ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 634.13:631.535:581.143.6(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-204-218

Поступила в редакцию 27.01.2025
Received 27.01.2025

Е. В. Колбанова, Н. В. Кухарчик, Т. Н. Божидай

Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларуси, Самохваловичи, Республика Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭТАПА МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ *IN VITRO* СОРТОВ ГРУШИ, РАЙОНИРОВАННЫХ В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Объектами исследований стали 9 районированных в Республике Беларусь сортов груши, в том числе 8 белорусской селекции (Белорусская поздняя, Вилия, Завея, Купала, Просто Мария, Спакуса, Ясачка (*P. communis* × *P.*× *ussuriensis*), Кудесница (*P. communis* × *P.*× *pyrifolia*)) и 1 интродуцированный сорт Талгарская красавица (*P. communis* × *P.*× *pyrifolia*). Определены оптимальные питательные среды для размножения груши: для сортов Купала, Просто Мария и Ясачка – агаризованная среда DKW; для сортов Спакуса, Талгарская красавица, Белорусская поздняя, Кудесница – DKW и модифицированная среда MS (содержание NH_4NO_3 уменьшено до ¼). Оптимальная концентрация 6-БА для размножения сортов груши составила 1,0 мг/л. Повышение концентрации 6-БА до 2,0 мг/л позволяет увеличивать количество побегов на эксплант, но уменьшает высоту побегов (т. е. пригодность к укоренению) и вызывает появление узких и неразвернутых листьев с признаками витрификации. Стимуляция роста пазушных почек и повышение коэффициента размножения всех изученных сортов груши с сохранением качества побегов может быть достигнута путем удаления верхушечной почки и листьев у микропобегов и их горизонтальным расположением (длина побега 1,5–2 см) на питательной среде. Использование сосудов для культивирования большого объема (250–450 мл) положительно влияет на скорость пролиферации сортов груши.

Ключевые слова: *Pyrus*, *in vitro*, питательная среда, DKW, MS, коэффициент размножения

Для цитирования: Колбанова, Е. В. Оптимизация этапа микроразмножения *in vitro* сортов груши, районированных в Беларуси / Е. В. Колбанова, Н. В. Кухарчик, Т. Н. Божидай // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 204–218. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-204-218

Elena V. Kolbanova, Natallia V. Kukharchyk, Tatsiana N. Bazhydai

Institute for Fruit Growing, National Academy of Sciences of Belarus, Samokhvalovichy, Republic of Belarus

OPTIMIZATION OF *IN VITRO* MICROPROPAGATION STAGE OF PEAR VARIETIES REGIONALIZED IN BELARUS

Abstract. The objects of the study were 9 pear varieties regionalized in the Republic of Belarus including 8 varieties of Belarusian selection (Belorusskaya pozdnyaya, Viliya, Zaveya, Kupala, Prosto Maria, Spakusa, Yasachka (*P. communis* × *P.*× *ussuriensis*), Kudesnitsa (*P. communis* × *P.*× *pyrifolia*)) and 1 introduced variety Talgarskaya krasavitsa (*P. communis* × *P.*× *pyrifolia*). Optimal nutrient media for pear propagation were determined: agarized DKW medium for varieties Kupala, Prosto Maria and Yasachka, and DKW and modified MS medium (the NH_4NO_3 content was reduced to ¼) for varieties Spakusa, Talgarskaya krasavitsa, Belorusskaya pozdnyaya, and Kudesnitsa. The optimal concentration of 6-BA for propagation of pear varieties made 1.0 mg/l. Increasing the concentration of 6-BA to 2.0 mg/l allows increasing the number of shoots per explant, but reduces the height of the shoots (i. e. readiness for rooting) and results in narrow and unexpanded leaves with symptoms of vitrification. Stimulation of growth of axillary buds and increase in propagation coefficient of all studied pear varieties, maintaining the quality of the shoots, can be achieved by removing the apical bud and leaves of microshoots and placing them horizontally (shoot length 1.5–2 cm) on nutrient medium. The use of large-volume culture vessels (250–450 ml) has a positive effect on proliferation rate of pear varieties.

Keywords: *Pyrus*, *in vitro*, nutrient medium, DKW, MS, propagation coefficient

© Колбанова Е. В., Кухарчик Н. В., Божидай Т. Н., 2025

For citation: Kolbanova E. V., Kukharchyk N. V., Bazhydai T. N. Optimization of *in vitro* micropropagation stage of pear varieties regionalized in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 204–218 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-204-218

Введение. Наиболее часто используемая среда для микроразмножения представителей рода *Pyrus* – среда Мурасиге и Скуга (MS). Она успешно использовалась для размножения сортов *P. communis* William's Bon Chrétien, Packam's Triumph, Beurré Bosc [1], Conference [2–4], Abate Fétel, Decana del Comizio [3], Doyenné d'Hiver [4], Bartlett [5], Seckel [6–8], Koporecka [9], Barburiña, Manteca Oscura [10], сорта *P. serotina* Hosui и сортов *P. communis* La France и Bartlett × La France [11], сортов *P. communis* Выжница, Львовский сувенир, Роксолана, Христианка, Черемшина, Этюд [12], мутации сорта Dr. Jules Guyot *P. communis* [13], сорта *P. communis* Carrick, сортов Garber (*P. communis* × *P. pyrifolia*), Smith (*P. communis* × *P. pyrifolia*) [14], подвоя *P. communis* Pyrodwarf [15, 16], сортов *P. pyrifolia* Hosui, Kosui, Nijisseiki, Shinseiki, Shinsu [17], дикой груши *P. syrica* [18], *P. betulaefolia* и *P. ussuriensis* [19], сеянцев *P. calleryana* [20], подвоя *P. calleryana* D-6 [21, 22]. Ряд авторов использовали модифицированную среду MS. В [23] изложен опыт применения для размножения трех подвоев *P. communis* – OH × F69, OH × F40 и OH × F87 среды MS с половинной концентрацией NH_4NO_3 и KNO_3. А. С. Дантас с соавторами [24] при размножении сорта *P. communis* Red Bartlett и сортов *P. pyrifolia* Hosui, Nijisseiki уменьшали количество азота в среде MS до ¾.

Хотя в большинстве случаев для микроразмножения груши используют среду MS, имеются сообщения об использовании других сред: Лепуавра, Ченга и Woody Plant Media (WPM). Среду Лепуавра [25] использовали для микроразмножения сортов *P. communis* Passe-Crassane и Williams (Bartlett) [26–28]. В [29] исследователи отмечают, что среда Лепуавра для микроразмножения сортов *P. communis* Rocha и Williams лучше, чем MS. С. Моретти с соавторами использовали для пролиферации сортов *P. communis* Kaiser, Max Red Bartlett, Williams питательную среду, состоящую из макросолей по Лепуавра и микросолей по MS [30]. В [31] были оценены среды Ченга и WPM, содержащие ряд концентраций БА, НУК и ИМК для размножения трех подвоев *P. calleryana* – OPR 157, OPR 260 и *P. communis* OH × F230. Среда Ченга с 8 μM БА лучше всего подходит для размножения всех генотипов, но типы ауксинов разнообразны: для OPR 260 и OH × F230 – 0,5 μM ИМК, OPR 157 – 0,5 μM НУК или без добавления ауксина. Среды Ченга и Лепуавра оказались более эффективными для микроразмножения подвоев *P. communis* (OH × F 34, 40, 69, 87, 217, 230), чем среды MS и Viseur [32]. В работе [33] автор использовал среду Ченга для микроразмножения 49 видов и сортов *Pyrus*. Среда WPM [34] с добавлением 2 μM БА и 0,5 μM ИМК оптимальна для пролиферации сорта *P. calleryana* Bradford [35]. Согласно [36] среда WPM была лучшей средой для пролиферации *P. pyrifolia* сортов Nijisseiki, Osa-nijisseiki, для других генотипов (Kosui, Hosui, Yagumo, Shinsui) требовалось уменьшение солей наполовину. Аналогичным образом среда WPM была более эффективна для пролиферации побегов сорта *P. pyrifolia* Gola, чем среда MS [37]. Исследователи в [38] отметили высокие коэффициенты размножения (11,2) дикой груши *P. pyrifolia* как на среде WPM, так и на среде MS (10,21), обе среды были дополнены БА (1,5 мг/л) и ИМК (0,5 мг/л). В [39] ученые сравнили 2 минеральные среды MS (полная и ½ солей) и WPM, дополненные 2,5 мг/л БА, 0,1 мг/л ИМК, с и без 0,3 % активированного угля и выявили, что минеральная основа среды не влияет на пролиферацию побегов *P. pyrifolia* сорт Hosui, а вот активированный уголь очень сильно ингибировал образование пазушных побегов. В [40] при микроразмножении *P. pyrifolia* сортов Kosui и Hosui использовали среду WPM.

Цель исследования – оптимизировать этап микроразмножения *in vitro* сортов груши белорусского сортимента.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в отделе биотехнологии РУП «Институт плодоводства» в 2018–2024 гг. Объекты исследований: 9 районированных в Республике Беларусь сортов груши, из них 8 белорусской селекции: Белорусская поздняя, Вилия, Завея, Купала, Просто Мария, Спакуса, Ясачка (*P. communis* × *P.*× *ussuriensis*), Кудесница (*P. communis* × *P.*× *pyrifolia*) и 1 интродуцированный сорт Талгарская красавица (*P. communis* ×

P.× pyrifolia). Происхождение сортов приведено по данным сотрудников РУП «Институт плодоводства» [41–49].

