

Нгуен Куинь Чанг, С.Г. Сахарова, Н.С. Прияткин, А.В. Жигунов

**РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СЕМЯН
EUCOMMIA ULMOIDES OLIV.
РАЗНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Введение. *Eucommia ulmoides* Oliv. (эвкоммия вязолистная) – листопадное дерево, принадлежащее к семейству *Eucommiaceae*. В зрелом возрасте оно достигает 20 м в высоту и 40 см в диаметре на высоте груди. Родина эвкоммии вязолистной – горные районы Западного и Восточного Китая (300–1300 м над уровнем моря) [Chang Hang-ta, Yan Su-zhu, 1979].

E. ulmoides была впервые зарегистрирована как лекарственное растение в Синнохонсоке, древней книге, опубликованной в Китае около 100-го г. н. э., в которой эвкоммия классифицируется как один из Йохонов (ценна тем, что не вызывает побочных явлений и мало токсична). Галеновые препараты, получаемые из коры этого растения, обладают сильным гипотензивным действием, оказывают мочегонное, тонизирующее, обезболивающее, седативное действия и относятся к группе спазмолитических лекарственных средств [Chien Tung-Hsu, 1957; Jangsu New Med Col, 1978]. Плод – продолговатый, сжатый с боков, крылатый орешек длиной 3–4 см и шириной 0,6–1,5 см, на короткой ножке. Семена с большим эндоспермом, прямым зародышем, равным по длине эндосперму, и узкими семядолями. Плодоношение в своем ареале в сентябре–октябре.

Рентгенографический метод оценки качества семян позволяет выявить хорошо развитые и полностью сформированные семена без их разрушения. Нередко хорошо сформированные семена имеют значительные дефекты, связанные с повреждениями вредителями. С помощью анализа рентгенограмм можно приблизительно оценить потенциал их прорастания. Проведение анализа – быстрая и сравнительно недорогая операция. Использование сканера обеспечивает постоянную запись данных. Люминесцентный метод основан на том, что при освещении ультрафиолетовыми лучами предметы (в том числе живые и мертвые ткани)

люминесцируют (светятся) различными цветами. В 1953 г., основываясь на методе рентгенографии, Симак и Густафссон изучили внутреннее строение семян интродуцентов древесных пород с целью анализа полиэмбрионии зародышей, их индивидуальной и географической изменчивости, а также выбраковки пустых и поврежденных [Simak, Gustafsson, 1953]. В 70-е гг. Belcher [Belcher, 1977] и Duffield [Duffield, 1973] показали эффективность рентгенографического метода для оценки содержания влаги и потенциальной жизнеспособности желудей дуба.

В 2018 г. использование методов микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации делает возможным обнаруживать скрытые дефекты желудей дуба черешчатого; установлена взаимосвязь интроскопических характеристик и ростовых показателей (длина ростка) желудей дуба черешчатого [Прияткин, Бутенко и др., 2018].

Цель работы – рентгенографическое исследование семян эвкоммии вязолистной разного географического происхождения для оценки их скрытых дефектов и оценки возможности применения рентгенографического анализа для определения жизнеспособности семян.

Для выполнения этой цели предполагалось следующее.

1. Выполнить рентген-съемку двух серий семян эвкоммии вязолистной разного географического происхождения для получения цифровых рентгенографических изображений.

2. Произвести автоматическую расшифровку цифровых рентгеновских изображений (рентгенограмм) для выявления, идентификации и количественной оценки следующих скрытых дефектов: 1 – пустозернистость; 2 – недовыполненность, 3 – трещиноватость, 4 – аномалия формы семядолей, 5 – энзимо-микозное истощение (ЭМИС); 6 – поврежденность насекомыми.

3. Выявить возможность применения рентгенографического анализа для определения жизнеспособности семян *E. ulmoides* с целью использования их для последующего посева.

4. Провести посев семян, оценить их всхожесть и рост сеянцев в питомнике.

Методика исследования. Объектами исследования служили две серии семян эвкоммии вязолистной:

Серия № 1 – семена эвкоммии собраны в России, в Краснодарском крае – Кавказское лесничество, Первомайское участковое лесничество, квартал 8Д, выдел 8, площадь 12,0 га. Объект расположен на высоте 9,0 м

над уровнем моря. Состав насаждения 7Эк3Орг (7 Эвкоммий 3 Ореха грецкого). По лесоустройству 2002 г. возраст насаждения 37 лет, на момент сбора семян – 55 лет. При натурном обследовании установлено: высота растений 16 м, диаметр на высоте груди 20 см. Объект в дальнейшем будет именоваться – серия № 1 г. Кропоткин. Семена получены 14.02.19 г.

Серия № 2 – семена эвкоммии собраны в провинции Лайтяу Республики Вьетнам. Семена получены 20.02.19 г.

Отбор семян для анализа выполняли по ГОСТу¹. Пробы серий семян эвкоммии (стандартные образцы для рентгенографического анализа) подготовлены согласно методике² и содержали по 50 шт. семян [Архипов, Гусакова и др., 2013; Безух и др., 2016] (рис. 1).

