

ПРОБЛЕМА ВЫДЕЛЯЕМЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ *FICUS* *CARICA* L. И СПОСОБЫ ЕЁ РЕШЕНИЯ

Закирова Озода Рустамбековна

PhD

ORCID: 0009-0002-7781-0565

Эсанкулов Алижон Саидович

директор, к.б.н., старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева

ORCID:0009-0000-1862-7555

Хабибуллаева Малика Абдугафар кизи

Ташкентский Государственный аграрный университет

магистр факультета биотехнологии

Аннотация. Микроклональное размножение инжира (*Ficus carica* L.) является перспективным методом для получения высококачественного посадочного материала и ускоренного введения сорта в культуру. Однако одной из проблем этого процесса является выделение фенольных соединений, вызывающих потемнение среды и гибель эксплантов. В статье рассмотрены современные подходы к устранению фенольного потемнения: использованию адсорбентов (активированный уголь, поливинилпирролидон), добавлению антиоксидантов (аскорбиновая кислота, лимонная кислота), оптимизации состава питательных сред и условий культивации. Представленные решения позволяют повысить эффективность клонального размножения инжира, улучшить приживаемость культур и обеспечить стабильное производство оздоровленного посадочного материала.

Ключевые слова: Инжир (*Ficus carica* L.), микроклональное размножение, фенольные соединения, окисление, потемнение среды, антиоксиданты, активированный уголь, культура *in vitro*.

Annotatsiya. Anjir (*Ficus carica* L.) ning mikroklonal ko'paytirish usuli yuqori sifatli ko'chat materiallarini olish va navlarni tezkor madaniyatga joriy etish uchun istiqbolli usul hisoblanadi. Biroq, ushbu jarayonning muammolaridan biri fenolik birikmalarning ajralib chiqishi bo'lib, ular muhitning qorayishiga va eksplantlarning nobud bo'lishiga olib keladi. Maqolada fenolik qorayishni kamaytirishning zamonaviy yondashuvlari muhokama qilingan: adsorbentlardan (faollashtirilgan ko'mir, polivinilpirrolidon) foydalanish, antioksidantlar (askorbin kislotasi, limon kislotasi) qo'shish, ozuqa muhitining tarkibini va yetishtirish sharoitlarini optimallashtirish. Taklif etilgan yechimlar anjirning klonal ko'payishini samaradorligini oshirish, madaniyatlarning yashovchanligini yaxshilash va sog'lom ko'chatlarni barqaror ishlab chiqarishni ta'minlaydi.

Kalit so'zlar: anjir (*Ficus carica* L.), mikroklonal ko'paytirish, fenolik birikmalar, oksidlanish, muhit qorayishi, antioksidantlar, faollashtirilgan ko'mir, *in vitro* kultura.

Abstract. Micropropagation of fig (*Ficus carica* L.) is a promising method for obtaining high-quality planting material and accelerating the introduction of cultivars into culture. However, one of the challenges of this process is the release of phenolic compounds, which cause medium browning and explant death. The article discusses modern approaches to reducing phenolic browning, including the use of adsorbents (activated charcoal, polyvinylpyrrolidone), the addition of antioxidants (ascorbic acid, citric acid), and the optimization of culture media composition and cultivation conditions. The proposed solutions improve the efficiency of fig clonal propagation, enhance culture survival, and ensure stable production of disease-free planting material.

Keywords: fig (*Ficus carica* L.), micropropagation, phenolic compounds, oxidation, medium browning, antioxidants, activated charcoal, *in vitro* culture.