Питательные среды. *Модифицированная агаризованная питательная среда MS*: макро- и микросоли, FeNa-EDTA по MS, за исключением NH_4NO_3, – ¼ по MS, витамины B_1, B_6, PP – по 0,5 мг/л, витамин C – 1,5 мг/л, мезоинозит – 100 мг/л, с добавлением 6-бензиладенина (6-БА) в концентрациях 1,0 и 2,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, pH 5,8.

Питательная агаризованная среда WPM: макро- и микросоли, FeNa-EDTA, витамины по WPM, с добавлением 6-БА в концентрациях 0,5; 1,0 и 2,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, pH 5,8.

Питательная среда Driver and Kuniyuki Walnut (DKW) medium [50]: макро- и микросоли по DKW, Ferric-EDDHA (*Duchefa Biochemie*) – 100 мг/л, витамины по DKW, с добавлением 6-БА в концентрациях 0,5; 1,0 и 2,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, агар – 5,8 г/л или Gelrite (*Duchefa Biochemie*) – 2,5 г/л, pH 5,5.

Автоклавирование сред проводили в течение 15 мин после добавления регуляторов роста и витаминов при 0,9–1 атм.

Условия культивирования: освещение (лампы NARVA LT, 36 W) – 2,5–3 тыс. лк, температура – 20–22 °C и фотопериод – 16/8 ч. Микропобеги на протяжении 1–7-го пассажей культивировали в пробирках размером 220 × 22 мм с объемом питательной среды 10 мл, в дальнейших пассажах – в стеклянных банках объемом 250 и 450 мл с количеством питательной среды 60 и 80 мл соответственно. В каждую банку высаживалось по 10 микропобегов, в пробирку – 1 микропобег. Длительность субкультивирования – 6 недель.

Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10.0, используя ANOVA, однофакторный и многофакторный анализ, критерий Дункана при $p < 0,05$ для сравнения средних величин ($n = 3$).

Результаты и их обсуждение. ***Микроразмножение (1–7-й пассажи) на модифицированной питательной среде MS.*** В течение первых 6 пассажей после введения в культуру *in vitro* все сорта груши культивировались на модифицированной агаризованной среде MS (концентрация NH_4NO_3 уменьшена в 4 раза), дополненной 6-БА в концентрации 2,0 мг/л, которая разработана в отделе биотехнологии РУП «Институт плодоводства» для размножения клоновых подвоев груши [51]. Для сортов Спакуса, Белорусская поздняя и Талгарская красавица этап стабилизации культуры *in vitro* составил 2 пассажа, уже в 3-м пассаже у этих сортов 28,3–51,5 % побегов были пригодны к укоренению (высота более 2–3 см) и коэффициент размножения варьировал от 3,1 до 3,5 в зависимости от сорта. У сорта Спакуса на последующих 4–6-м пассажах коэффициент размножения составил 3,5–3,8 и количество побегов, пригодных к укоренению достигало 53,0 %. У сортов Белорусская поздняя и Талгарская красавица на протяжении 4–6-го пассажей коэффициент размножения был 3,5–4,5 и 2,2–3,1 соответственно, количество побегов, пригодных к укоренению, достигало 41,9 % у сорта Белорусская поздняя и 54,2 % у сорта Талгарская красавица. У сорта Купала этап стабилизации культуры *in vitro* был продолжительностью 3 пассажа, на 4–6-м пассажах при коэффициенте размножения 3,3–4,9 процент побегов, пригодных к укоренению, колебался от 28,3 до 31,9. У сорта Просто Мария этап стабилизации культуры *in vitro* длился 4 пассажа, на протяжении 5–6-го пассажей коэффициент размножения не превысил 2,3, доля побегов, пригодных к укоренению, составляла 8,8–12,6 %. У сорта Кудесница этап стабилизации культуры *in vitro* продолжался первые 5 пассажей, на 6-м пассаже сформировались побеги (18,9 %), пригодные к укоренению, и коэффициент размножения был 2,6. Стабилизации культуры *in vitro* сортов Вилия, Завея и Ясачка на модифицированной агаризованной среде MS, дополненной 6-БА в концентрации 2,0 мг/л, достигнуть не удалось: сорта Вилия и Завея погибли в течение первых 2 пассажей, у сорта Ясачка коэффициент размножения достиг 2,0 только к 6-му пассажу при отсутствии побегов, пригодных к укоренению. Таким образом, для сорта Ясачка питательная среда на основе минерального состава MS непригодна (табл. 1).

На протяжении 7-го пассажа микропобеги сортов груши культивировались в двух видах сосудов: пробирка (220 × 22 мм) и стеклянная банка (V = 250 мл). Среда для культивирования оставалась такой же, как и на протяжении предшествующих 6 пассажей: модифицированная

Таблица 1. **Эффективность стабилизации культуры *in vitro* сортов груши на протяжении 1–6-го пассажей после введения в культуру *in vitro***

Table 1. **Efficiency of *in vitro* crop stabilization of pear varieties during 1–6 passages after initiation to *in vitro* crop**

Сорт	Пассаж	Коэффициент размножения	Доля побегов, пригодных к укоренению, %
Белорусская поздняя	1	1,0*	0
	2	2,5 ± 0,2	0
	3	3,5 ± 0,3	33,0 ± 1,7
	4	4,3 ± 0,3	22,8 ± 1,1
	5	4,5 ± 0,1	31,9 ± 1,8
	6	3,6 ± 0,1	41,9 ± 2,5
Вилия	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
Завея	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
Кудесница	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
	3	3,0*	0
	4	2,8*	0
	5	3,4 ± 0,3	0
	6	2,6 ± 0,2	18,9 ± 2,0
Купала	1	1,0*	0
	2	2,0*	0
	3	3,4 ± 0,2	0
	4	4,9 ± 0,1	28,3 ± 2,7
	5	3,6 ± 0,2	31,9 ± 2,3
	6	3,3 ± 0,1	30,0 ± 4,7
Просто Мария	1	1,0*	0
	2	3,1*	0
	3	3,2 ± 0,3	0
	4	2,0 ± 0,1	0
	5	1,9 ± 0,03	12,6 ± 1,2
	6	2,3 ± 0,2	8,8 ± 0,9
Спакуса	1	1,0*	0
	2	3,4 ± 0,2	0
	3	3,8 ± 0,1	28,3 ± 3,3
	4	3,5 ± 0,2	36,3 ± 1,2
	5	3,8 ± 0,3	21,8 ± 2,8
	6	3,7 ± 0,1	53,0 ± 4,7
Талгарская красавица	1	1,0*	0
	2	2,5 ± 0,2	0
	3	3,1 ± 0,1	51,5 ± 4,1
	4	2,6 ± 0,1	48,3 ± 4,5
	5	3,0 ± 0,2	54,2 ± 3,8
	6	2,2 ± 0,03	47,1 ± 4,2
Ясачка	1	1,0*	0
	2	1,0*	0
	3	1,3*	0
	4	1,5*	0
	5	1,7*	0
	6	2,0*	0

Примечание. Данные отображены следующим образом: среднее значение ± стандартная ошибка.
* Количество микропобегов, недостаточное для статистической обработки.
Note. Data are shown as mean ± standard error.
* The number of microshoots, insufficient for statistical processing.

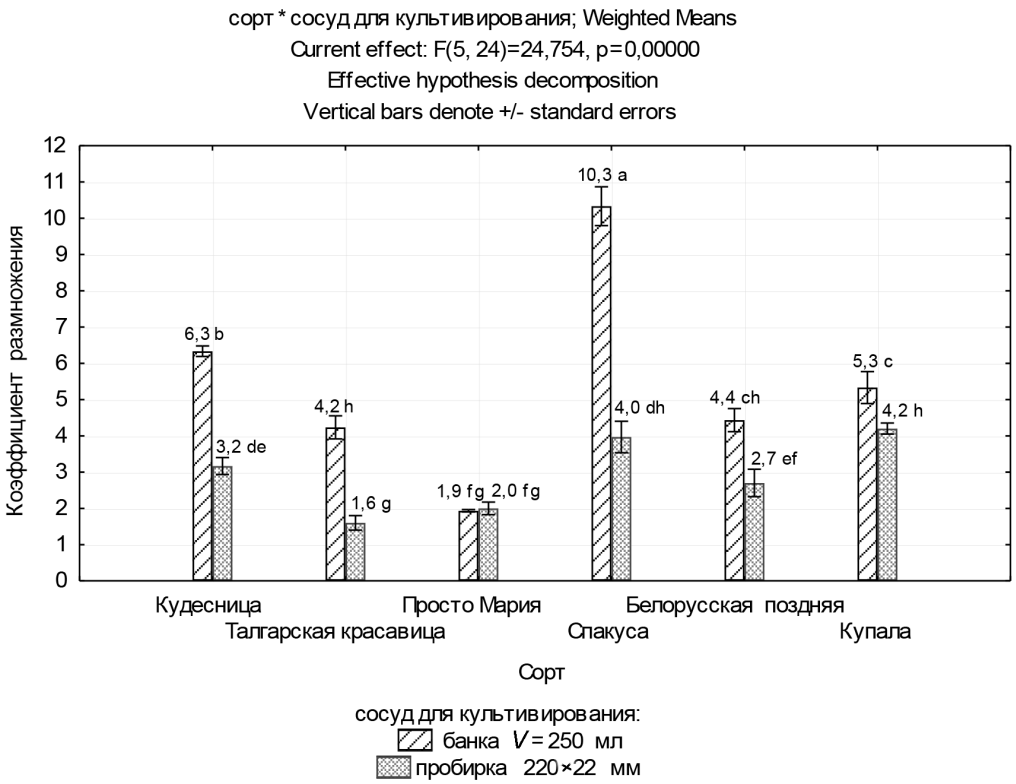


Рис. 1. Коэффициент размножения сортов груши при использовании двух видов сосудов для культивирования *in vitro* (модифицированная агаризованная среда MS с 2,0 мг/л 6-БА)