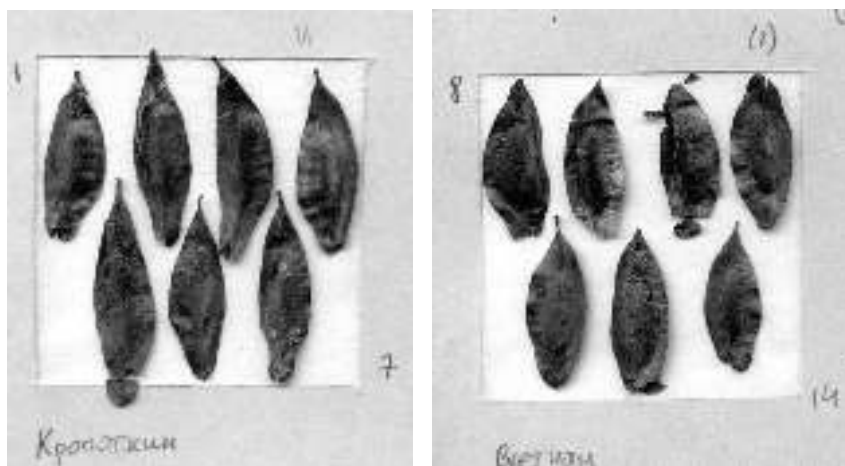


Рис. 1. Семена *E. ulmoides* серии № 1 г. Кропоткин, серии № 2 Вьетнам, подготовленные для рентген-съемки

Fig. 1. Seeds of *E. ulmoides* series no. 1 Kropotkin, series no. 2 Vietnam, prepared for X-ray imaging

¹ ГОСТ 13056.1–67. Семена деревьев и кустарников. Правила отбора образцов и методы определения посевных качеств семян. М., 1988. 30 с.

² ГОСТ 13056.7–93. Семена деревьев и кустарников. Методы определения жизнеспособности. М.: Изд-во стандартов, 1995. 40 с.; ГОСТ 56–64–88. Семена древесных пород. Методы рентгенографического анализа. М.: ЦБНТИлесхоз, 1988. 22 с.; ГОСТ 13056.8–97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения доброкачественности. М.: Изд-во стандартов, 1998. 15 с.

Сроки выполнения исследований 2019–2021 гг. Семена из Вьетнама до рентгенографического анализа не подвергались стратификации.

Рентген-съемку серий семян *E. ulmoides* выполнили с использованием передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02 с системой визуализации цифрового рентгеновского изображения на основе флэт-панели, при следующих настройках: увеличение 3-кратное, без автоконтраста.

Все рентгенографические исследования выполнены в лаборатории Агрофизического научно-исследовательского института (Санкт-Петербург) в марте 2019 г.

Расшифровку рентгенограмм двух серий семян *E. ulmoides* осуществляли визуальным и автоматическим способами с использованием программного обеспечения «ВидеоТест-Морфология» («Argus-Bio») с применением дифференцированного анализа отдельных структур и органов семени [Архипов, Прияткин и др., 2019]. Анализировались следующие параметры: отношение площадей семядоли / проекция семени, %; отношение яркости семядоли / проекция семени, %; площадь семядолей, мм²; площадь проекции семени, мм²; фактор круга семядолей, отн. ед.; округлость семядолей, отн. ед.; удлиненность семядолей, отн. ед.; средняя яркость семядолей, ед. яркости; интегральная яркость, семядолей, ед. яркости.

Определение грунтовой всхожести семян проводили в питомнике ботанического сада СПбГЛТУ. Опыт проводился, начиная с апреля 2019 г. по октябрь 2020 г.

Определение всхожести семян проводили согласно ГОСТам³. Исследование процессов роста сеянцев проводили согласно методическим указаниям по семеноводству интродуцентов и проращиванию покоящихся семян⁴.

³ ГОСТ 13056.1–67. Семена деревьев и кустарников. Правила отбора образцов и методы определения посевных качеств семян. М., 1988. 30 с.; ГОСТ 13056.6–75. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. М., 1987. С. 87–354.

⁴ Броуз Ф. Мак-Миллан. Размножение растений. М.: Мир 1992, 194 с.; Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 285 с.; Le Dinh Kha, Duong Mong Hung. Select and create varieties of forest trees. Agricultural publisher, 2003. 326 p.

Посевы ежедневно поливались, после прорастания семян минеральные подкормки не проводились. Замеры высоты (мерной линейкой с точностью до 1 мм) и диаметра (штангенциркулем с точностью до 0,1 мм) растений.

Результаты исследования. Цифровые рентгенографические изображения (рентгенограммы) серий № 1 и № 2 семян эвкоммии представлены на рис. 2, 3.

