи от дугласка (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Franco), Юбилейна научна сесия 70 години Лесотехническо образование в България, София, т. I: 144 – 152.
2. Илиев, С., К. Петкова. 1999. Първи изследвания в опитни култури от дугласка, Лесотехнически университет – София, Научни трудове, серия „Горско стопанство“, т. XXXVIII : 14 – 20.
3. Петкова, К. 1999. Сравнителна оценка на растежа по височина на 55 произхода от дугласка (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco), Лесовъдска мисъл, 2: 48 – 59. **ISSN 1310-5639**
4. Petkova, K. 2004. Der Douglasienanbau in Bulgarien – Ergebnisse der Herkunftsversuche, Forum Genetik – Wald – Forstwirtschaft, Ergebnisse forstgenetischer Feldversuche und Laborstudien und ihre Umsetzung in die Praxis, 20 – 22. IX.2004, Teisendorf, Tagungsbericht, 82 – 95. **ISBN 3-00-016567-3**
5. Petkova K., W. Ruetz, E. Popov, S. Tasheva. 2008. Nachkommenchaftsprüfung amerikanischer, deutscher und bulgarischer Douglasienbestände auf Prüfflächen in Bulgarien, Austrian Journal of Forest Science, 125. Jahrgang, Heft 2, S. 135 – 156. **ISSN: 0379-5292, SJR 2008 – 0.199 Q3.**
6. Petkova, K. 2011. Investigation of Douglas-fir Provenance Test in NW Bulgaria at Age 20, Forestry ideas, vol. 17, № 2, 131 – 140. **ISSN 1314 - 3905 (Print), ISSN 2603 - 2996 (Online).**
7. Huber, G., K. Petkova, M. Konnert, D. Thiel. 2014: Transferversuche mit Buche (*Fagus sylvatica*) zur Prüfung der Angepasstheit im Klimawandel. Teil I: Anzucht unter stark unterschiedlichen Klimabedingungen, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 185 Jahrgang, Heft 3/4, s.82 – 96. **ISSN 0002-5852, SJR 2014 – 0445 Q2, IF 2014 – 0.681.**
8. Petkova, K., M. Georgieva, M. Uzunov. 2014. Investigation of Douglas-fir provenance test in North-Western Bulgaria at age 24, Journal of Forest Science, 60, 7: 288 – 296. **ISSN 1212-4834 (Print) ISSN 1805-935X (On-line), SJR 2014 – 0.343 Q2.**
9. Petkova, K., W. Ruetz, E. Popov, I. Neikova. 2015. Testing of 29 Douglas fir provenances on two tests in Bulgaria, Forestry ideas, vol. 21, No 1(49): 29 – 38. **ISSN 1314 - 3905 (Print), ISSN 2603 - 2996 (Online).**
10. Petkova K, E. Molle, G. Huber, M. Konnert, J. Gaviria. 2017. Spring and autumn phenology of Bulgarian and German provenances of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under similar climatic conditions, Sylvae Genetica, Vol. 66 (1) 24 – 32. DOI:10.1515/sg-2017-0004, **ISSN: 2509-8934 (online), SJR 2017 – 0.225 Q3, IF 2017 – 0.277.**

11. Petkova, K. 2018. Growth response of Douglas-fir provenances to climate change, *Forestry ideas*, vol. 24, No 2 (56): 105 – 120. **ISSN 1314 - 3905 (Print), ISSN 2603 - 2996 (Online). SJR 2018 – 0.103 Q4.**
12. Petkova, K., E. Molle, M. Konnert, F. Knutzen. 2019. Comparing German and Bulgarian provenances of European beech (*Fagus sylvatica* L.) regarding survival, growth, and ecodistance, *Silva Balcanica*, 20(2): 27 – 48, DOI: 10.6084/m9.figshare.9929087, **ISSN 1311-8706 (print).**
13. Петкова, К., Е. Молле. 2019. Оцеляване и растеж на произходи от дугласка в географска култура, *Наука за гората*, 2: 55 – 70. **ISSN 0861-007X.**

Благодарности

Изказвам сърдечната си благодарност на моите учители проф. Боян Захариев и проф. Славчо Илиев, които ме насочиха към благородното лесокултурно дело, на колегите от катедра „Лесовъдство“, които ми дадоха ценни напътствия, на ръководствата на УОГС „Петрохан“, ДГС Берковица, ДГС Видин, ДГС Върбица и ДГС Кипилово за помощта при провеждането на теренната работа, на колегите доц. д-р Емил Молле, гл.ас. д-р Нено Александров и гл.ас. д-р Тома Тончев, за съдействието при различни етапи от изследването.

Благодаря и на проект „Трансферни експерименти с обикновен бук (*Fagus sylvatica*) и обикновена ела (*Abies alba*) за изпитване на адаптивността им при промяна на климата“ с ръководител д-р Моника Коннерт от Баварската служба по горско семепроизводство и селекция – Тайзендорф, Германия за финансовата подкрепа.

Посвещавам този труд на моята майка – Елисавета Жекова, която ме подкрепяше и съм сигурна, че тя щеше да се радва на завършения етап от работата ми. Благодарна съм и на моето семейство за разбирането и търпението.