



ВЛИЯНИЕ ДИОДНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СКОРОСТЬ РОСТА КОЛОНИЙ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ РОДА *ALTERNARIA*

А. А. РУСАКОВИЧ¹⁾, А. Ю. ШАШКО¹⁾, А. А. ВЕТОШКИН¹⁾,
А. А. СОЛДАТЕНКО²⁾, В. В. БОЛВОНОВИЧ³⁾, И. И. СМОЛИЧ¹⁾,
А. И. СОКОЛИК¹⁾, Ю. К. ШАШКО⁴⁾, В. В. ДЕМИДЧИК¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾ВерумАгро, ул. Совхозная, 4/1, пом. 1–48, 223058, д. Лесковка, Минский р-н, Беларусь

³⁾СелАгро, Луговослободской с/с, 73/1, Минский р-н, Беларусь

⁴⁾Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию,
ул. Тимирязева, 1, 222160, г. Жодино, Беларусь

Фитопатогенные микромицеты вызывают опасные заболевания сельскохозяйственных растений. Традиционно для их предотвращения применяются фунгициды. В последние годы активно развиваются экологически безопасные нехимические методы борьбы с грибными инфекциями, в частности продемонстрировавшая свою эффективность обработка ультрафиолетом (УФ) различной длины волны, интенсивности и происхождения. В настоящей работе проанализированы особенности воздействия светодиодного коротковолнового УФ-излучения (УФ-С) малой

Образец цитирования:

Русакович АА, Шашко АЮ, Ветошкин АА, Солдатенко АА, Болвонович ВВ, Смолич ИИ, Соколик АИ, Шашко ЮК, Демидчик ВВ. Влияние диодного ультрафиолетового излучения на скорость роста колоний мицелиальных грибов рода *Alternaria*. Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2021;2:19–28.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2021-2-19-28>

For citation:

Rusakovich AA, Shashko AYU, Viatoshkin AA, Saldatsenka AA, Balvanovich UV, Smolich II, Sokolik AI, Shashko YUK, Demidchik VV. The effect of ultraviolet diode radiation on the growth rate of *Alternaria* colonies. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2021;2:19–28. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2021-2-19-28>

Авторы:

Алина Андреевна Русакович – стажер младшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории физиологии и биотехнологии растений кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета.

Антонина Юрьевна Шашко – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории физиологии и биотехнологии растений кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета.

Алексей Андреевич Ветошкин – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории физиологии и биотехнологии растений кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета.

Алексей Анатольевич Солдатенко – главный инженер.

Владимир Викторович Болвонович – директор.

Игорь Иванович Смолич – кандидат биологических наук, доцент; заведующий кафедрой клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета.

Анатолий Иосифович Соколик – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений биологического факультета.

Юрий Константинович Шашко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий лабораторией иммунитета.

Вадим Викторович Демидчик – доктор биологических наук, доцент; декан биологического факультета.

Authors:

Alina A. Rusakovich, probationer of junior researcher at the laboratory of plant physiology and biotechnology, department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology.

aalinarusakovich@gmail.com

Antonina Yu. Shashko, junior researcher at the laboratory of plant physiology and biotechnology, department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology.

bio.shashkoay@bsu.by

Aliaksei A. Viatoshkin, junior researcher at the laboratory of plant physiology and biotechnology, department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology.

vetoshkinaa@bsu.by

Aliaksei A. Saldatsenka, chief engineer.

soldatenkoal@verumagro.com

Uladzimir V. Balvanovich, director.

selagro@tut.by

Ihar I. Smolich, PhD (biology), docent; head of the department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology.

smolich@bsu.by

Anatoliy I. Sokolik, PhD (biology), docent; associate professor at the department of plant cell biology and bioengineering, faculty of biology.

sokolik@bsu.by

Yuri K. Shashko, PhD (agricultural science), docent; head of the laboratory of immunity.

shashko_y@tut.by

Vadim V. Demidchik, doctor of science (biology), docent; dean of the faculty of biology.

dzemidchik@bsu.by



мощности на рост и жизнеспособность мицелия *Alternaria radicina* и *A. alternata* – патогенов важных сельскохозяйственных культур, содержащих меланин (пигмент, обладающий протекторными свойствами по отношению к УФ). Показано, что облучение микромицетов рода *Alternaria* УФ-С-диодом ингибирует их рост только на ранних этапах развития. Особенно сильно данный эффект проявляется в первые 3 сут после УФ-воздействия, однако к 5-м суткам после облучения рост патогенных организмов восстанавливается. Установлено, что *A. alternata* менее чувствительна к диодному УФ-облучению. Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости содержащих меланин микромицетов к светодиодному УФ-С-излучению малой мощности.

Ключевые слова: ультрафиолет; диод; *Alternaria*; размер колоний.