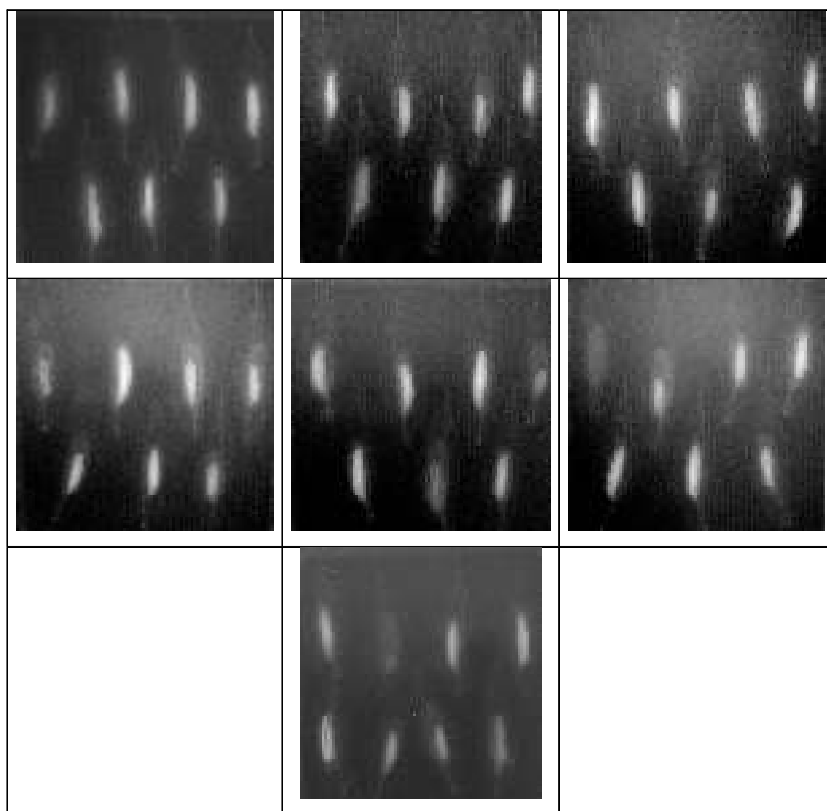


Рис. 2. Цифровые рентгенографические изображения (рентгенограммы) серии № 1 семян *E. ulmoides* (происхождение – г. Кропоткин)

Fig. 2. Digital radiographic images (radiographs) of series no. 1 of *E. ulmoides* seeds (origin Kropotkin)

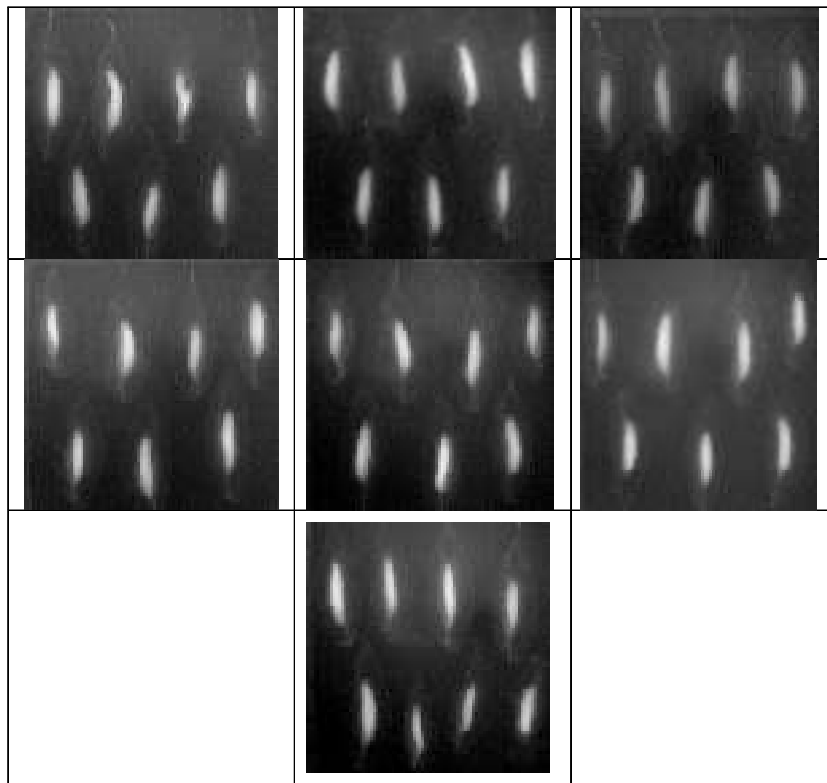


Рис. 3. Цифровые рентгенографические изображения (рентгенограммы) серии № 2 семян *E. ulmoides* (происхождение – Вьетнам)

Fig. 3. Digital radiographic images (radiographs) of seed series no. 2 of *E. ulmoides* (origin, Vietnam)

Визуальный анализ рентгенограмм серий № 1 и № 2 семян эвкоммии вязолистной выявил наличие следующих скрытых дефектов (рис. 4–7).

Данные о процентном содержании обнаруженных скрытых дефектов семян эвкоммии вязолистной в сериях №1 и №2 представлены в табл. 1.

Рентгенографическое исследование серий семян эвкоммии вязолистной позволило идентифицировать следующие дефекты: серия №1 (г. Кропоткин) – пустозернистость 4% (36, 44), невыполненность 18% (10, 20, 24, 25, 32, 34, 37, 49), трещиноватость 2% (47), аномалия формы семядолей 4% (21, 22); серия №2 (Вьетнам) – трещиноватость 2% (34), аномалия формы семядолей 6% (2, 3, 10). Пораженности грибами и повреждений вредителями не выявлено.