Fig. 1. Propagation coefficient of pear varieties using two types of *in vitro* cultivation vessels (modified agarized medium with 2.0 mg/l of 6-BA)

Рис. 2. Узкие, неразвернутые листья, некроз верхушечной почки у микропобегов сорта Спакуса на модифицированной агаризованная среде MS с 2,0 мг/л 6-БА

Fig. 2. Narrow, unexpanded leaves, necrosis of apical bud in microshoots of variety Spakusa on modified agarized MS medium with 2.0 mg/l of 6-BA

агаризованная среда MS, дополненная 6-БА в концентрации 2,0 мг/л. Эффективность микроразмножения на 7-м пассаже с высокой степенью достоверности ($p < 0,0001$) определялась генотипом растения, видом сосуда для культивирования и двумя факторами вместе. У сортов Спакуса, Талгарская красавица, Кудесница, Белорусская поздняя и Купала увеличение сосуда для культивирования положительно сказалось на скорости пролиферации. Коэффициент размножения увеличился в 1,3 раза у сорта Купала, в 1,6 раза – у сорта Белорусская поздняя, в 2,0 раза – у сорта Кудесница, в 2,6 раза – у сортов Спакуса и Талгарская красавица. Только у сорта Просто Мария увеличение объема сосуда для культивирования не оказало положительного влияния на скорость пролиферации (рис. 1). (Данные с одинаковыми буквами статистически не различаются при $p < 0,05$ (критерий Дункана); то же на рисунках 2, 4, 5.)

Следует отметить, что к 7-му пассажу длительное культивирование микропобегов (на протяжении 1–7-го пассажей) на среде с высокой концентрацией 6-БА (2,0 мг/л) привело к ухудшению качества побегов у всех сортов: появились признаки витрификации, узкие и неразвернутые листья, некроз верхушечной почки (рис. 2).

Уменьшение концентрации 6-БА до 1,0 мг/л снизило скорость пролиферации до 1,9–5,5 побега на эксплант в зависимости от сорта, но увеличило количество побегов (85–87 %) с нормальными листьями (рис. 3).

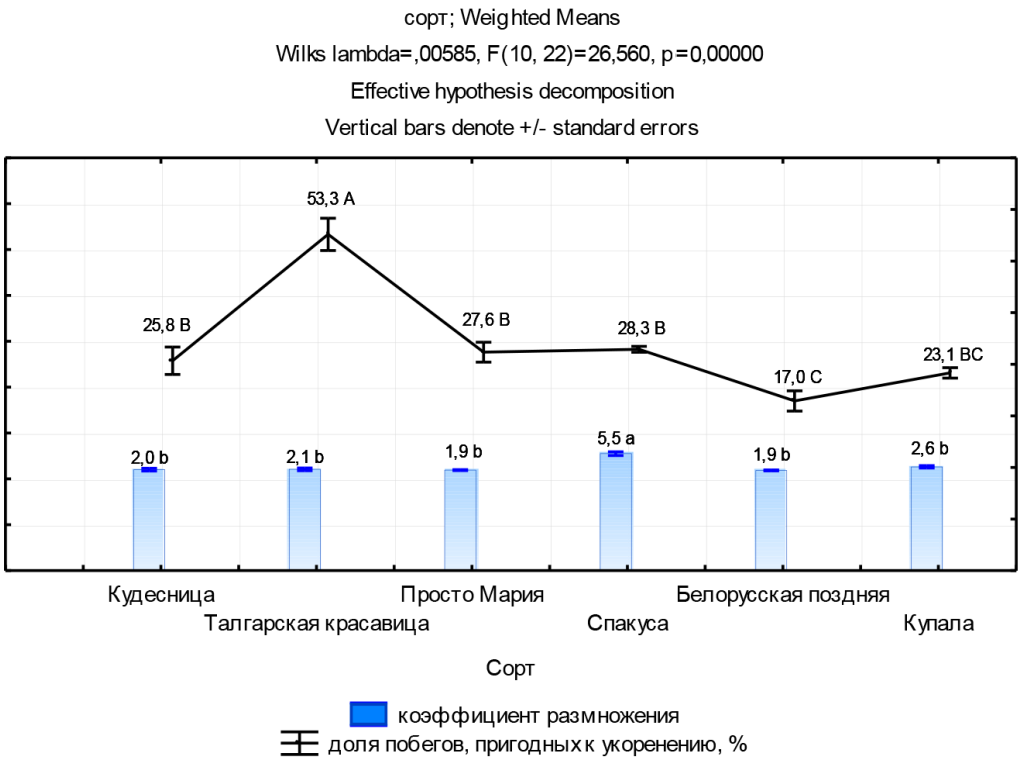


Рис. 3. Коэффициент размножения сортов груши при культивировании на модифицированной агаризованной среде MS, дополненной 1,0 мг/л 6-БА (сосуд для культивирования – банка V = 250 мл)

Fig. 3. Propagation coefficient of pear varieties cultivated on modified agarized MS medium supplemented with 1.0 mg/l of 6-BA (cultivation vessel – 250 ml jar)

Возникновение аномальных фенотипов во время размножения микропобегов представителей рода *Pyrus* было отмечено многими авторами. Повышение концентрации БА увеличивает количество побегов на эксплант у сортов *P. communis* Kaiser, Max Red Bartlett, Williams, но уменьшает количество побегов с нормальными листьями [30]. В [5] сообщается, что 10 μM БА вызывает витрификацию побегов сорта *P. communis* Bartlett. При использовании БА в концентрации 2 мг/л наблюдали витрификацию и мельчание побегов у сорта *P. communis* Passe Crassane [26]. Исследователи в [9] отмечают, что концентрация БА 2 мг/л вызывала у сорта *P. communis* Koporecka образование коротких побегов (0–0,5 см), большая часть которых (86,7 %) имела узкие и неразвернутые листья. В работе [2] отмечается положительная корреляция между концентрацией БА и скоростью размножения побегов у сорта Conference, однако при высоких концентрациях БА (2 и 4 мг/л), наряду с высоким коэффициентом размножения (11,9–12,1), возникали проблемы апикального некроза. При низких концентрациях БА (2,2 и 4,4 μM) у растений сортов Conference и Doyenné d'Hiver не отмечено витрификации, тогда как при концентрация 8,8 μM доля витрифицированных побегов составила 10–16 %, и при максимальной концентрации БА (17,6 μM) этот показатель увеличился до 30–40 % [4]. Увеличение концентрации БА до 1,5–2,0 мг/л значительно усиливало пролиферацию побегов груши дикой *P. syrica* (при 1,0 мг/л БА коэффициент размножения – 3,0, а при 1,5 и 2,0 мг/л БА – 7,6 и 5 соответственно), но уменьшало высоту побегов и вызвало измельчение листьев, фасциации не наблюдали [18].

Микроразмножение на питательной среде WPM. Микроразмножение груши сортов Спакуса, Белорусская поздняя, Талгарская красавица на питательной среде WPM показало, что питательная среда данного минерального состава не является пригодной для культивирования

сортов груши. Рост пазушных почек отсутствовал (коэффициент размножения – 1,0), и наблюдалась гибель микропобегов у сорта Спакуса до 58,3 %, у сорта Белорусская поздняя до 100 % и у сорта Талгарская красавица до 78,0 % (табл. 2).

