

УДК: 634.371:631.527:631.531.038

ОЦЕНКА СОВМЕСТИМОСТИ СОРТО-ПОДВОЙНЫХ КОМБИНАЦИЙ ОРЕХА ГРЕЦКОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОГРАФИИ, ВОДОПРОВОДИМОСТИ И АНАТОМИРОВАНИЯ

Петр Сергеевич Корниенко ¹, Сергей Юрьевич Хохлов ¹,
Артем Александрович Грубый ¹

¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: petrkorzienko@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы оценки совместимости сорто-подвойных комбинаций ореха грецкого с использованием современных методов анализа, таких как рентгенография, водопроводимость и электропроводимость. Исследование направлено на изучение неразрушающих методов контроля качества привитых саженцев для повышения точности отбора посадочного материала. Особое внимание уделяется анализу параметров водопроводимости тканей и интерпретации данных рентгенографических исследований. В ходе работы проведён сравнительный анализ уровней водопроводимости тканей привитых растений в зависимости от подвоев и привоев за период 2018–2021 гг. Результаты показали значительную вариабельность данного показателя внутри сорто-подвойных комбинаций. Наиболее высокие значения удельной водопроводимости наблюдались у комбинации "Орех грецкий × Франкет", что указывает на оптимальное срастание тканей и хорошо развитую проводящую систему. Напротив, комбинация "Орех чёрный × Идеал" демонстрировала минимальные значения водопроводимости, что свидетельствует о низкой совместимости компонентов. Применение рентгенографии позволило выявить скрытые дефекты в местах прививки, такие как неполное срастание тканей и наличие некротических участков. Данный метод доказал свою эффективность для неразрушающего контроля качества саженцев. Полученные результаты подтверждают взаимосвязь между водопроводимостью, механической прочностью срастания и качеством внутренней структуры растений. Статья содержит подробный статистический анализ данных, включая двухфакторный дисперсионный анализ, а также описание методологии исследования. Представленные данные могут быть использованы для разработки рекомендаций по подбору оптимальных сорто-подвойных комбинаций и совершенствования технологий производства посадочного материала ореха грецкого.

Ключевые слова: орех грецкий; совместимость; рентгеноскопия; водопроводимость; электропроводимость

Введение

Орех грецкий (*Juglans regia* L.) является одной из важнейших плодовых культур, обладающей высокой хозяйственной ценностью благодаря питательным и целебным свойствам своих плодов. Однако успешное выращивание этой культуры во многом зависит от качества посадочного материала, что создает определенные сложности при его производстве. Одной из ключевых проблем в питомниководстве ореха грецкого является оценка совместимости сорто-подвойных комбинаций, которая напрямую влияет на приживаемость, рост и продуктивность будущих растений (Корниенко, 2022).

Производство качественных саженцев ореха грецкого представляет собой сложный многоэтапный процесс, требующий значительных временных и материальных затрат. Особую важность приобретает выбор оптимальных подвоев, обеспечивающих не только хорошую совместимость с привоем, но и устойчивость к неблагоприятным факторам среды, болезням и вредителям. В условиях интенсификации садоводства все большее распространение получают клоновые подвои, использование которых позволяет контролировать силу роста деревьев и улучшать качество плодов. Однако их применение часто сопровождается проблемами несовместимости с прививаемыми сортами, что может проявляться как на ранних этапах развития растений, так и через несколько лет после посадки (Корниенко, Потанин, 2017).

Традиционные методы оценки качества саженцев ореха грецкого в питомнике базируются преимущественно на внешних морфологических признаках: диаметре, высоте, степени одревеснения, развитии корневой системы. Такой подход не позволяет достоверно оценить важнейший показатель – степень срастания тканей в зоне прививки, который является критическим для последующего успешного роста растений. Существующие методики анатомического исследования мест прививки являются разрушающими и не могут быть применены в массовой практике (Копылов и др., 2020).

Сложность оценки качества посадочного материала ореха грецкого усугубляется тем, что многие дефекты, влияющие на жизнеспособность растений, носят скрытый характер и не проявляются внешне в процессе выращивания в питомнике. К таким дефектам относятся: неполное срастание тканей привоя и подвоя, наличие некротических участков, нарушения в формировании проводящей системы. Эти проблемы могут привести к замедлению роста, снижению зимостойкости и даже гибели растений после высадки в сад (Копылов, 2020).