Рис. 4. Невыполненность
(пустозернистость)
Серия № 1, семя 36

Fig. 4. Unfulfilled (voiding).
Series no. 1, seed 36



Рис. 5. Недовыполненность
Серия № 1,
семя 32

Fig. 5. Undercompleteness
Series no. 1, seed 32



Рис. 6. Трещиноватость
Серия № 1, ряд № 4, семя 8

Fig. 6. Cracking .
Series no. 1, row no. 4, seed 8



Рис. 7. Аномалия формы семядолей
Серия № 2, семя 3

Fig. 7. Anomaly of seedling shape
Series no. 2, seed 3

Результаты автоматического анализа цифровых рентгеновских изображений серий № 1 и № 2 семян эвкоммии вязолистной представлены в табл. 2.

Автоматический анализ цифровых рентгенографических изображений выявил большую относительную, абсолютную площадь семядолей, интегральную яркость семядолей у серии № 2 (Вьетнам), по сравнению с серией № 1 (г. Кропоткин). Таким образом, по наличию дефектов можно сделать заключение, что серия № 2 должна характеризоваться лучшими посевными качествами, по сравнению с серией № 1.

Таблица 1

**Распределение обнаруженных скрытых дефектов в семенах эвкоммии
вязолистной различного географического происхождения**

**Distribution of latent defects detected in seeds of *Eucommia ulmoides*
of different geographical origin**

№ п/п	Наименование дефекта	Содержание обнаруженных скрытых дефектов в проанализированных семенах, %	
		Серия №1 (г. Кропоткин)	Серия №2 (Вьетнам)
1	Пустозернистость	4	0
2	Недовыполненность	18	0
3	Трещиноватость	2	2
4	Аномалия формы семядолей	4	6
5	Энзимо-микозное истощение	0	0
6	Повреждение насекомыми	0	0

Таблица 2

**Результаты автоматического анализа цифровых рентгеновских
изображений серий №1 и №2 семян эвкоммии вязолистной**

**Results of automatic analysis of digital X-ray images of *E. ulmoides* seed
series no.1 and no.2**

№ п/п	Показатель	Серия № 1 (г. Кропоткин)	Серия № 2 (Вьетнам)
1	Отношение площадей семядоли / проекция семени, %	50,82 ± 4,17	68,50 ± 1,94
2	Отношение яркости семядоли / проекция семени, %	1,20 ± 0,07	1,18 ± 0,02
3	Площадь семядолей, мм ²	28,83 ± 2,36	34,75 ± 1,42
4	Площадь проекции семени, мм ²	57,52 ± 3,10	50,97 ± 1,99
5	Фактор круга семядолей, отн. ед.	0,545 ± 0,036	0,531 ± 0,012
6	Округлость семядолей, отн. ед.	0,272 ± 0,020	0,260 ± 0,008
7	Удлиненность семядолей, отн. ед.	3,543 ± 0,251	3,893 ± 0,093
8	Средняя яркость семядолей, ед. яркости	140,109 ± 8,936	144,000 ± 7,510
9	Интегр. яркость семядолей, ед. яркости	2147017,1 ± 223158,4	2584221,8 ± 175075,0

В апреле 2019 г. (22.04.2019 г.) были посеяны обе серии семян *E. ulmoides* из разных географических мест их интродукции – г. Кропоткин, Россия (серия № 1) и Республика Вьетнам, провинция Лайтяу (серия № 2) – в кассеты Plantek-F, BCC SideSlit для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой.

Весной 2019 г. фиксировалось появление всходов. Параметрический паспорт индивидуальных семян *E. ulmoides* серии № 1 г. Кропоткин и серии № 2 Вьетнам, которые дали всходы после проведения рентгеноскопического анализа, представлен в табл. 3.

Таблица 3

**Параметрический паспорт индивидуальных семян
разного географического происхождения, которые дали всходы
E. ulmoides после проведения рентгеноскопического анализа**

**Parametric passport of individual seeds of different geographical origins
that yielded *E. ulmoides* seedlings after fluoroscopic analysis**

Географическое происхождение семян	Номер семени в эксперименте	Отношение площадей семян / проекция семени, %	Отношение яркости семян / проекция семени, %	Площадь семян, мм ²	Площадь проекции семени, мм ²	Фактор круга семян, отн. ед.	Округлость семян, отн. ед.	Удлиненность семян, отн. ед.	Средняя яркость семян, ед. яркости	Интегральная яркость семян, ед. яркости
Россия, г. Кропоткин	6	42,7	1,31	27,74	64,938	0,465	0,215	4,767	166,816	2389808
	7	43,3	1,26	23,12	53,349	0,47	0,220	4,778	154,935	1850077
	8	55,3	1,26	26,07	47,14	0,568	0,277	3,669	171,016	2302901
	9	49,9	1,32	29,94	59,971	0,518	0,251	4,063	142,982	2210637
	14	52,6	1,36	27,02	51,341	0,543	0,259	3,85	142,456	1987975
	17	47,6	1,29	33,94	71,254	0,553	0,264	3,688	160,822	2818726
	26	49,6	1,39	28,79	58,076	0,58	0,305	3,541	128,954	1917159
	28	54,7	1,24	29,77	54,42	0,662	0,340	3,01	125,632	1931596
	29	60,9	1,18	30,20	49,624	0,599	0,294	3,417	149,259	2328138
	31	62,0	1,22	37,88	61,057	0,488	0,230	4,601	160,177	3133706
	35	50,3	1,40	25,94	51,556	0,567	0,280	3,69	120,548	1614864
43	80,1	1,06	30,42	37,983	0,564	0,276	3,629	141,823	2227893	
Вьетнам, провинция Лайтяу	13	74,78	1,17	39,21	52,43	0,533	0,267	3,887	122,601	2482665
	17	67,56	1,19	35,49	52,53	0,544	0,259	3,726	106,711	1955794
	32	76,33	1,12	30,37	39,788	0,596	0,298	3,361	136,629	2143165