Таблица 2. **Результативность размножения сортов груши на питательной среде WPM с различной концентрацией 6-БА**

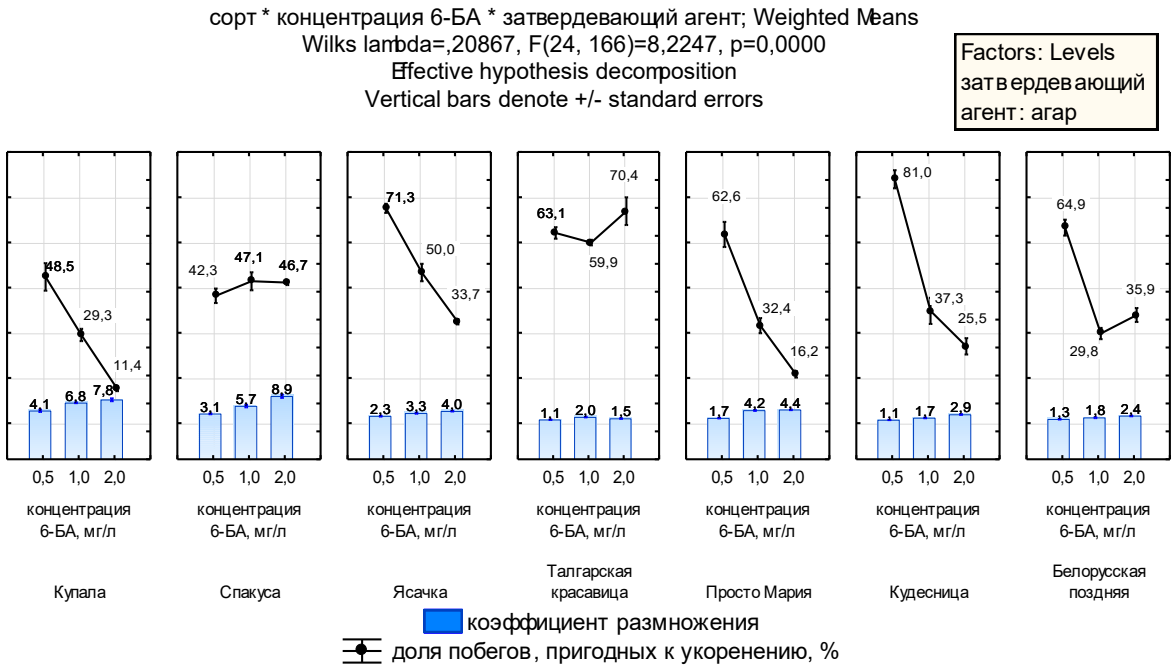
Table 2. **Efficiency of propagation of pear varieties on WPM nutrient medium with different 6-BA concentration**

Сорт	Концентрация 6-БА	Количество некротировавших побегов, %	Коэффициент размножения
Спакуса	0,5	45,6 ± 3,8 ab	1,0
	1,0	54,8 ± 1,6 bcd	1,0
	2,0	58,3 ± 1,5 cd	1,0
Белорусская поздняя	0,5	63,9 ± 3,7 d	1,0
	1,0	85,2 ± 3,1 e	1,0
	2,0	100 ± 0 f	–
Талгарская красавица	0,5	37,0 ± 6,5 a	1,0
	1,0	47,7 ± 5,2 abc	1,0
	2,0	78,0 ± 3,5 e	1,0
Влияние фактора «сорт»		$p < 0,0001$	–
Влияние фактора «концентрация 6-БА»		$p < 0,0001$	–
Влияние двух факторов вместе (сорт * концентрация 6-БА)		$p < 0,01$	–

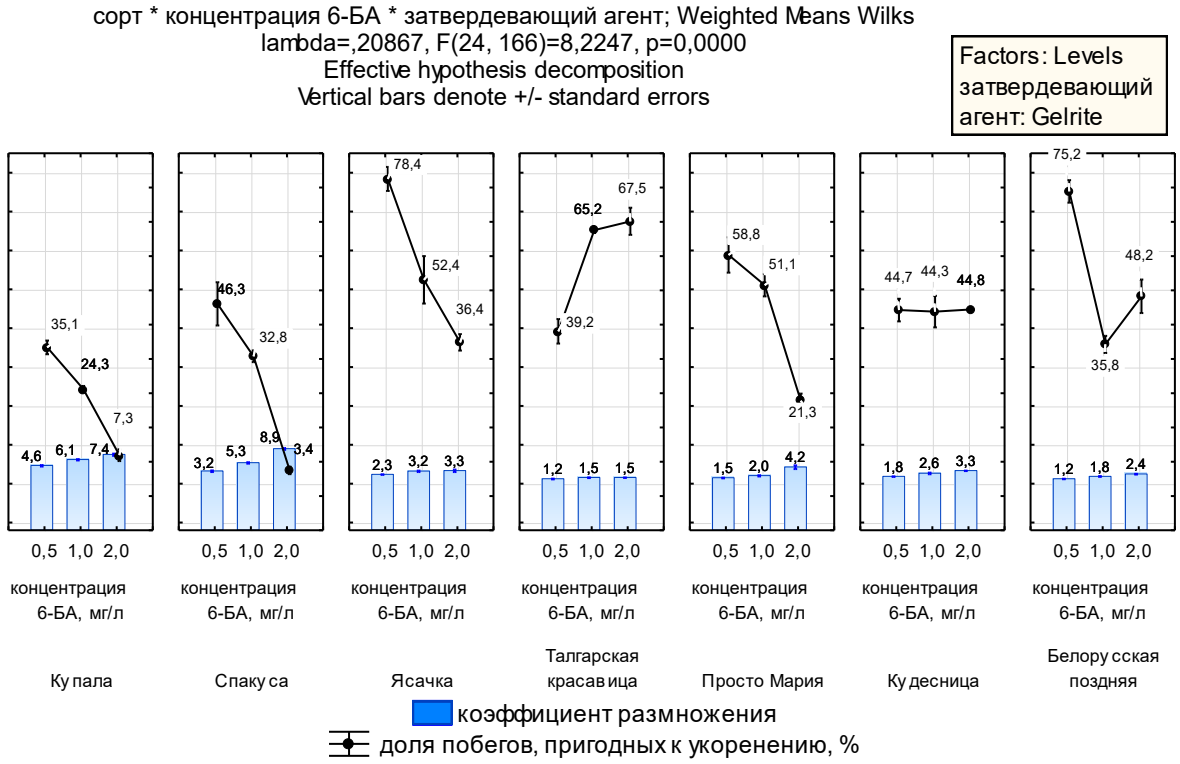
Примечание. Данные с одинаковыми буквами статистически не различаются при $p < 0,05$ (критерий Дункана).
Note. Data with the same letters are not statistically different at $p < 0.05$ (Duncan criterion).

Микроразмножение на питательной среде DKW. Изучали возможность использования питательной среды DKW для культивирования сортов груши. В качестве затвердевающего агента использовался агар и Gelrite. Выявлено, что на коэффициент размножения влияют с высоким уровнем значимости ($p < 0,0001$) сортовые особенности, концентрация 6-БА, два фактора вместе (сорт * концентрация 6-БА; сорт * затвердевающий агент; концентрация 6-БА * затвердевающий агент), а также три фактора вместе (сорт * концентрация 6-БА * затвердевающий агент). Статистический анализ не выявил влияния затвердевающего агента на коэффициент размножения сортов груши. С увеличением концентрации 6-БА от 0,5 до 2,0 мг/л как при использовании агара, так и Gelrite коэффициент размножения увеличивается, но есть различия по сортам. У сортов Спакуса и Купала уже при небольшой концентрации 6-БА (0,5 мг/л) отмечен высокий коэффициент размножения – 3,1–3,2 и 4,1–4,6 соответственно, а при повышении концентрации до 2,0 мг/л коэффициент размножения увеличивается до 8,9 (Спакуса) и 7,4–7,8 (Купала). Низкая регенерационная активность отмечена для сорта Талгарская красавица: максимальный коэффициент размножения (2,0) получен при концентрации 6-БА 1,0 мг/л при использовании агара. У сортов Просто Мария, Кудесница, Белорусская поздняя, Ясачка коэффициент размножения при 0,5 мг/л 6-БА колебался от 1,1 до 2,3 в зависимости от сорта, повышение концентрации до 2,0 мг/л позволило получить коэффициент размножения 4,2–4,4 (Просто Мария), 3,3–4,0 (Ясачка), 2,9–3,3 (Кудесница), 2,4 (Белорусская поздняя) (рис. 4).

Статистическая обработка данных показала влияние всех факторов – сорт ($p < 0,0001$), концентрация 6-БА ($p < 0,0001$), затвердевающий агент ($p < 0,01$), сорт * концентрация 6-БА ($p < 0,001$), сорт * затвердевающий агент ($p < 0,001$), концентрация 6-БА * затвердевающий агент ($p < 0,001$), сорт * концентрация 6-БА * затвердевающий агент ($p < 0,001$)) – на процент побегов, пригодных к укоренению (высота больше 2–3 см). Установлено, что повышение концентрации 6-БА увеличивает количество побегов на эксплант, но уменьшает высоту побегов, а тем самым и количество побегов, пригодных к укоренению. Следует также отметить, что использование 6-БА в концентрации 2,0 мг/л ведет к ухудшению качества побегов: около 50 % побегов у всех сортов при этой концентрации 6-БА на среде, содержащей агар, имеют признаки витрификации, узкие и неразвернутые листья; на среде, содержащей Gelrite, этот процент побегов увеличивается до 70–80 (рис. 5). Количество аномальных фенотипов при использовании концентрации 1,0 мг/л 6-БА на среде, содержащей агар, не превышает 9 %, на среде, содержащей Gelrite,



a



b

Рис. 4. Результативность размножения сортов груши на питательной среде DKW при использовании в качестве затвердевающего агента агара (*a*) и Gelrite (*b*)

Fig. 4. Efficiency of propagation of pear varieties on DKW nutrient medium using agarized (*a*) and Gelrite (*b*) as solidifying agent

данный показатель достигал 33–40 %. Таким образом, оптимальным является культивирование побегов сортов груши на агаризованной среде DKW с добавлением 6-БА в концентрации 1,0 мг/л, что дает высокий коэффициент размножения и хорошее качество побегов (без витрификации) для укоренения и дальнейшего размножения сортов: Купала – коэффициент размножения 6,8 (29,3 % побегов, готовых к укоренению), Спакуса – 5,7 (47,1 %), Просто Мария – 4,2 (32,4 %), Ясачка – 3,3 (50 %), Талгарская красавица – 2,0 (59,9 %), Белорусская поздняя – 1,8 (29,8 %), Кудесница – 1,7 (37,3 %).