Развитие современных технологий открывает новые возможности для совершенствования методов оценки качества посадочного материала ореха грецкого. В частности, метод микрофокусной рентгенографии, успешно применяемый в различных областях сельского хозяйства, демонстрирует высокую эффективность (Архипов, Потрахов, 2008). По данным ряда ученых, этот метод активно используется в селекции и питомниководстве плодовых культур для выявления внутренних аномалий и оценки структурной целостности растений (Безух, Потрахов, 2017). Подтверждается, что перспективность применения рентгенографии для исследования семян ореха грецкого, что позволяет на ранних этапах выявлять дефекты и прогнозировать их всхожесть (Базарнова и др., 2020).

Использование рентгенографии в других сферах сельского хозяйства также показывает её универсальность. Например, в работе Безух Е.П. (2019) описаны успешные примеры применения мягколучевой рентгенографии для определения качества семян голубики. Метод позволяет выявить внутренние повреждения, недоразвитие эмбриона и другие дефекты, которые невозможно диагностировать визуально.

Аналогичные подходы применяются и для оценки качества посадочного материала винограда, где рентгенография помогает выявить скрытые дефекты в местах прививки и оценить степень срастания тканей (Никольский, 2008; Никольский и др., 2010).

В связи с этим особую актуальность приобретает поиск новых, неразрушающих методов оценки качества саженцев ореха грецкого уже на этапе их выращивания в питомнике. Одним из перспективных направлений является применение современных физических методов исследования, таких как рентгенография, позволяющая визуализировать внутреннюю структуру растений без их повреждения (Palombini et al., 2021; Indore et al., 2022). Этот метод дает возможность выявить скрытые дефекты в зоне прививки, оценить качество срастания тканей и состояние проводящей системы (Vaz et al., 2020).

Дополнительным важным аспектом оценки качества саженцев является анализ их физиологических характеристик, в частности водопроводимости. Этот показатель отражает функциональное состояние проводящей системы растения и может служить индикатором степени совместимости привоя и подвоя (Копылов и др., 2020). Комплексная оценка саженцев с использованием различных методов исследования позволяет получить более полную картину их качества и прогнозировать успешность дальнейшего выращивания (Иванченко и др., 2021).

Развитие современных технологий открывает новые возможности для совершенствования методов оценки качества посадочного материала ореха грецкого.

Внедрение инновационных подходов, основанных на сочетании традиционных и современных методов исследования, позволит повысить эффективность питомниководства и обеспечить производство качественного посадочного материала, способного формировать высокоурожайные и устойчивые насаждения (Duncan et al., 2021)

Целью настоящего исследования является сравнение применения рентгенографии с другими методами изучения совместимости сорто-подвойных комбинаций ореха грецкого.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в период 2018–2021 гг. на базе Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского». Объектом исследования служили двухлетние привитые саженцы ореха грецкого, выращенные на различных подвоях. В качестве подвоев использовались орех чёрный (*Juglans nigra* L.) и орех грецкий (*Juglans regia* L.), а в качестве привоев – сорта Чандлер (к), Франкет и Идеал. Контрольный сорт Чандлер был выбран как единственный из изучаемых входящий в Госреестр и имеющий полное латеральное плодоношение. Подбор изучаемых сортов обусловлен их перспективностью и широким распространением в последние года среди с/х производителей.

Для оценки водопроводимости тканей применялся метод, разработанный в Институте «Агротехнологическая академия» (Иванченко и др., 2021). Измерения проводились на аппарате, позволяющем определять объём водопроводимости тканей за определенный промежуток времени. При определении водопроводимости в качестве измерительной жидкости использовали раствор нейтрального красного пигмента, окрашивающего стенки проводящих пучков без его распространения в более глубокие ткани растения. Результаты подвергались статистической обработке данных: для сравнения сорто-подвойных комбинаций использовался двухфакторный дисперсионный анализ.

Рентгенографическое исследование проводилось на установке «ПРДУ-2» (ФГБУН «НБС-НИЦ»), обеспечивающей микрофокусное мягколучевое рентгеновское излучение. Для более детального изучения процесса прохождения рентгеновского излучения через ткани и последующего анализа результатов исследования изучали два типа изображений рентгенограмм: позитивное и негативное.

Полученные изображения анализировались с использованием компьютерных программ для выявления скрытых дефектов в местах прививки.

Для верификации результатов рентгенографии и их корректной интерпретации авторы провели детальное анатомическое исследование образцов. В рамках данной работы была разработана специализированная методика, предусматривающая послойное и продольное сканирование в области соединения прививочных компонентов. Толщина каждого среза не превышала 0,5 мм, что позволило обеспечить высокую разрешающую способность и точность визуализации. Исследование осуществлялось в направлении от периферии саженца к его центральной оси, при этом на каждом этапе производилась фотографическая документация.