Из 50 шт. семян (серия №1) взошло 12 шт. Из двенадцати проросших семян (6, 7, 8, 9, 14, 17, 26, 28, 29, 31, 35, 43), участвующих в эксперименте после проведения рентгеноскопического анализа, всходы сеянцев 17, 35, 43 оказались нежизнеспособными и погибли вскоре после короткого времени прорастания. Сеянец 31 погиб в ноябре 2019 г. Сеянцы *E. ulmoides*, выращенные из семян после проведения рентгеноскопического анализа жизнеспособные саженцы – 6, 7, 8, 9, 14, 26, 28, 29), показаны на рис. 8.



Рис. 8. Сеянцы *E. ulmoides*, выращенные из семян серии № 1 г. Кропоткин после проведения рентгеноскопического анализа. Дата съемки 21.09.2020 г.

Fig. 8. Seedlings of *E. ulmoides* grown from seeds of Кропоткин series No. 1 after fluoroscopic analysis. Date of imaging 21.09.2020

У всех восьми оставшихся жизнеспособными сеянцев, выращенных из семян серии №1 г. Кропоткин, проведены измерения общей высоты и диаметра стволика у корневой шейки. Результаты измерений приводятся в табл. 4.

Из 50 шт. семян серии №2 Вьетнам после проведения рентгеноскопического анализа получено всего три сеянца (13, 17, 32), несмотря на то, что по незначительному наличию дефектов семена серии № 2 характеризовались потенциально лучшими посевными качествами. Внешний вид этих сеянцев в конце второго вегетационного сезона показан на рис. 9.

Таблица 4

Биометрические параметры сеянцев *E. ulmoides*, выращенных из семян серии № 1 г. Кропоткин, после проведения рентгеноскопического анализа

Biometric parameters of *E. ulmoides* seedlings grown from seeds of series no. 1 Kropotkin after fluoroscopic analysis

Номер сеянца в эксперименте	Сроки измерения параметров сеянцев					
	04.11.19		15.06.20		05.10.20	
	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>H</i>
6	2,4	11,2	4,2	17,6	4,9	46,6
7	1,1	6,2	3,1	13,7	3,9	29,5
8	1,5	7,6	3,2	14,6	4,1	38,0
9	1,3	8,2	3,3	15,8	4,1	32,5
14	1,5	9,2	3,4	16,2	4	44,8
26	1	5,4	2,9	11,9	3,7	27,3
28	1,2	7,2	3,1	14,2	3,7	28,5
29	1,8	8,9	3,7	15,9	4,4	36,8
31	1,5	8,0	3,4	15,0	4,1	35,5
Среднее	1,5±0,42	8,0±1,71	3,4±0,39	15,0±1,64	4,1±0,37	35,5±6,88

Примечание. Диаметр корневой шейки (*D*) – в мм, высота (*H*) – в см.



Рис. 9. Сеянцы *E. ulmoides*, выращенные из семян серии № 2 Вьетнам после проведения рентгеноскопического анализа. Дата съемки 21.09.2020 г.

Fig. 9. Seedlings of *E. ulmoides* grown from seed series no. 2 Vietnam after fluoroscopic analysis. Date of survey 21.09.2020

Биометрические параметры сеянцев, выращенных из семян серии №2 Вьетнам, приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Биометрические параметры сеянцев *E. ulmoides*, выращенных из семян серии № 2 Вьетнам

Biometric parameters of *E. ulmoides* seedlings grown from seed series no. 2 Vietnam

Номер сеянца в эксперименте	Сроки измерения параметров сеянцев					
	04.11.19		15.06.20		05.10.20	
	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>H</i>
13	1,3	6,6	2,2	10,1	3,4	30
17	1,7	10,5	3,8	16,6	5,0	49,5
32	1,2	5,5	2,1	7,9	3,5	22,3
Среднее	1,4±0,26	7,5±2,63	2,7±0,95	11,5±4,52	4,0±0,89	33,9±1,40

Примечание. Диаметр корневой шейки (*D*) – в мм, высота (*H*) – в см.

Различия в биометрических параметрах сеянцев эвкоммии разного географического происхождения не достоверны. Однако всхожесть семян серии №1 г. Кропоткин значительно выше, чем серии №2 Вьетнам. Это можно объяснить различной степенью естественной подготовленности семян к посеву.