a *b*

Рис. 5. Микропобеги сортов Купала (*a*) и Ясачка (*b*) с признаками витрификации, с узкими и неразвернутыми листьями на среде DKW, содержащей Gelrite с 2,0 мг/л 6-БА

Fig. 5. Microshoots of Kupala (*a*) and Yasachka (*b*) varieties with symptoms of vitrification, with narrow and unexpanded leaves on DKW medium containing Gelrite with 2.0 mg/l of 6-BA

Повысить эффективность размножения всех изучаемых сортов груши на среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА с сохранением качества побегов (без витрификации) можно путем удаления верхушечной почки и листьев у микропобегов и их горизонтального расположения (длина побега 1,5–2 см) на питательной среде, что стимулирует рост пазушных почек (рис. 6). На коэффициент размножения оказывают влияние сорт ($p < 0{,}0001$), расположение побега на среде ($p < 0{,}0001$) и два этих фактора вместе ($p < 0{,}05$). Удаление верхушечной почки и горизонтальное расположение побега на среде позволило увеличить коэффициент размножения в 1,5 раза у сорта Купала, в 1,7 раза у сортов Ясачка, Талгарская красавица, в 1,8 раза у сортов Спакуса, Просто Мария, Кудесница, в 2,8 раза у сорта Белорусская поздняя (рис. 7). Аналогичный прием успешно использовался при размножении сортов *P. communis* L. Bartlett [5], Conference и Doyenné d'Hiver [4].

Рис. 6. Горизонтальное расположением побега сорта Купала на агаризованной питательной среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА для стимулирования роста пазушных почек

Fig. 6. Horizontal placement of variety Kupala shoot on agarized DKW nutrient medium with 1.0 mg/l of 6-BA for stimulation of growth of axillary buds

По регенерационной активности изучаемые сорта груши разделены на три группы: с высокой регенерационной активностью (Спакуса, Купала), средней (Просто Мария, Ясачка) и низкой (Кудесница, Талгарская красавица, Белорусская поздняя) (рис. 8).

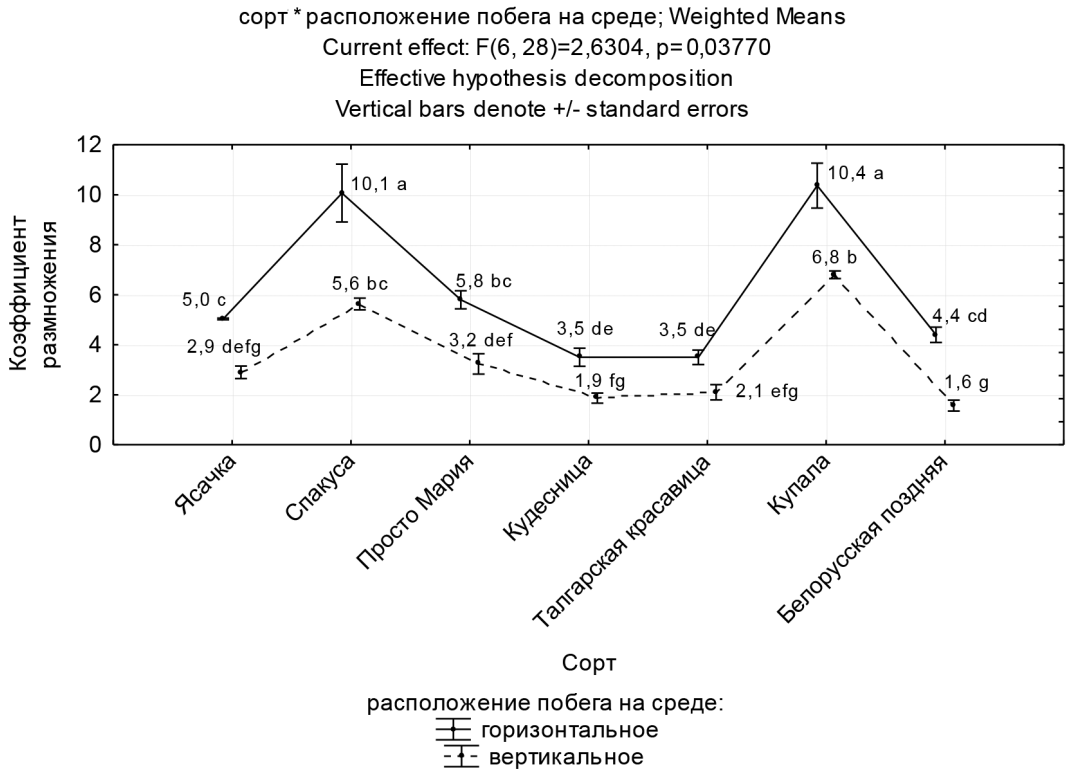


Рис. 7. Коэффициент размножения сортов груши при использовании двух вариантов расположения побегов на агаризованной питательной среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА

Fig. 7. Propagation coefficient of pear varieties using two variants of shoot placement on DKW agarized nutrient medium with 1.0 mg/l of 6-BA

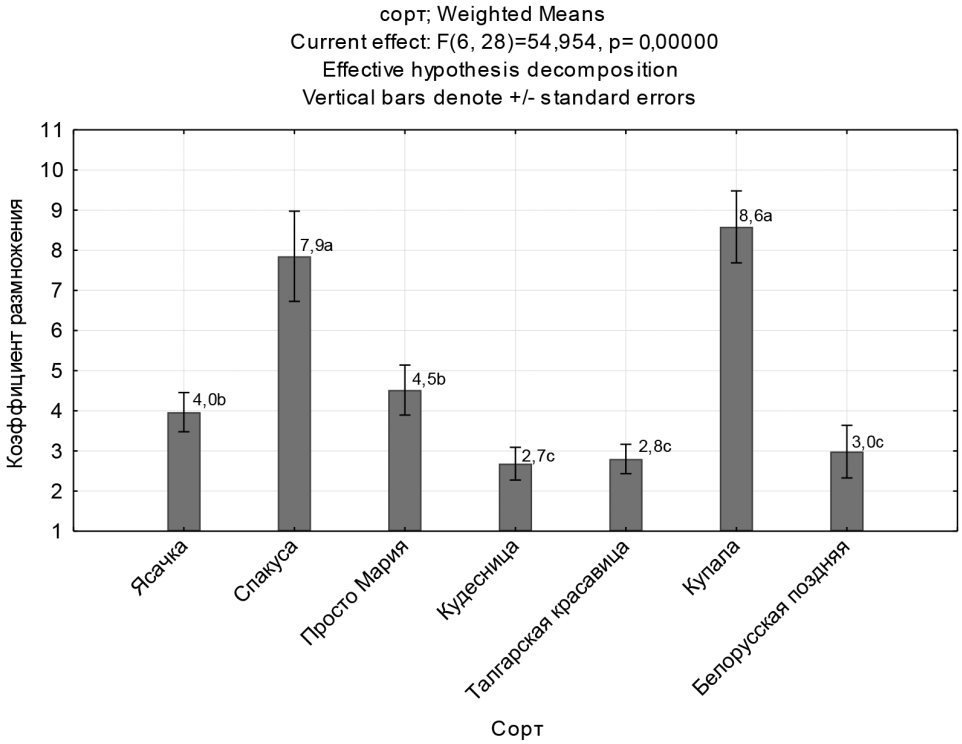


Рис. 8. Регенерационная активность сортов груши (среднее по фактору «сорт») на агаризованной питательной среде DKW с 1,0 мг/л 6-БА без учета фактора «расположение побега на среде»

Fig. 8. Regeneration activity of pear varieties (average by factor “variety”) on DKW agarized nutrient medium with 1.0 mg/l of 6-BA without taking into account factor “shoot placement on the medium”

Выводы. Оптимальной концентрацией 6-БА для размножения сортов груши является концентрация 1,0 мг/л. Повышение концентрации 6-БА до 2,0 мг/л приводит к увеличению количества побегов на эксплант, но уменьшает высоту побегов (т. е. пригодность к укоренению) и вызывает появление узких и неразвернутых листьев с признаками витрификации.

Оптимальной средой для размножения сортов груши Купала, Просто Мария и Ясачка является агаризованная среда DKW, дополненная 6-БА в концентрации 1,0 мг/л, обеспечивающая сочетание высокой скорости пролиферации и качества образующихся побегов (без витрификации) для укоренения и дальнейшего размножения: Купала – коэффициент размножения – 6,8 (29,3 % побегов, готовых к укоренению), Просто Мария – 4,2 (32,4 %), Ясачка – 3,3 (50 %). У сортов Спакуса, Талгарская красавица, Белорусская поздняя, Кудесница высокий коэффициент размножения с хорошим качеством побегов обеспечивают агаризованные среды двух разных минеральных составов: DKW и модифицированная среда MS (содержание NH_4NO_3 уменьшено до ¼), дополненные 6-БА в концентрации 1,0 мг/л. Коэффициент размножения на среде DKW у сортов следующий: Спакуса – 5,7 (47,1 % побегов, готовых к укоренению), Талгарская красавица – 2,0 (59,9 % побегов, готовых к укоренению), Белорусская поздняя – 1,8 (29,8 % побегов, готовых к укоренению), Кудесница – 1,7 (37,3 % побегов, готовых к укоренению). Коэффициент размножения на модифицированной среде MS у сорта Спакуса – 5,5 (28,3 % побегов, готовых к укоренению), Талгарская красавица – 2,1 (53,3 % побегов, готовых к укоренению), Белорусская поздняя – 1,9 (17,0 % побегов, готовых к укоренению), Кудесница – 2,0 (25,8 % побегов, готовых к укоренению).