В рамках данного исследования была отработана комплексная система мониторинга состояния саженцев, базирующаяся на мультидисциплинарном подходе. Система интегрирует различные методы анализа, включая оценку водопроводимости, рентгенографию и анатомирование, что позволяет осуществлять детальное изучение физиологических процессов, протекающих в растениях.

Данный подход обеспечивает сбор обширного массива данных, подвергающихся последующему многоуровневому анализу. Особое внимание уделяется параметрам

водопродимости тканей и аспектам рентгенографических изображений, что способствует выявлению закономерностей в динамике роста и развития растений.

Статистический анализ полученных данных был проведен методами вариационного и дисперсионного анализов, с помощью программ «Microsoft Office Excel 11» и Statistika 6,0.

Результаты и их обсуждение

Одним из ключевых показателей, характеризующих качество срастания привоя и подвоя, является водопродимост тканей. Этот параметр отражает функциональное состояние проводящей системы растения и может служить индикатором степени совместимости компонентов прививки. Для оценки водопродимости были проведены измерения на двухлетних привитых саженцах ореха грецкого, выращенных на различных подвоях. В качестве подвоев использовались сеянцы ореха грецкого и ореха чёрного, а в качестве привоев – сорта Чендлер, Франкет и Идеал.

Таблица 1

Водопродимост тканей двухлетних привитых растений ореха грецкого на различных подвоях 2018-2021 гг.

Table 1

Water conductivity of tissues of two-year-old grafted walnut plants on various rootstocks 2018-2021

Подвой / Rootstock	Сорт / Cultivar	Объём водопродимости тканей без учёта диаметра саженца мл/час / Volume of water supply of tissues without taking into account the diameter of the seedling ml/hour	Диаметр саженца, мм / Seedling diameter, mm	Площадь однолетней части привоя, см ² / Area of the annual part of the graft, cm ²	Удельная водопродимост, мл/см ² за час / Specific water supply, ml/cm ² per hour
Орех чёрный / Black walnut	Чендлер (к) / Chandler (c)	7,522	19,50	2,98	2,52
	Франкет / Franquette	8,488	18,10	2,57	3,30
	Идеал / Ideal	2,344	23,30	4,26	0,55
	Среднее / Average	6,118	20,30	3,27	2,12
Орех грецкий (к) / Walnut (c)	Чендлер (к) / Chandler (c)	8,460	17,70	2,46	3,44
	Франкет / Franquette	12,139	18,10	2,57	4,72
	Идеал / Ideal	9,962	17,10	2,30	4,34
	Среднее / Average	10,187	17,63	2,44	4,17
Среднее / Average		8,153	18,97	2,86	3,15
НСР _{05А} (подвой) / LSD _{05А} (rootstock)		0,17	0,06	0,02	0,05
НСР _{05В} (привой) / LSD _{05В} (graft)		0,21	0,08	0,02	0,06
НСР _{05Взаим. АВ} / LSD _{05 interaction of АВ}		0,21	0,08	0,02	0,06
НСР ₀₅ для частных различий / LSD _{05 for particular differences}		0,29	0,11	0,03	0,09

Измерения проводились с учётом диаметра саженцев и площади поперечного сечения однолетней части привоя для расчёта удельной водопродимости, выраженной в миллилитрах на квадратный сантиметр за час. Полученные данные позволили выявить значительные различия в уровне водопродимости между сорто-

подвойными комбинациями, что указывает на влияние как подвоя, так и привоя на качество срастания.

Данные показывают значительную вариабельность удельной водопродовимости в зависимости от используемых подвоев и привоев. Наиболее высокие значения (4,72 мл/см² за час) наблюдаются у комбинации "Орех грецкий × Франкет", что указывает на оптимальное срастание тканей и хорошо развитую проводящую систему. В то же время минимальные значения (0,55 мл/см² за час) зафиксированы у комбинации "Орех чёрный × Идеал". Это подчеркивает важность правильного подбора подвоя и привоя для достижения высокой продуктивности растений. Также стоит отметить, что подвой "Орех грецкий" в среднем демонстрирует более высокую водопродовимость (4,17 мл/см² за час) по сравнению с подвоем "Орех чёрный" (2,12 мл/см² за час), что свидетельствует о его лучшей совместимости с различными сортами.