Семена эвкоммии вязолистной в районе г. Кропоткина созревают в октябре–ноябре. При обильном плодоношении в подросе наблюдается естественное семенное размножение [Триль, 2005]. Но поскольку семена эвкоммии характеризуются очень глубоким покоем, а микрокультура эпидермы плода *E. ulmoides* представляет собой некий «панцирь», который формируется на околоплоднике, их следует сразу после созревания подвергнуть длительной (не менее 3–4 мес. при 5...8 °С) стратификации [Николаева, Разумова и др., 1985]. Сбор семян эвкоммии серии № 1 произведен 11.02.2019 г. с поверхности почвы. Таким образом, сама природа позаботилась о естественной стратификации (снеговании) семян серии № 1. Число полноценных семян (по микрофокусной рентгенографии) и нормально развитых сеянцев эвкоммии по результатам их проращивания совпали (9 из 50 шт.).

Объект сбора семян *E. ulmoides* серии № 2 расположен в провинции Лайтяу (Вьетнам). Климат в провинции Лайтяу (на севере граничит с Китаем) из-за гористости (высота н. у. м. 1674 м) прохладный. Среднегодовая температура 21...23 °С. Влажный сезон с большим количеством осадков продолжается с мая по сентябрь (фактически период созревания плодов эвкоммии). Сухой сезон продолжается с октября по март–апрель. Семена *E. ulmoides* здесь созревают в сентябре–октябре. Однако до отправки в Санкт-Петербург, а затем и до посева они хранились в картонной коробке. Эти условия, естественно, не способствовали выходу семян из глубокого покоя. Этим и объясняется очень низкое количество проросших семян – всего 3 сеянца из 50 шт. семян (13, 17, 32), несмотря на то, что по незначительному наличию дефектов семена серии № 2 характеризовались потенциально лучшими посевными качествами.

Оценка жизнеспособности семян эвкоммии серии №2 по результатам определения их доброкачественности рентгенографическим методом представляется возможной, так как семена не были подвергнуты стратификации.

Семена из г. Кропоткина получили полную имитацию стратификации (это нахождение семян после дессиминации на почве при температуре в среднем +5 °С в течение трех месяцев).

Для получения всхожести семян, соответствующей потенциалу их посевных качеств (согласно проведенному рентгеноскопическому анализу) для семян *Eiscottia*, рекомендуется длительная (не менее 3–4 мес.) холодная стратификация. Семена *Eiscottia*, собранные в условиях сухого сезона и находящиеся в глубоком покое, можно вывести из него, значительно сократив и при этом расширив диапазон температур, при которых происходит нарушение покоя, с помощью гормональных обработок [Николаева, Разумова и др., 1985; Триль, 2005]. Третий способ достижения высокой всхожести семян (и самый эффективный) – это посев свежесобранными семенами сразу после их созревания.

Выводы.

1. Микрофокусная мягколучевая рентгенография семян *E. ulmoides* имеет ряд преимуществ перед существующими традиционными методами: обладает быстротой исполнения, имеет большую информативность, анализируемый материал полностью сохраняется для дальнейшей работы. Метод может быть применен для решения не только научных, но и практических вопросов при экспресс-оценке интродуцированных семян и отбора лучших партий разного географического происхождения.

2. Рентгенографическое исследование двух серий семян *E. ulmoides* позволило идентифицировать следующие дефекты внутренней структуры семян: в серии №1 (г. Кропоткин) – пустозернистость 4%, невыполненность 18%, трещиноватость 2%, аномалия формы семядолей 4%; в серии № 2 (Вьетнам) – трещиноватость 2%, аномалия формы семядолей 6%. Пораженности грибами и повреждений вредителями не выявлено.

3. Автоматический анализ цифровых рентгенографических изображений выявил большую относительную, абсолютную площадь семядолей, интегральную яркость семядолей у серии № 2 (Вьетнам), по сравнению с серией № 1 (г. Кропоткин). Таким образом, по наличию дефектов можно сделать заключение, что семена серии № 2 Вьетнам должны характеризоваться лучшими посевными качествами, по сравнению с серией № 1 г. Кропоткин.

4. Результаты рентгенографического анализа семян *E. ulmoides* в серии № 1 г. Кропоткин совпадают с результатами их проращивания. Следовательно, рентгенографический анализ может быть успешно применен для определения жизнеспособности семян *E. ulmoides* после их стратификации.

5. Оценка жизнеспособности нестратифицированных семян эвкомии вязолистной по результатам определения их доброкачественности рентгенографическим методом не представляется возможной.

Библиографический список

Архипов М.В., Гусакова Л.П., Великанов Л.П., Вилчико А.К., Желудков А.Г., Алферов В.Б. Методика комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала. СПб.: АФИ, 2013. 52 с.

Архипов М.В., Прияткин Н.С., Гусакова Л.П., Потрахов Н.Н., Грязнов А.Ю., Бессонов В.Б., Староверов Н.Е. Рентгеновские компьютерные методы исследований структурной целостности семян и их значение в современном семеноведении // Журнал технической физики. 2019. № 4. С. 627–638. DOI: 10.21883/JTF.2019.04.47324.170-18

Безух Е.П., Потрахов Н.Н., Бессонов В.Б. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества семян плодовых культур // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. 2016. Вып. 89.

Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 285 с.

Прияткин Н.С., Бутенко О.Ю., Шабунин Д.А., Архипов М.В., Гусакова Л.П., Бойцов А.А., Потрахов Н.Н., Староверов Н.Е., Савина К.А. Исследования рентгеновских и газоразрядных характеристик желудей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) для оценки их посевных качеств // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2018. № 2. С. 4–17.

Триль А.В. Эколого-биологические особенности эвкоммии вязолистной *Eucommia ulmoides* Oliv., интродуцированной на Северо-Западном Кавказе, и перспективы ее использования: автореф дис. ... канд. с.-х. наук. Майкоп, 2005. 21 с.

Chang Hang-ta, Yan Su-zhu. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Delectis Flora Reimpublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita // Science Press. Beijing, Tomus 35(2), 1979. P 116–118.

Chien Tung-Hsu. Pharmacological action of *Eucommia ulmoides* Oliv. // Jpn J Pharmacol. 1957. 6. P. 122–137.

Jangsu New Med Col et al. Chinese Materia Medica. Shanghai Sci Tech Publ House, Shanghai, 1978. P. 1031–1033.

Belcher E.W.Jr. Radiographic analysis of agriculture and forest tree seeds. Document prepared for the Seed X-ray Technology Committee of the Association of Official Seed Analysts, Boise, Idaho. 1977. Vol. 31. P. 1–29.

Duffield J.W. New techniques for reading seed radiographs save time // Tree Plant, Notes. 1973. Vol. 24. 14 p.

Simak M., Gustafsson A. X-ray photography and sensitivity in forest tree species // Hereditas. 1953. 39 p.

References

Arkhipov M.V., Gusakova L.P., Velikanov L.P., Vilichko A.K., Zheludkov A.G., Alferov V.B. Methodology for a comprehensive assessment of the biological and economic suitability of seed. SPb.: AFI, 2013. 52 p. (In Russ)

Arkhipov M.V., Priyatkin N.S., Gusakova L.P., Potrakhov N.N., Gryaznov A.Yu., Bessonov V.B., Staroverov N.Ye. X-ray computer methods for studying the structural integrity of seeds and their importance in modern seed science // Journal of technical physics. *Technical Physics*, 2019, no. 4, pp. 627–638. DOI: 10.21883 / JTF.2019.04.47324.170-18. (In Russ)

Bezukh E.P., Potrakhov N.N., Bessonov V.B. Application of the microfocus X-ray method for quality control of fruit crops seeds. *Theoretical and scientific-practical journal. IAEP*, 2016, is. 89. (In Russ)

Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. Handbook on germination of dormant seeds. L.: Science, 1985. 285 p. (In Russ)

Priyatkin N.S., Butenko O.Yu., Shabunin D.A., Arkhipov M.V., Gusakova L.P., Boytsov A.A., Potrakhov N.N., Staroverov N.E., Savina K.A. Studies of X-ray and gas discharge characteristics of English oak acorns (*Quercus robur* L.) to assess their sowing qualities. *Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry*, 2018, no. 2, pp. 4–17. (In Russ)

Tril A.V. Ecological and biological features of *Eucommia ulmoides* Oliv., Introduced in the Northwest Caucasus, and prospects for its use. Abstract dis. Cand. agricultural sciences. Maykop, 2005. 21 p. (In Russ)

Chang Hang-ta, Yan Su-zhu. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Delectis Flora Reimpublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. *Science Press. Beijing, Tomus*, 1979, 35(2), pp 116–118.

Chien Tung-Hsu. Pharmacological action of *Eucommia ulmoides* Oliv. *Jpn J Pharmacol*, 1957, 6, pp. 122–137.

Jangsu New Med Col et al. Chinese Materia Medica. Shanghai Sci Tech Publ House, Shanghai, 1978, pp. 1031–1033.

Belcher E.W.Jr. Radiographic analysis of agriculture and forest tree seeds. Document prepared for the Seed X-ray Technology Committee of the Association of Official Seed Analysts, Boise, *Idaho*, 1977, vol. 31, pp. 1–29.

Duffield J.W. New techniques for reading seed radiographs save time. *Tree Plant, Notes*, 1973, vol. 24. 14 p.

Simak M., Gustafsson A. X-ray photography and sensitivity in forest tree species. *Hereditas*, 1953. 39 p.

Материал поступил в редакцию 19.01.2021

Нгуен Куинь Чанг, Сахарова С.Г., Прияткин Н.С., Жигунов А.В. Рентгенографический анализ качества семян *Eucommia ulmoides* Oliv. разного географического происхождения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 234. С. 134–151. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.134-151