Введение. *Ficus carica* L., известный как инжир, является наиболее важным видом плодовых деревьев крупного рода *Ficus*, относящегося к семейству *Moraceae* тутовые [7]. Являясь одним из древнейших культивируемых человеком видов, *F. carica* произрастает в регионе Восточного Средиземноморья и позже распространился в западном Средиземноморье [7]. В разных регионах сорта инжира часто различают в зависимости от цвета, формы и степени зрелости плодов, местного региона или даты сбора урожая [6]. Цвет кожуры плодов варьируется от светло-зеленого до темно-фиолетового. Традиционные методы размножения ограничены низким коэффициентом и высоким риском

передачи инфекций, поэтому микроклональное размножение рассматривается как перспективная технология. Одним из основных препятствий при культивировании инжира *in vitro* является выделение фенольных соединений, вызывающих потемнение среды, препятствуя поступлению питательных веществ в ткани растений, некроз тканей и гибель эксплантов. Было обнаружено, что эта биологическая активность *F. carica* обусловлена содержащимися в нем фитохимическими веществами, на которые влияют экологические и генетические факторы и их взаимодействие [8]. В различных частях *F. carica* было обнаружено большое количество биологически активных соединений, таких

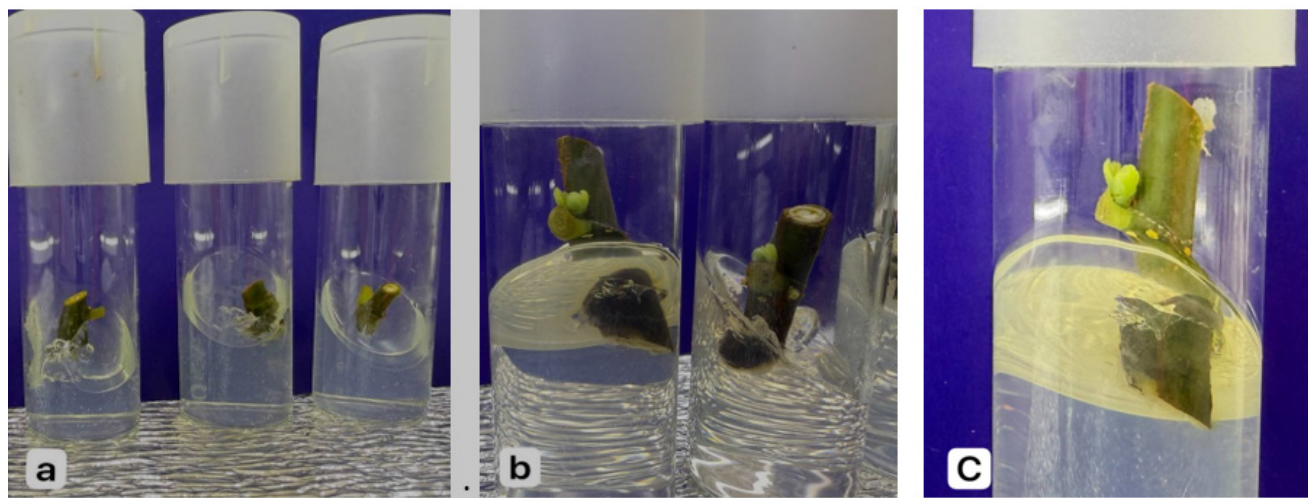
как фенольные кислоты, флавоноиды, каротиноиды, терпеноиды, фитостеролы, кумарины, фуранокумарины, витамины, органические кислоты, жирные кислоты и летучие соединения [3]. Галловая кислота, хлорогеновая кислота, кофейная кислота, феруловая кислота, кумаровая кислота, синринговая кислота и хинол являются основными фенольными кислотами, а катехин, кемпферол, кверцетин, рутин и мирицетин являются основными флавоноидами *F. carica* [7, 4]. Эти фитохимические вещества (фенольные и флавоноидные соединения) синтезируются с помощью фенилпропаноидного и флавоноидного пути [1, 2].