Питательная среда WPM непригодна для культивирования сортов груши Белорусская поздняя, Спакуса, Талгарская красавица.

По регенерационной активности изучаемые сорта груши разделены на три группы: с высокой регенерационной активностью (Спакуса, Купала), средней (Просто Мария, Ясачка) и низкой (Кудесница, Талгарская красавица, Белорусская поздняя).

Стимулировать рост пазушных почек и увеличить коэффициент размножения всех изученных сортов груши с сохранением качества побегов (без витрификации, с нормально развернутыми листьями) можно путем удаления верхушечной почки и листьев у микропобегов и их горизонтального расположения (длина побега 1,5–2 см) на питательной среде.

Использование сосудов для культивирования большого объема (250–450 мл) положительно влияет на скорость пролиферации сортов груши.

Список использованных источников

1. Shen, X.-S. Propagation in vitro of pear, *Pyrus communis* L., cultivars ‘William’s Bon Chrétien’, ‘Packham’s Triumph’ and ‘Beurré Bosc’ / X.-S. Shen, M. G. Mullins // Scientia Horticulturae. – 1984. – Vol. 23, № 1. – P. 51–57. https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90044-X

2. Baviera, J. A. Commercial in vitro micropropagation of pear cv. Conference / J. A. Baviera, J. L. García, M. Ibarra // Acta Horticulturae. – 1989. – № 256. – P. 63–68. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.256.5

3. De Paoli, G. Micropropagazione delle varietá di pero / G. De Paoli // Informatore Agrario. – 1987. – Vol. 43, № 51. – P. 71–73.

4. Predieri, S. In vitro propagation of compact pear clones / S. Predieri, M. Govoni // Acta Horticulturae. – 1998. – № 475. – P. 127–132. https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.475.15

5. Lane, W. D. Regeneration of pear plants from shoot meristem tips / W. D. Lane // Plant Science Letters. – 1979. – Vol. 16, № 2–3. – P. 337–342. https://doi.org/10.1016/0304-4211(79)90046-4

6. Singha, S. In vitro propagation of Seckel pear / S. Singha // Nursery production of fruit plants through tissue culture: application and feasibility: proc. of the conf., Beltsville, 21–22 Apr. 1980 / U.S. Department of Agriculture, Science a. Education Administration. – Beltsville, 1980. – P. 59–63.

7. Singha, S. Influence of agar concentration on in vitro shoot proliferation of malus sp. ‘Almey’ and Pyrus communis ‘Seckel’ / S. Singha // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 1982. – Vol. 107, № 4. – P. 657–660. https://doi.org/10.21273/JASHS.107.4.657

8. Singha, S. Influence of two commercial agars on in vitro shoot proliferation of ‘Almey’ Crabapple and ‘Seckel’ Pear / S. Singha // HortScience. – 1984. – Vol. 19, № 2. – P. 227–228. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.227

9. Sedlak, J. Influence of growth regulators on in vitro propagation of *Pyrus communis* cv. Koporecka / J. Sedlak, F. Paprstein // Acta Horticulturae. – 2003. – № 616. – P. 379–382. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.616.57

10. *In vitro* propagation and recovery of eight apple and two pear cultivars held in a germplasm bank / A. Lizárraga, M. Fraga, J. Ascasíbar, M. L. González // American Journal of Plant Sciences. – 2017. – Vol. 8, № 9. – P. 2238–2254. https://doi.org/ 10.4236/ajps.2017.89150

11. *In vitro* propagation of Pyrus shoot tips / T. Hirabayashi, T. Moriguchi, I. Kozaki [et al.] // Bulletin of the Fruit Tree Research Station. Series A. – 1987. – № 14. – P. 9–16.

12. Микроклональное размножение груши (*PYRUS COMMUNIS* L.) in vitro / И. В. Бартиш, С. М. Меркулов, В. И. Корховой, В. П. Копань // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, № 1. – С. 84–90.

13. Micropropagation and field evaluation of the pear (*Pyrus communis* L.) "IGE 2002", a new selection of the cultivar Dr. Jules Guyot / I. Iglesias, P. Vilardell, J. Bonany [et al.] // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 2004. – Vol. 129, № 3. – P. 389–393. http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0389

14. Erig, A. C. In vitro establishment of pear (Pyrus spp.) starting from meristems and buds / A. C. Erig, G. R. Fortes // Ciência Rural. – 2002. – Vol. 32, № 4. – P. 577–582. https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400005

15. In vitro growth responses of the 'Pyrodwarf' pear rootstock to cytokinin types / D. Ružić, T. Vujović, D. Nikolić, R. Cerović // Romanian Biotechnological Letters. – 2011. – Vol. 16, № 5. – P. 6630–6637.

16. Optimization of in vitro propagation of pear (*Pyrus communis* L.) 'Pyrodwarf®(S)' rootstock / B. Kaviani, A. Barandan, A. Tymoszuk, D. Kulus // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, № 1. – Art. 268. https://doi.org/10.3390/agronomy13010268

17. Bhojwani, S. S. In vitro propagation *of Pyrus pyrifolia* / S. S. Bhojwani, K. Mullins, D. Cohen // Scientia Horticulturae. – 1984. – Vol. 23, № 3. – P. 247–254. https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90068-2

18. Micropropagation in wild pear (*Pyrus syrica*) / R. A. Shibli, M. M. Ajlouni, A. Jaradat [et al.] // Scientia Horticulturae. – 1997. – Vol. 68, № 1–4. – P. 237–242. https://doi.org/10.1016/s0304-4238(96)00972-7

19. Hlaing, N. Z. Study of *in vitro* root induction and hardening responses of four *Pyrus spp.* / N. Z. Hlaing, F. Ming, J. Shuling // Journal of Scientific and Innovative Research. – 2019. – Vol. 8, № 3. – P. 87–90. https://doi.org/10.31254/jsir.2019.8304

20. Berardi, G. Micropropagation of *Pyrus calleryana* Dcn. from seedlings / G. Berardi, I. Rodrigo, N. Davide // Scientia Horticulturae. – 1993. – Vol. 53, № 1–2. – P. 157–165.

21. Influence of temperature and sucrose on in vitro proliferation of *Pyrus calleryana* / M. Pasqual, J. M. Cavalcante-Alves, N. N. J. Chalfun, L. F. Dutra // Acta Horticulturae. – 2002. – № 596. – P. 453–455. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.74

22. Rossi, V. Propagation of *Pyrus calleryana* sel. D6 by in vitro culture / V. Rossi, G. De Paoli, P. Dal Pozzo // Acta Horticulturae. – 1992. – № 300. – P. 145–148. https://doi.org/10.17660/actahortic.1992.300.19

23. Micropropagation of three Pyrus rootstocks / R. Bahri-Sahloul, S. Ammar, A. Msallem, R. Mtar // Advances in Horticultural Science. – 2005. – Vol. 19, № 1. – P. 21–28.

24. Estabelecimento e multiplicação *in vitro* de Cultivares de *Pyrus* spp. / A. C. Dantas, A. N. Nesi, L. B. Machado [et al.] // Revista Brasileira de Agrociencia. – 2002. – Vol. 8, № 1. – P. 19–23.

25. Quoirin, M. Un premier bilan de dix années de recherche sur les cultures de méristèmes et la multiplication in vitro de fruitiers ligneux / M. Quoirin, Ph. Lepoivre, Ph. Boxus // Compte rendu des recherches. Annees 1976–1977 / Centre de Recherches Agronomiques de l' Etat, Gembloux (Belgium), Station des Cultures Fruitieres et Maraicheres. – Gembloux, 1977. – P. 93–117.

26. Etude comparative de l'aptitude a la micropropagation, par culture de meristems in vitro, du poirier cv. "Passe-Crassane" adulte et de poiriers juveniles issus de semis de "Passe-Crassane" / K. Al-Maarri, M. Duron, Y. Arnaud, E. Miginiac // Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France. – 1986. – Vol. 72, № 5. – P. 413–421.

27. Al-Maarri, K. Micropropagation of Pyrus communis cultivar 'Passe Crassane' seedlings and cultivar 'Williams': factors affecting root formation in vitro and ex vitro / K. Al-Maarri, Y. Arnaud, E. Miginiac // Scientia Horticulturae. – 1994. – Vol. 58, № 3. – P. 207–214. https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90152-x

28. A new method for rapid in vitro propagation of apple and pear / V. R. Bommineni, H. Mathews, S. B. Samuel [et al.] // HortScience. – 2001. – Vol. 36, № 6. – P. 1102–1106. https://doi.org/10.21273/hortsci.36.6.1102

29. Freire, I. C. G. Improved culture media for the in vitro establishment of pear from nodal cuttings / I. C. G. Freire, C. P. S. Coelho, M. T. F. Barros // Acta Horticulturae. – 2002. – № 596. – P. 457–461. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.75

30. In vitro propagation of pear cultivars / C. Moretti, A. Scozzoli, D. Pasini, F. Paganelli // Acta Horticulturae. – 1991. – № 300. – P. 115–118. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.300.12

31. Yeo, D. Y. Micropropagation of three *Pyrus* rootstocks / D. Y. Yeo, B. M. Reed // HortScience. –1995. – Vol. 30, № 3. – P. 620–623. https://doi.org/10.21273/hortsci.30.3.620

32. Micropropagation of six OH×F (Old Home × Farmingdale) pear rootstocks / R. Mehri-Kamoun, H. Mehri, A. Faïdi, V. Polts // Advances in Horticultural Science. – 2004. – Vol. 18, № 2. – P. 53–59.