Переходя к двухфакторному дисперсионному анализу (табл. 2), становится очевидно, что оба фактора – подвой и привой – оказывают существенное влияние на уровень водопродовимости. Подвой объясняет 46,2% вариации, тогда как привойный сорт составляет 32,4%.

Таблица 2

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа изучения удельной водопродовимости тканей привитых растений ореха грецкого

Table 2

The results of a two-factor dispersion analysis of the study of the specific water resistance of the tissues of grafted walnut plants

Факторы / Factors	Доля фактора / Share of the factor	F _{факт} / F _{fact}	F _{05 (теор)} / F _{05 theor}	НСР ₀₅ * / LSD ₀₅	Различия существенны / Differences are significant
А (подвой) / A (rootstock)	46,2	2492,2	4,35	0,17	*
В (привойный сорт) / B (grafted cv.)	32,4	872,72	3,49	0,21	*
Взаимодействие факторов АВ / Interaction of A and B factors	21	566,52	3,49	0,21	*
Для оценки существенности частных различий / To assess the significance of particular differences				0,29	

Взаимодействие этих факторов также значимо и составляет 21%. Это подтверждает гипотезу о том, что успешность срачивания зависит не только от индивидуальных свойств подвоя и привоя, но и от их взаимодействия. Для частных различий рассчитанная наименьшая существенная разность (НСР₀₅) составила 0,29 мл/см² за час, что позволяет уверенно выделять значимые различия между комбинациями.

Одним из ключевых показателей качества привитых саженцев ореха грецкого является механическая прочность срастания, которая отражает степень интеграции тканей привоя и подвоя. Этот параметр имеет важное практическое значение, так как определяет устойчивость растений к внешним нагрузкам, включая воздействие ветра, осадков и других факторов.

Анализ механической прочности срастания стандартных привитых саженцев ореха грецкого выявил значительные различия между исследуемыми сорто-подвойными комбинациями. Наиболее высокие показатели абсолютной механической прочности продемонстрировала комбинация "Орех грецкий × Франкет" – 20,59 кг для однолетних и 41,72 кг для двухлетних саженцев, соответственно. Это существенно выше средних значений по выборке и указывает на оптимальное срастание тканей при использовании данного подвоя и привоя (табл. 3).

При сравнении различных подвоев отчетливо видно преимущество сеянцев ореха грецкого перед сеянцами ореха черного. Средняя механическая прочность срастания на подвое ореха грецкого составила 36,8 кг против 31,4 кг на подвое ореха черного для двухлетних растений. Особенно заметна эта разница при работе с сортом Идеал, где комбинация с подвоем ореха черного показала крайне низкие результаты прочности – всего 15,09 кг.

Существенные различия наблюдаются и между привойными сортами. Лидером по механической прочности срастания является сорт Франкет, демонстрирующий стабильно высокие показатели на всех подвоях. В то время как сорт Идеал показывает наиболее низкие значения прочности, особенно на подвое ореха черного, что согласуется с данными по водопроводимости из таблицы 1.

Удельная механическая прочность, учитывающая площадь поперечного сечения, также подтверждает выявленные закономерности. Комбинации с высокими показателями абсолютной прочности демонстрируют и высокие значения удельной прочности, что свидетельствует о качественном срастании тканей по всей площади контакта привоя и подвоя.

Таблица 3

Механическая прочность срастания стандартных одно- и двухлетних привитых саженцев ореха грецкого на различных подвоях 2019-2020 гг.

Table 3

Mechanical strength of accretion of standard one- and two-year-old grafted walnut seedlings on various rootstocks 2019-2020

Подвой / Rootstock	Сорт / Cultivar	Механическая прочность однолетних саженцев на излом, кг / Mechanical fracture strength of annual seedlings, kg	Удельная Механическая прочность саженцев на излом, кг/см ² / Specific mechanical fracture strength of seedlings, kg/cm ²	
			Однолетние саженцы / Annual seedlings	Двухлетние саженцы / Biennial seedlings
Орех чёрный / Black walnut	Чендлер / Chandler	21,70	7,27	15,73
	Франкет / Franquette	17,72	6,89	15,41
	Идеал / Ideal	15,09	3,54	10,26
	Среднее / Average	18,17	5,90	13,80
Орех грецкий / Walnut	Чендлер / Chandler	18,36	7,46	12,48
	Франкет / Franquette	20,59	8,01	13,42
	Идеал / Ideal	17,26	7,52	12,75
	Среднее / Average	18,74	7,66	12,88
Среднее / Average		18,45	6,78	13,34
НСР _{05А(подвой)} / LSD _{05А(rootstock)}		F _ф < F _{тб}	0,58	0,47
НСР _{05В(привой)} / LSD _{05В(graft)}		1,84	0,71	0,57
НСР _{05Взаим. АВ} / LSD _{05 interaction of АВ}		1,84	0,71	0,57
НСР _{05 для частных различий} / LSD _{05 for particular differences}		2,6	1,01	0,81