Материалы и методы. Выращивание доноров в теплице; культивирование в темноте 10–15 дней. Предобработка эксплантов. Экспланты были срезы молодых ростков с междоузлиями инжира далее промывались в растворе аскорбиновой или лимонной кислоты (100–150 мг/л) снижение начального выделения фенолов. Подготовка эксплантов. в растворе основной среды с pH 6,0. стерилизовали, промывая их под струей фильтрованной воды, чтобы удалить грязь и бактерии. Затем обрабатывали 30%-ным раствором гипохлорита натрия в течение 5 минут, 5 раз промывали дистиллированной водой и асептически промывали 70%-ным спиртом и стерильной дистиллированной водой в камере ламинарного обдува. Среда и условия культивирования в

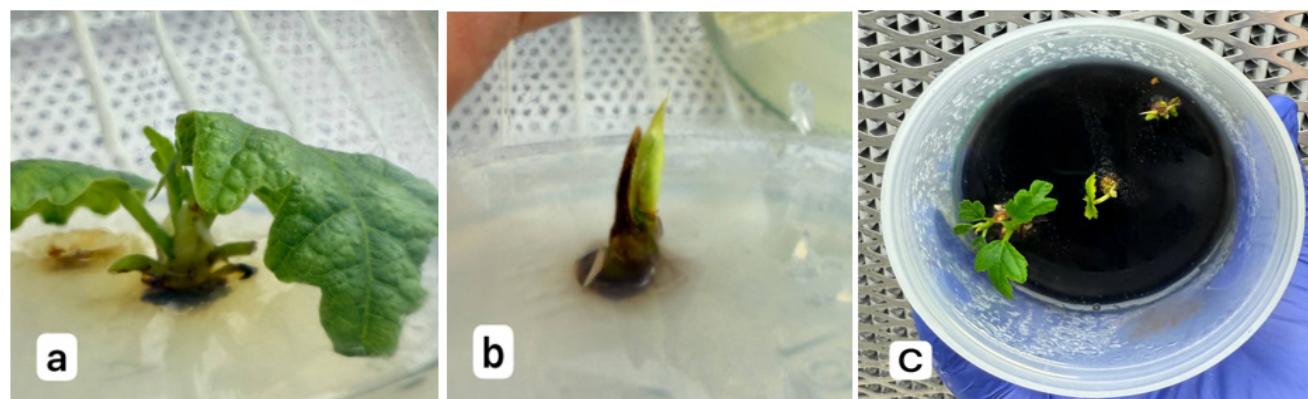
растворе основной среды добавляли 100 мл макроэлемента, 10 мл микроэлемента, 10 мл витамина, 10 мл железа, 30 г сахарозы и загущали 6 г технического агара в 1000 мл дистиллированной воды. Экспланты инкубировали в постоянных условиях: 16 часов при искусственном освещении и 8 часов в темноте при температуре $23 \pm 3^\circ\text{C}$. Через 12–14 недель экспланты прорастали в новые ростки в стерильных условиях без патогенов и готовы к пересадке. (рис.1)

Результаты и обсуждение. Для повышения эффективности микрклонального размножения разработан ряд приёмов.

Фенольные вещества играют важную роль в защите растений и формировании тканей, но в условиях *in vitro* их избыточное выделение вызывает: почернение питательной среды, токсическое воздействие на экспланты, снижение регенерационной способности, гибель культур. Сочетание адсорбентов и антиоксидантов показало высокую эффективность снижения потемнения культуры у корней (рис.2.с.). Предобработка эксплантов дополнительно улучшает выживаемость. Избыток активированного угля при микрклональном размножении растений обычно приводит к ряду нежелательных эффектов: Однако, чрезмерная адсорбция регуляторов роста – активированный уголь связывает ауксины, цитокинины, витамины и другие органические вещества,



**Рисунок 1. Первичное введение в культуру в нулевой среде для получения первичного материала для последующего размножения и получения каллусов.
а. первый день культивации. б,с. 12 день прорастание стерильных эксплантов.**



**Рисунок 2. Сравнение культур с добавлением и без добавления адсорбентов.
а,б. культуры без добавления адсорбентов 14 день культивации.
с. культуры с добавлением адсорбентов 10 день**