Представлены результаты рентгенографических исследований семян эвкоммии вязолистной (*Eucommia ulmoides* Oliv.), которые характеризуются очень глубоким покоем. Опыты проводились на семенах разного географического происхождения: Россия (г. Кропоткин, Северный Кавказ) и Республика Вьетнам (провинция Лайтъяу). Семена на Северном Кавказе были собраны с поверхности земли в феврале и поэтому прошли под снежным покровом естественную стратификацию, а семена в провинции Лайтъяу были собраны с деревьев после их созревания и хранились до проведения анализа в сухом, не стратифицированном состоянии. Описаны типы идентифицированных скрытых дефектов семян. Приведены данные индивидуальных рентгеновских характеристик каждого исследованного семени («параметрический паспорт»). По наличию дефектов можно сделать заключение, что семена из провинции Лайтъяу должны характеризоваться лучшими посевными качествами, по сравнению с семенами из г. Кропоткина. Различия в биометрических параметрах двухлетних сеянцев эвкоммии вязолистной разного географического происхождения не достоверны. Однако всхожесть семян из г. Кропоткина значительно выше, чем из Лайтъяу. Это можно объяснить различной степенью естественной подготовленности семян к посеву. Результаты рентгенографического анализа стратифицированных семян *E. ulmoides* из г. Кропоткина совпадают с результатами их прорастивания. Однако оценка жизнеспособности семян эвкоммии, не подвергнутых стратификации, по

результатам определения их доброкачественности рентгенографическим методом не представляется возможной. Для получения всхожести семян, соответствующей потенциалу их посевных качеств (согласно проведенному рентгеноскопическому анализу) для семян *Eucommia*, рекомендуется длительная (не менее 3–4 мес.) холодная стратификация.

Ключевые слова: семена *Eucommia ulmoides*, микрофокусная рентгенография семян, скрытые дефекты семян, доброкачественность, жизнеспособность семян, биометрические параметры сеянцев, стратификация.

Nguyen Quynh Trang, Sakharova S.G., Priyatkin N.S., Zhigunov A.V. X-ray analysis of seed quality of *Eucommia ulmoides* Oliv. of different geographical origin. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2021, is. 234, pp. 134–151 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.134-151

The results of X-ray studies of *Eucommia ulmoides* Oliv. seeds, which are characterized by very deep dormancy, are presented. The experiments were carried out on seeds of different geographic origins: Russia (Kropotkin, North Caucasus) and the Republic of Vietnam (Laitau province). Seeds in the North Caucasus were collected from the surface of the earth in February and therefore underwent natural stratification under the snow cover, while seeds in Laitau province were collected from trees after they matured and stored in a dry, non-stratified state until analysis. The types of identified hidden seed defects are described. The data of individual X-ray characteristics of each investigated seed («parametric passport») are given. Based on the presence of defects, it can be concluded that seeds from the Laitau province should have better sowing qualities compared to seeds from Kropotkin. Differences in the biometric parameters of two-year-old eucommia seedlings of different geographic origin are not significant. However, the germination rate of seeds from Kropotkin is much higher than their Laitau. This can be explained by the varying degrees of natural readiness of the seeds for sowing. The results of X-ray analysis of stratified seeds of *E. ulmoides* from Kropotkin coincide with the results of their germination. However, it is not possible to assess the viability of eucommia seeds not subjected to stratification based on the results of determining their good quality by the X-ray method. To obtain the germination of seeds corresponding to the potential of their sowing qualities (according to the performed X-ray analysis) for *Eucommia* seeds, a long-term (at least 3–4 months) cold stratification is recommended.

Keywords: *Eucommia ulmoides* seeds, microfocus X-ray of seeds, hidden defects of seeds, quality of seeds, biometric parameters of seedlings, stratification.

НГУЕН Куинь Чанг – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова; Вьетнамский национальный университет лесоводства. ResearcherID: AAK-8702-2020.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия; QL21, ТТ. Xuân Mai, Chuong Mў, г. Ханой, Вьетнам. E-mail: quynhtrangvfu@gmail.com

NGUYEN Quynh Trang – PhD student at St.Petersburg State Forest Technical University; Vietnam National University of Forestry. ResearcherID: AAK-8702-2020. 194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia; QL21. ТТ. Xuân Mai. Chương Mỹ. Hà Nội. Vietnam. E-mail: quynhtrangvf@gmail.com

САХАРОВА Светлана Григорьевна – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург, Россия. Email: i.sakharov2014@yandex.ru

SAKHAROVA Svetlana G. – PhD (Agricultural), Associate Professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: i.sakharov2014@yandex.ru

ПРИЯТКИН Николай Сергеевич – зав. сектором биофизики растений ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», кандидат технических наук. SPIN-код: 9407-7573. ResearcherID: C-4300-2017. ScopusID: 57203873380.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: prini@mail.ru

PRIYATKIN Nikolai S. – PhD (Technical), Head of the Department of Plant Biophysics, Agrophysical Research Institute. SPIN-код: 9407-7573. ResearcherID: C-4300-2017. ScopusID: 57203873380.

195220. Grazhdansky av. 14. St. Petersburg. Russia. Email: prini@mail.ru

ЖИГУНОВ Анатолий Васильевич – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN: 6704-5792. ResearcherID: AAK-8124-2020. ScopusID: 572915838846.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург, Россия. Email: a.zhigunov@bk.ru

SPIN-код: 6704-5792. ResearcherID: AAK-8124-2020. ScopusID: 572915838846

ZHIGUNOV Anatoly V. – DSc (Agricultural), Professor, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN: 6704-5792. ResearcherID: AAK-8124-2020. ScopusID: 572915838846.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.zhigunov@bk.ru