Особое внимание уделяется выявлению причин недостаточного срастания тканей в тех сорто-подвойных комбинациях, которые характеризуются относительно низким выходом стандартных саженцев. В рамках проведенного исследования такой комбинацией среди культурных сортов ореха грецкого оказалась прививка сорта Идеал на подвой из сеянцев ореха чёрного. Анализ анатомических срезов тканей в зоне

прививки данной комбинации по итогам первой вегетации выявил выраженные признаки некроза тканей (рис. 1).

Проведенное послойное анатомирование места соединения компонентов у сорта Идеал, выполненного на подвое из семян ореха чёрного, продемонстрировало краевое срастание тканей подвоя и привоя к концу первого года роста привитого растения (на рисунке: «А» – срез на уровне $\frac{1}{3}$ диаметра саженца). При углублении анализа путем выполнения срезов на уровне $\frac{1}{2}$ диаметра саженца (на рис.: «В») были обнаружены обширные некротические изменения в сердцевинной части тканей со стороны привоя, распространяющиеся на границу контакта древесины подвоя и привоя.



Рис. 1 Анатомический срез тканей в месте изготовления зимней прививки в первом поле питомника у сотов: А,Б – Идеал и В,Г – Франкет

Fig. 1 Anatomical tissue section at the place of winter vaccination in the first field of the nursery near the honeycombs: А,Б – Ideal and В,Г – Franquette

Со стороны подвойной части растения некротизация наблюдалась только в местах контакта с привойной частью, а также в зоне вхождения язычка копулянта в черенок привоя. Это, вероятно, обусловлено тем, что один из механизмов защитного действия у ореха грецкого на механические повреждения является высвобождение полифенолов, которые за счёт усиления окисления прилегающих к повреждённой части тканей, делают их непригодными ни для поселения инфекции, ни в качестве пищевого субстрата для большинства растительноядных насекомых. В случае же имплантации к растительному образцу относительно чужеродных тканей, данный механизм защитного действия срабатывает и тем самым препятствует нормальной сращиваемости компонентов подвойной части с привойной. У явно совместимых сорто-подвойных

комбинаций подобного проявления некроза тканей наблюдалось в меньшей степени (рисунок 1 «в» и «г»).

При совместимых или относительно совместимых в сравнении с явно (физиологически) несовместимыми комбинациями, подвижных фенолов, способных окислить контактирующие между собою разнородные ткани, образуется значительно меньше. Это легко обнаруживается визуально по сравнению степени потемнения тканей прививки в местах их изготовления. Что и наблюдается в представленной комбинации сорта Франкет, привитого на сеянцы ореха чёрного.

Перед проведением проверки саженцев на излом, они были подвергнуты неразрушающему рентгенологическому анализу. На рентгеновских снимках (рис. 2) видно, что двухлетние саженцы, привитые на орех чёрный, практически не имеют изменений диаметра выше и ниже места изготовления прививки.

В это же время, у саженцев, привитых на сеянцы ореха грецкого наблюдаются утолщения с нижней и верхней частей срезов (на рис. 2 «б» – выделены красным цветом). Затемнения в центре места прививки показывают некротические проявления, которые в обоих случаях ограничены приростом исходного черенка привоя.