Наглядная таблица приемов снижения влияния фенолов на эксплант

Метод	Вещество/приём	Эффект
Адсорбенты	Активированный уголь (0,5–2,5 г/л), ПВП (100–200 мг/л)	Связывание фенолов и продуктов их окисления
Антиоксиданты	Аскорбиновая кислота (50–100 мг/л), лимонная кислота (до 50 мг/л), глутатион	Предотвращение окисления фенолов
Предобработка эксплантов	Погружение в раствор аскорбиновой или лимонной кислоты (100–150 мг/л)	Снижение начального выделения фенолов
Агротехнические приёмы	Выращивание доноров в теплице; культивирование в темноте 10–15 дней	Снижение окислительных процессов
Частые пересевы	Пересадка каждые 12–14 дней на свежую среду	Удаление продуктов окисления, поддержка роста

снижая их биодоступность. Это может тормозить морфогенез, замедлять деление клеток и ограничивать образование побегов или корней. Дефицит питательных веществ, уголь способен поглощать микро- и макроэлементы из среды (например, ионы аммония, калия, железа), что приводит к угнетению роста и хлорозу. Сильное подавление фенольных соединений в умеренных дозах уголь уменьшает токсичность фенолов, но в избытке он может избыточно связывать метаболиты, нужные для нормальной дифференциации тканей. Замедление пролиферации, часто отмечается уменьшение скорости роста и даже переход эксплантов в состояние “покоя”, что осложняет дальнейшее культивирование. В целом, избыток активированного угля в питательной среде снижает

регенерационный потенциал культуры: хуже формируются побеги и корни, замедляется рост, а иногда полностью тормозится морфогенез.

Закключение. Фенольные соединения существенно ограничивают эффективность микроклонального размножения инжира. Использование комплекса мер (адсорбенты, антиоксиданты, предобработка, агротехнические приёмы, частые пересевы) позволяет повысить выживаемость культур и увеличить коэффициент размножения. Однако избыток активированного угля может снижать концентрацию регуляторов роста, (рис.2 с) поэтому рекомендуется комбинированный подход. Это имеет практическое значение для получения безвирусного посадочного материала инжира.

ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шишкина Е.Л. Генофондовая коллекция инжира/ Научные записки природного заповедника «Мыс Мартъян»// Вып.6, 2015 – Коллекция Никитского ботанического сада.С.3
2. Chatterjee, S., & Ghosh, B. (2020). Micropropagation of medicinal plants: A review. *International Journal of Environmental and Planning*, 6(2), 34–45.
3. Gurung AB, Ali MA, Lee J, Farah MA, Al-Anazi KM. Molecular docking and dynamics simulation study of bioactive compounds from *Ficus carica* L. with important anticancer drug targets. *PLoS ONE*. 2021;16(7):e0254035. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254035>.
4. Li Z, Yang Y, Liu M, Zhang C, Shao J, Hou X, Tian J, Cui Q. A comprehensive review on phytochemistry, bioactivities, toxicity studies, and clinical studies on *Ficus carica* Linn. Leaves. *Biomed Pharmacother*. 2021;137:111393. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111393>.
5. Morovati MR, Ghanbari-Movahed M, Barton EM, Farzaei MH, Bishayee A. A systematic review on potential anticancer activities of *Ficus carica* L. with focus on cellular and molecular mechanisms. *Phytomedicine* 2022;154333. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154333>.
6. Saddoud O, Baraket G, Chatti K, Trifi M, Marrakchi M, Salhi-Hannachi A, Mars M. Morphological variability of fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Int J Fruit Sci*. 2008;8(1–2):35–51. <https://doi.org/10.1080/15538360802365921>.
7. Teruel-Andreu C, Andreu-Coll L, López-Lluch D, Sendra E, Hernández F, Cano-Lamadrid M. *Ficus carica* fruits, By-Products and based products as potential sources of Bioactive compounds: a review. *Agronomy*. 2021;11(9):1834. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091834>.
8. Oliveira AP, Baptista P, Andrade PB, Martins F, Pereira JA, Silva BM, Valentao P. Characterization of *Ficus carica* L. cultivars by DNA and secondary metabolite analysis: is genetic diversity reflected in the chemical composition? *Food Res Int*. 2012;49(2):710–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.019>.