33. Reed, B. M. Screening Pyrus germplasm for in vitro rooting response / B. M. Reed // HortScience. – 1995. – Vol. 30, № 6. – P. 1292–1294. https://doi.org/10.21273/hortsci.30.6.1292

34. Lloyd, G. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture / G. Lloyd, B. McCown // Combined Proceedings International Plant Propagators' Society. – 1980. – Vol. 30. – P. 421–427.

35. Stimart, D. P. In vitro shoot proliferation of *Pyrus calleryana* from vegetative buds / D. P. Stimart, J. F. Harbage // HortScience. – 1989. – Vol. 24, № 2. – P. 298–299. https://doi.org/10.21273/hortsci.24.2.298

36. *In vitro* propagation of Japanese pear cultivars / K. Banno, K. Yoshida, S. Hayashi, K. Tanabe // Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. – 1989. – Vol. 58, № 1. – P. 37–42. https://doi.org/10.2503/jjshs.58.37

37. Dwivedi, S. K. In vitro propagation of low-chill pear cv Gola / S. K. Dwivedi, L. D. Bist // Indian Journal of Horticulture. – 1999. – Vol. 56, № 3. – P. 189–193.

38. Thakur, A. Mircropropagation of "Wild Pear" Pyrus pyrifolia (Burm F) Nakai. I. Explant establishment and shoot multiplication / A. Thakur, J. S. Kanwar // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2008. – Vol. 36, № 1. – P. 103–108. https://doi.org/10.15835/nbha361108

39. Kadota, M. Double-phase in vitro culture using sorbitol increases shoot proliferation and reduces hyperhydricity in Japanese pear / M. Kadota, K. Imizu, T. Hirano // Scientia Horticulturae. – 2001. – Vol. 89, № 3. – P. 207–215. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00234-X

40. Kadota, M. Effects of cytokinin types and their concentrations on shoot proliferation and hyperhydricity in *in vitro* pear cultivar shoots / M. Kadota, Y. Niimi // Plant Cell Tissue and Organ Culture. – 2003. – Vol. 72, № 3. – P. 261–265. https://doi.org/10.1023/A:1022378511659

41. Мялик, М. Г. Клон груши Поздняя Белсад / М. Г. Мялик, О. А. Якимович // Интенсификация плодоводства Беларуси: традиции, достижения, перспективы: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию Ин-та плодоводства, пос. Самохваловичи, 1 сент. – 1 окт. 2010 г. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2010. – С. 53–55.

42. Якимович, О. А. Новый сорт груши Вилия / О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2015. – Т. 27. – С. 80–86.

43. Якимович, О. А. Новый белорусский сорт груши Завея / О. А. Якимович, З. А. Козловская // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2016. – Т. 28. – С. 78–84.

44. Якимович, О. А. Новый сорт груши Купала / О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2014. – Т. 26. – С. 85–91.

45. Мялик, М. Г. Новый сорт груши Просто Мария / М. Г. Мялик, О. А. Якимович, М. П. Гарост // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2007. – Т. 19. – С. 96–101.

46. Якимович, О. А. Новый белорусский сорт груши Спакуса / О. А. Якимович, Е. М. Мисюк // Плодоводство Беларуси: традиции и современность: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию образования РУП «Институт плодоводства», аг. Самохваловичи, 13–16 окт. 2015 г. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2015. – С. 134–137.

47. Мялик, М. Г. Новый сорт груши Ясачка / М. Г. Мялик, О. А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2006. – Т. 18, ч. 1. – С. 21–23.

48. Мялик, М. Г. Новый сорт груши Кудесница / М. Г. Мялик, О А. Якимович // Плодоводство: науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2008. – Т. 20. – С. 121–127.

49. Якимович, О. А. Сорт груши Талгарская красавица в условиях Беларуси / О. А. Якимович // Плодоводство: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2019. – Т. 31. – С. 49–54.

50. Driver, J. A. *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock / J. A. Driver, A. H. Kuniyuki // HortScience. – 1984. – Vol. 19, № 4. – P. 506–509. https://doi.org/10.21273/hortsci.19.4.507

51. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / Н. В. Кухарчик, М. С. Кастрицкая, С. Э. Семенас [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т плодоводства. – Минск: Беларус. навука, 2016. – 208 с.

References

1. Shen X.-S., Mullins M. G. Propagation in vitro of pear, *Pyrus communis* L., cultivars ‘William’s Bon Chrétien’, ‘Packham’s Triumph’ and ‘Beurré Bosc’. *Scientia Horticulturae*, 1984, vol. 23, no. 1, pp. 51–57. https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90044-X

2. Baviera J. A., García J. L., Ibarra M. Commercial in vitro micropropagation of pear cv. Conference. *Acta Horticulturae*, 1989, no. 256, pp. 63–68. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.256.5

3. De Paoli G. Micropropagazione delle varietá di pero. *Informatore Agrario*, 1987, vol. 43, no. 51, pp. 71–73.

4. Predieri S., Govoni M. In vitro propagation of compact pear clones. *Acta Horticulturae*, 1998, no. 475, pp. 127–132. https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.475.15

5. Lane W. D. Regeneration of pear plants from shoot meristem tips. *Plant Science Letters*, 1979, vol. 16, no. 2–3, pp. 337–342. https://doi.org/10.1016/0304-4211(79)90046-4

6. Singha S. In vitro propagation of Seckel pear. *Nursery production of fruit plants through tissue culture: application and feasibility: proceedings of the conference, Beltsville, 21–22 April 1980.* Beltsville, 1980, pp. 59–63.

7. Singha S. Influence of agar concentration on in vitro shoot proliferation of Malus sp. ‘Almey’ and Pyrus communis ‘Seckel’. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1982, vol. 107, no. 4, pp. 657–660. https://doi.org/10.21273/JASHS.107.4.657

8. Singha S. Influence of two commercial agars on in vitro shoot proliferation of ‘Almey’ crabapple and ‘Seckel’ pear. *HortScience*, 1984, vol. 19, no. 2, pp. 227–228. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.227

9. Sedlak J., Paprstein F. Influence of growth regulators on in vitro propagation of *Pyrus communis* cv. Koporecka. *Acta Horticulturae*, 2003, no. 616, pp. 379–382. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.616.57

10. Lizárraga A., Fraga M., Ascasíbar J., González M. L. *In vitro* propagation and recovery of eight apple and two pear cultivars held in a germplasm bank. *American Journal of Plant Sciences*, 2017, vol. 8, no. 9, pp. 2238–2254. https://doi.org/10.4236/ajps.2017.89150

11. Hirabayashi T., Moriguchi T., Kozaki I., Yamamoto Y., Matsuzaki S. *In vitro* propagation of Pyrus shoot tips. *Bulletin of the Fruit Tree Research Station. Series A*, 1987, no. 14, pp. 9–16.

12. Bartish I. V., Merkulov S. M., Korkhovoy V. I., Kopan V. P. Microclonal propagation of some pear (*PYRUS COMMUNIS* L.) in vitro. *Fiziologiya i biokhimiya kul’turnykh rastenii = Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 1994, vol. 26, no. 1, pp. 84–90 (in Russian).

13. Iglesias I., Vilardell P., Bonany J., Claveria E., Dolcet-Sanjuan R. Micropropagation and field evaluation of the pear (*Pyrus communis* L.) "IGE 2002", a new selection of the cultivar Dr. Jules Guyot. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2004, vol. 129, no. 3, pp. 389–393. http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0389

14. Erig A. C., Fortes G. R. In vitro establishment of pear (Pyrus spp.) starting from meristems and buds. *Ciência Rural*, 2002, vol. 32, no. 4, pp. 577–582. https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400005

15. Ružić D., Vujović T., Nikolić D., Cerović R. In vitro growth responses of the 'Pyrodwarf' pear rootstock to cytokinin types. *Romanian Biotechnological Letters*, 2011, vol. 16, no. 5, pp. 6630–6637.