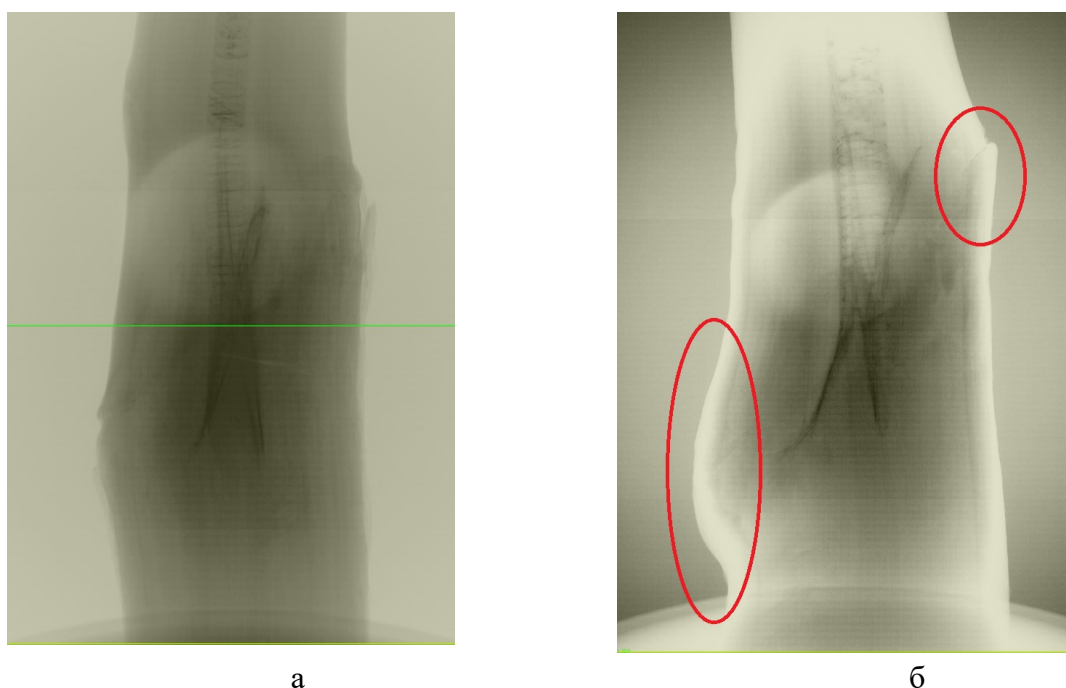


Рис. 2 Рентгенограмма места срастания двухлетних саженцев ореха грецкого, привитых на сеянцы ореха чёрного (а) и ореха грецкого (б).

Fig. 2 X-ray of the place of fusion of two-year-old walnut seedlings grafted on black walnut (a) and walnut (b) seedlings.

При этом более интенсивная некротизация тканей наблюдалась у растений, привитых на подвой из ореха чёрного. В этих случаях некротические изменения распространялись не только в зону контакта подвоя и привоя, но и затрагивали сердцевину привойной части. У саженцев, выращенных на подвое из сеянцев ореха грецкого, степень некротизации была значительно ниже, а её распространение ограничивалось преимущественно областью соединения компонентов.

Важно отметить, что новые ткани древесины и проводящей системы, сформированные в процессе роста саженцев, не демонстрировали наличия разделительной ткани или чётких границ между подвойной и привойной частями. Это свидетельствует о том, что, несмотря на начальные некротические изменения,

процессы регенерации и интеграции тканей продолжают происходить, способствуя формированию единой структуры растения. Однако различия в степени некротизации указывают на большую совместимость сорто-подвойных комбинаций с использованием подвоя из ореха грецкого по сравнению с орехом чёрным.

Заключение

В ходе проведенного исследования были выявлены ключевые аспекты, определяющие качество сорто-подвойных комбинаций ореха грецкого. Применение современных методов анализа, таких как рентгенография и оценка водопроводимости, позволило получить объективные данные о степени совместимости компонентов прививки. Наиболее значимые результаты получены для комбинации "Орех грецкий × Франкет", которая продемонстрировала наилучшие показатели как по водопроводимости (4,72 мл/см² за час), так и по механической прочности срастания тканей. Это указывает на высокую физиологическую и морфологическую совместимость данных компонентов.

Использование подвоя из сеянцев ореха грецкого показало преимущества перед подвоем из сеянцев ореха чёрного по большинству исследуемых параметров. Особенно заметны различия при работе с сортом Идеал, где комбинация с подвоем ореха чёрного показала крайне низкие результаты. Рентгенографический анализ подтвердил взаимосвязь между внутренней структурой и функциональными характеристиками растений: комбинации с высокой водопроводимостью демонстрировали лучшее качество срастания на рентгенограммах.

Полученные данные имеют важное практическое значение для питомниководства. Они позволяют оптимизировать подбор сорто-подвойных комбинаций, что повысит качество посадочного материала и эффективность выращивания ореха грецкого. Разработанные методы неразрушающего контроля могут быть внедрены в производство для повышения точности отбора стандартных саженцев.

Литература / References

Архипов М.В., Потрахов Н.Н. Микрофокусная рентгенография растений. Санкт-Петербург: ООО "Технолит", 2008. 194 с. ISBN 5-7629-0909-3.

[Arkhipov M.V., Potrakhov N.N. Microfocus radiography of plants. Saint Petersburg: ООО "Technolit", 2008. 194 p. ISBN 5-7629-0909-3.]

Базарнова Ю.Г., Кузнецова Т.А., Прияткин Н.С. Исследование структурной целостности семян ореха грецкого (*Juglans regia* L.) селекции Никитского ботанического сада методом микрофокусной рентгенографии и компьютерного анализа изображений // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 84. С. 72-78. DOI 10.21515/1999-1703-84-72-78.

[Bazarnova Y.G., Kuznetsova T.A., Pleasant N.S. Investigation of the structural integrity of walnut seeds (*Juglans regia* L.) of breeding Nikitsky Botanical Garden by microfocus radiography and computer image analysis // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. 84:72-78. DOI 10.21515/1999-1703-84-72-78.]

Безух, Е.П., Потрахов Н.Н. Микрофокусная рентгенография в селекции и питомниководстве плодовых культур // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 67. С. 18-22. DOI 10.21515/1999-1703-67-18-22.

[Bezukh, E.P., Potrakhov N.N. Microfocus radiography in breeding and nursery of fruit crops // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2017. 67:18-22. DOI 10.21515/1999-1703-67-18-22.]

Иванченко В.И., Замета О.Г., Потанин Д.В., Зотиков А.Ю., Иванова М.И., Корниенко П.С. Питомниководство. Определение степени аффинитета (совместимости)

сорта-подвойных комбинаций у винограда и плодово-ягодных культур: учебное пособие. Симферополь: Полипринт, 2021. 82 с. ISBN 978-5-6045700-9-8.

[*Ivanchenko V.I., Zameta O.G., Potanin D.V., Zotikov A.Yu., Ivanova M.I., Kornienko P.S.* Nursery breeding. Determination of the degree of affinity (compatibility) of varietal-rootstock combinations in grapes and fruit and berry crops: a textbook. Simferopol: Polyprint, 2021. 82 p. ISBN 978-5-6045700-9-8.]

Копылов В.И., Корниенко П.С., Потанин Д.В. Совместимость сортов ореха грецкого с подвоем орех черный в условиях питомника // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2020. № 23(186). С. 14-21.

[*Kopylov V.I., Kornienko P.S., Potanin D.V.* Compatibility of walnut varieties with black walnut stock in nursery conditions // News of agricultural science of Taurida. 2020. 23(186). P. 14-21.]

Корниенко П.С. Сравнительный анализ состояния и распространения ореха грецкого в мире, а также проблематика его возделывания в России // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 29(192). С. 46-58.

[*Kornienko P.S.* Comparative analysis of the condition and distribution of walnut in the world, as well as the problems of its cultivation in Russia // Izvestiya agri nauki Tavrida. 2022. 29(192):46-58.]

Корниенко П.С., Потанин Д.В. Перспективы выращивания ореха грецкого в Республике Крым и России // Наука вчера, сегодня, завтра. 2017. № 1(35). С. 77-92.

[*Kornienko P.S., Potanin D.V.* Prospects of walnut cultivation in the Republic of Crimea and Russia // Science yesterday, today, tomorrow. 2017. 1(35):77-92.]

Купорицкая К.И. Некроз сосудов древесины виноградных саженцев // Сб. тр. Молд. ст. ВИЗР. 1954. Вып. 1. С. 7-15.

[*Kuporitskaya K.I.* Necrosis of vessels in the wood of grape seedlings // Collection of tr. Mold. art. VISR. 1954. 1:7-15.]

Никольский М.А. Определение скрытых дефектов места спайки привитых саженцев винограда // Параметры адаптивности многолетних культур в современных условиях развития садоводства и виноградарства: мат. межд. науч.-практ. конф. молодых ученых СКЗНИИСиВ. (Краснодар, 2008). С. 109-113.

[*Nikolsky M.A.* Determination of hidden defects in the place of adhesion of grafted grape seedlings // Parameters of adaptivity of perennial crops in modern conditions of horticulture and viticulture development: materials of the International Scientific and Practical Conference of Young scientists of the SKZNIISiV. (Krasnodar, 2008). P. 109-113.]

Никольский М.А., Лукьянова А.А., Панкин М.И. и др. Перспективные направления использования микрофокусной рентгенографии при контроле качества посадочного материала винограда // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2010. № 5(4). С. 58-66.

[*Nikolsky M.A., Lukyanova A.A., Pankin M.I. et al.* Promising areas of use of microfocus radiography in quality control of grape planting material // Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2010. 5(4):58-66.]