16. Kaviani B., Barandan A., Tymoszuk A., Kulus D. Optimization of in vitro propagation of pear (*Pyrus communis* L.) 'Pyrodwarf®(S)' rootstock. *Agronomy*, 2023, vol. 13, no. 1, art. 268. https://doi.org/10.3390/agronomy13010268

17. Bhojwani S. S., Mullins K., Cohen D. In vitro propagation *of Pyrus pyrifolia*. *Scientia Horticulturae*, 1984, vol. 23, no. 3, pp. 247–254. https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90068-2

18. Shibli R. A., Ajlouni M. M., Jaradat A., Aljanabi S., Shatnawi M. Micropropagation in wild pear (*Pyrus syrica*). *Scientia Horticulturae*, 1997, vol. 68, no. 1–4, pp. 237–242. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00972-7

19. Hlaing N. Z., Ming F., Shuling J. Study of *in vitro* root induction and hardening responses of four *Pyrus spp*. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 87–90. https://doi.org/10.31254/jsir.2019.8304

20. Berardi G., Rodrigo I., Davide N. Micropropagation of *Pyrus calleryana* Dcn. from seedlings. *Scientia Horticulturae*, 1993, vol. 53, no. 1–2, pp. 157–165. https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90146-h

21. Pasqual M., Cavalcante-Alves J. M., Chalfun N. N. J., Dutra L. F. Influence of temperature and sucrose on in vitro proliferation of *Pyrus calleryana*. *Acta Horticulturae*, 2002, no. 596, pp. 453–455. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.74

22. Rossi V., De Paoli G., Dal Pozzo P. Propagation of *Pyrus calleryana* sel. D6 by in vitro culture. *Acta Horticulturae*, 1992, no. 300, pp. 145–148. https://doi.org/10.17660/actahortic.1992.300.19

23. Bahri-Sahloul R., Ammar S., Msallem A., Mtar R. Micropropagation of three Pyrus rootstocks. *Advances in Horticultural Science*, 2005, vol. 19, no. 1, pp. 21–28.

24. Dantas A. C., Nesi A. N., Machado L. B., Haerter J., Fortes G. R. Estabelecimento e multiplicação *in vitro* de Cultivares de *Pyrus* spp. *Revista Brasileira de Agrociencia*, 2002, vol. 8, no. 1, pp. 19–23.

25. Quoirin M., Lepoivre Ph., Boxus Ph. Un premier bilan de dix années de recherche sur les cultures de méristèmes et la multiplication in vitro de fruitiers ligneux. *Compte rendu des recherches. Annees 1976–1977. Centre de Recherches Agronomiques de l' Etat, Station des Cultures Fruitieres et Maraicheres*. Gembloux, 1977, pp. 93–117 (in French).

26. Al-Maarri K., Duron M., Arnaud Y., Miginiac E. Etude comparative de l'aptitude a la micropropagation, par culture de meristems in vitro, du poirier cv. "Passe-Crassane" adulte et de poiriers juveniles issus de semis de "Passe-Crassane". *Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France,* 1986, vol. 72, no. 5, pp. 413–421 (in French).

27. Al-Maarri K., Arnaud Y., Miginiac E. Micropropagation of Pyrus communis cultivar 'Passe Crassane' seedlings and cultivar 'Williams': factors affecting root formation in vitro and ex vitro. *Scientia Horticulturae*, 1994, vol. 58, no. 3, pp. 207–214. https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90152-x

28. Bommineni V. R., Mathews H., Samuel S. B., Kramer M., Wagner D. R. A new method for rapid in vitro propagation of apple and pear. *HortScience*, 2001, vol. 36, no. 6, pp. 1102–1106. https://doi.org/10.21273/hortsci.36.6.1102

29. Freire I. C. G., Coelho C. P. S., Barros M. T. F. Improved culture media for the in vitro establishment of pear from nodal cuttings. *Acta Horticulturae*, 2002, no. 596, pp. 457–461. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.596.75

30. Moretti C., Scozzoli A., Pasini D., Paganelli F. In vitro propagation of pear cultivars. *Acta Horticulturae*, 1991, no. 300, p. 115–118. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.300.12

31. Yeo D. Y., Reed B. M. Micropropagation of three *Pyrus* rootstocks. *HortScience*, 1995, vol. 30, no. 3, pp. 620–623. https://doi.org/10.21273/hortsci.30.3.620

32. Mehri-Kamoun R., Mehri H., Faïdi A., Polts V. Micropropagation of six OH×F (Old Home × Farmingdale) pear rootstocks. *Advances in Horticultural Science*, 2004, vol. 18, no. 2, pp. 53–59.

33. Reed B. M. Screening *Pyrus* germplasm for in vitro rooting response. *HortScience*, 1995, vol. 30, no. 6, pp. 1292–1294. https://doi.org/10.21273/hortsci.30.6.1292

34. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society,* 1980, vol. 30, pp. 421–427.

35. Stimart D. P., Harbage J. F. In vitro shoot proliferation of *Pyrus calleryana* from vegetative buds. *HortScience*, 1989, vol. 24, no. 2, pp. 298–299. https://doi.org/10.21273/hortsci.24.2.298

36. Banno K., Yoshida K., Hayashi S., Tanabe K. *In vitro* propagation of Japanese pear cultivars. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1989, vol. 58, no. 1, pp. 37–42. https://doi.org/10.2503/jjshs.58.37

37. Dwivedi S. K., Bist L. D. In vitro propagation of low-chill pear cv Gola. *Indian Journal of Horticulture*, 1999, vol. 56, no. 3, pp. 189–193.

38. Thakur A., Kanwar J. S. Mircropropagation of "Wild Pear" Pyrus pyrifolia (Burm F) Nakai. I. Explant establishment and shoot multiplication. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2008, vol. 36, no. 1, pp. 103–108. https://doi.org/10.15835/nbha361108

39. Kadota M., Imizu K., Hirano T. Double-phase in vitro culture using sorbitol increases shoot proliferation and reduces hyperhydricity in Japanese pear. *Scientia Horticulturae*, 2001, vol. 89, no. 3, pp. 207–215. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00234-X

40. Kadota M., Niimi Y. Effects of cytokinin types and their concentrations on shoot proliferation and hyperhydricity in *in vitro* pear cultivar shoots. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2003, vol. 72, no. 3, pp. 261–265. https://doi.org/10.1023/A:1022378511659

41. Myalik M. G., Yakimovich O. A. Pozdnyaya Belsad pear clone. *Intensifikatsiya plodovodstva Belarusi: traditsii, dostizheniya, perspektivy: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu Instituta plodovodstva, pos. Samokhvalovichi, 1 sentyabrya – 1 oktyabrya 2010 g.* [Intensification of fruit growing in Belarus: traditions, achievements, prospects: proceedings of the international scientific conference dedicated to the 85th anniversary of the Institute of Fruit Growing, Samokhvalovichi, September 1 – October 1, 2010)]. Samokhvalovichi, 2010, pp. 53–55 (in Russian).

42. Yakimovich V. A. New pear cultivar Viliya. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works*. Samokhvalovichi, 2015, vol. 27, pp. 80–86 (in Russian).

43. Yakimovich O. A., Kozlovskaya Z. A. New Belarusian pear cultivar 'Zaveya'. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works*. Samokhvalovichi, 2016, vol. 28, pp. 78–84 (in Russian).

44. Yakimovich O. A. New pear cultivar Kupala. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works*. Samokhvalovichi, 2014, vol. 26, pp. 85–91 (in Russian).

45. Myalik M. G., Yakimovich O. A., Garost M. P. New pear cultivar Prosto Maria. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works*. Samokhvalovichi, 2007, vol. 19, pp. 96–101 (in Russian).

46. Yakimovich O. A., Misyuk E. M. New Belarusian cultivar of pear Spakusa. *Plodovodstvo Belarusi: traditsii i sovremennost': materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu obrazovaniya RUP "Institut plodovodstva" (ag. Samokhvalovichi, 13–16 oktyabrya 2015 g.)* [Fruit growing in Belarus: traditions and modernity: proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the formation of the RUE "Institute of Fruit Growing" (Samokhvalovichi, October 13–16, 2015)]. Samokhvalovichi, 2015, pp. 134–137 (in Russian).

47. Myalik M. G., Yakimovich O. A. New pear variety Yasachka. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works*. Samokhvalovichi, 2006, vol. 18, pt. 1, pp. 21–23 (in Russian).

48. Myalik M. G., Yakimovich O. A. New pear variety Kudesnitsa. *Plodovodstvo: nauchnye trudy = Fruit growing: scientific works*. Samokhvalovichi, 2008, vol. 20, pp. 121–127 (in Russian).

49. Yakimovich O. A. 'Talgarskaya Krasavitsa' pear variety in the conditions of Belarus. *Plodovodstvo: sbornik nauchnykh trudov = Fruit growing: collection of scientific papers*. Samokhvalovichi, 2019, vol. 31, pp. 49–54 (in Russian).

50. Driver J. A., Kuniyuki A. H. *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock. *HortScience*, 1984, vol. 19, no. 4, pp. 506–509. https://doi.org/10.21273/hortsci.19.4.507

51. Kukharchik N. V., Kastritskaya M. S., Semenas S. E., Kolbanova E. V., Krasinskaya T. A., Volosevich N. N. [et al.]. *Propagation of fruit and berry plants in in vitro culture*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 208 p. (in Russian).

Информация об авторах

Колбанова Елена Вячеславовна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией диагностики отдела биотехнологии, Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, Самохваловичи, 223013, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: kolbanova@tut.by

Кухарчик Наталья Валерьевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом биотехнологии, Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: nkykhartchyk@gmail.com

Божидай Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии, доцент, Институт плодоводства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: tanya_bozhidaj@mail.ru

Information about the authors

Elena V. Kolbanova – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Head of Diagnostics Laboratory of Biotechnology Department, Institute for Fruit Growing, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovalyov St., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: kolbanova@tut.by

*Natallia V. Kukharchy*k – Dr. Sc. (Agriculture), Professor, Head of Biotechnology Department, Institute for Fruit Growing, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovalyov St., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: nkykhartchyk@gmail.com

Tatsiana N. Bazhydai – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher of Biotechnology Department, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovalyov St., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: tanya_bozhidaj@mail.ru