Панкин М.И., Никольский М.А., Лукьянова А.А. и др. Исследование внутренних аномалий элементов виноградного куста, саженцев и семян способом микрофокусной рентгенографии // Вклад фундаментальных исследований в развитие современной инновационной экономики Краснодарского края: тезисы конф. получателей грантов регионального конкурса Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края «ЮГ». (Краснодар, 2008). С. 67-68.

[*Pankin M.I., Nikolsky M.A., Lukyanova A.A. et al.* Investigation of internal anomalies of grape bush elements, seedlings and seeds by microfocus radiography // The contribution of fundamental research to the development of the modern innovative economy of the Krasnodar

Territory: abstracts of the conference of grant recipients of the regional competition of the Russian Foundation for Basic Research and the administration of the Krasnodar Territory "SOUTH". (Krasnodar, 2008). P. 67-68]

Панкин М.И., Никольский А.А., Лукьянова М.А. и др. Использование микрофокусной рентгенографии в диагностике некротических заболеваний виноградно-го растения // Вклад фундаментальных научных исследований в развитие современной инновационной экономики Краснодарского края: тезисы науч. практ. конф. грантодержателей Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края. (Краснодар, 2009). С. 43-44.

[*Pankin M.I., Nikolsky A.A., Lukyanova M.A. et al. The use of microfocus radiography in the diagnosis of necrotic diseases of the grape plant // The contribution of fundamental scientific research to the development of the modern innovative economy of the Krasnodar Territory: abstracts of the scientific and practical conference of the grant holders of the Russian Foundation for Basic Research and the administration of the Krasnodar Territory. (Krasnodar, 2009). P. 43-44.*]

Palombini Felipe & Cidade, Mariana & Oliveira, Branca & Mariath, Jorge. From light microscopy to X-ray microtomography: observation and analysis technologies in transdisciplinary approaches for bionic design and botany // Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación. 2021. Vol. 149. P. 61-74.

Vaz Ana & Del Frari, Giovanni & Chagas, Ricardo & Ferreira, António & Oliveira, Helena & Ferreira, Ricardo. Precise nondestructive location of defective woody tissue in grapevines affected by wood diseases // Phytopathologia Mediterranea. 2020. Vol. 59. P. 441-451.

Indore, Navnath & Karunakaran, Chithra & Jayas, Digvir. Synchrotron tomography applications in agriculture and food sciences research: a review // Plant Methods. 2020. Vol. 18. P. 1-26.

Duncan, Keith & Czymbek, Kirk & Jiang, Ni & Thies, August & Topp, Christopher. X-ray microscopy enables multiscale high-resolution 3D imaging of plant cells, tissues, and organs // Plant Physiology. 2021. 188p.

Статья поступила в редакцию: 05.09.2025 г.

Kornienko P.S., Khokhlov S.Yu., Gruby A.A. Assessment of compatibility of varietal and rootstock combinations of walnut with the use of radiography, plumbing and anatomical methods // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2025. № 4 (177) P. 110-120.

The article discusses the problems of assessing the compatibility of cultivar-rootstock combinations of walnuts using modern analysis methods such as radiography, water resistance and electrical conductivity. The research is aimed at developing non-destructive methods of quality control of grafted seedlings to improve the accuracy of the selection of planting material. Special attention is paid to the analysis of the parameters of the water resistance of tissues and the interpretation of X-ray data. In the course of the work, a comparative analysis of the levels of water resistance of grafted plant tissues was carried out depending on rootstocks and grafts for the period 2018-2021. The results showed significant variability of this indicator within the cultivar-rootstock combinations. The highest values of specific water resistance were observed in the combination "Walnut × Franquette", which indicates optimal tissue fusion and a well-developed conducting system. On the contrary, the combination "Walnut black × Ideal" demonstrated minimal values of water resistance, which indicates a low compatibility of the components. The use of radiography revealed hidden defects in the vaccination sites, such as incomplete tissue fusion and the presence of necrotic areas. This method has proven to be effective for non-destructive quality control of seedlings. The results obtained confirm the relationship between water resistance, mechanical strength of accretion and the quality of the internal structure of plants. The article contains a detailed statistical analysis of the data, including a two-factor analysis of variance, as well as a description of the research methodology. The presented data can be used to develop recommendations for the selection of optimal cultivar-rootstock combinations and to improve technologies for the production of walnut planting material.

Key words: *walnut; compatibility; fluoroscopy; water resistance; electrical conductivity*