THE EFFECT OF ULTRAVIOLET DIODE RADIATION ON THE GROWTH RATE OF ALTERNARIA COLONIES

A. A. RUSAKOVICH^a, A. Yu. SHASHKO^a, A. A. VIATOSHKIN^a,
A. A. SALDATSENKA^b, U. V. BALVANOVICH^c, I. I. SMOLICH^a,
A. I. SOKOLIK^a, Yu. K. SHASHKO^d, V. V. DEMIDCHIK^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bVerumAgro, 4/1 Saŭchoznaja Street, offices 1–48, Liaskoŭka 223058, Minsk district, Belarus

^cSelAgro, 73/1 Luhavaslabadski village council, Minsk district, Belarus

^dResearch and Practical Center of National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming,
1 Cimirazieva Street, Žodzina 222160, Belarus

Corresponding author: V. V. Demidchik (dzemidchik@bsu.by)

Phytopathogenic micromycetes induce dangerous crop diseases. Traditionally, fungicides have been used to prevent these diseases. In recent years, environmentally friendly non-chemical methods for combating fungal infections have been developed. In particular, ultraviolet (UV) treatment of various wavelengths, intensities and origins has been shown to be effective. In this work, we have analysed the effect of diode low-intensity shortwave UV radiation (UV-C) on the growth and potential viability of the mycelium of *Alternaria radicina* and *A. alternata*, the pathogens of important crops. It was shown that irradiation by UV-C diode inhibited growth of *Alternaria* species at the early stages of development. This effect was high in the first 3 d after UV exposure; however, after 5 d after irradiation, the growth of pathogenic fungi fully restored, suggesting that UV can be only used for partial removal of *Alternaria*. It was found that *A. alternata* is less sensitive to diode UV irradiation. The obtained results indicate that the *Alternaria* micromycetes, particularly, *A. alternata*, containing high melanin levels, are resistant to low-intensity UV-C diode irradiation.

Keywords: ultraviolet; diode; *Alternaria*; colony size.

Введение

Фитопатогенные микромицеты, такие как *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria radicina*, *A. alternata*, *Botrytis cinerea*, вызывают опасные заболевания растений и поражают собранные овощи и фрукты [1–6]. Данные грибы отличаются быстрым ростом мицелия и большим набором ферментативных систем, что позволяет им использовать в качестве источника питания широкий круг материалов природного и искусственного происхождения [7]. Традиционно для предотвращения заболеваний грибной этиологии применяются фунгициды [8]. Однако повышение устойчивости микромицетов к фунгицидам [9] привело к увеличению доз и частоты их применения, что создает угрозу для здоровья населения и высокий риск загрязнения окружающей среды [10].

В последние годы в хранилищах овощей и фруктов, имеющих органический сертификат, стало невозможно использовать основные фунгициды органической природы [11]. В связи с этим высокую актуальность имеет разработка новых типов дезинфекции, в частности, на основе воздействия паром, природными дезинфектантами, ультрафиолетом (УФ) и др. [7; 12].

Среди нехимических подходов эффективность в борьбе с патогенами грибного происхождения продемонстрировала обработка УФ различной длины волны, интенсивности и происхождения [1; 13]. Используемый на практике УФ подразделяется на длинноволновый (УФ-А), средневолновый (УФ-В) и коротковолновый (УФ-С). Наиболее сильным влиянием на рост грибных патогенов обладает УФ-С (200–280 нм) [14]. Показано, что УФ-С может подавлять распространение инфекции в хранилищах овощей и фруктов, повышая их устойчивость к заражению и замедляя процессы созревания, что, в свою



очередь, продлевает срок хранения [11; 15–16]. Обработка УФ-С оказывает влияние на патогены, напрямую вызывая окислительное повреждение органических молекул клетки [17; 18]. УФ-С инициирует генерацию активных форм кислорода (АФК), таких как гидроксильные радикалы и озон, что приводит к повреждению ДНК, дисфункции белков и углеводов, разрушению биомембран [19; 20].

Высшие растения, по сравнению с большинством грибных патогенов, менее чувствительны к УФ-С, однако высокие дозы также вызывают их повреждение [21]. Известно, что маломощное УФ-С-излучение может усиливать иммунитет растений вследствие индукции защитных механизмов на уровне экспрессии генов и активности белков [22]. Умеренное УФ-излучение способно стимулировать АФК-зависимые защитные реакции растений, запуская генетические программы устойчивости и индуцируя выработку вторичных метаболитов [20; 23; 24]. При оптимальном уровне использования обработка УФ приводит к накоплению целого комплекса сигнально-регуляторных молекул, которые играют важную роль в устойчивости растений к болезням [13].

Ряд исследований указывают на высокую эффективность обработки УФ-С по отношению к патогенным микромицетам, которые поражают овощи и фрукты (картофель, яблоки, томаты, цитрусовые, морковь, перец, виноград и др.) в хранилищах [1–6]. Использование УФ-С считается высокоперспективным для дезинфекции хранилищ зерна, овощей и фруктов, имеющих органический сертификат, поскольку, в отличие от биоцидов, химически не загрязняет продукты и помещения [25]. Это делает возможным более широкое применение УФ-дезинфекции в органической пищевой промышленности [11; 26]. В последние годы высокую актуальность представляют развитие и апробация технологий использования УФ-диодов низкой мощности, излучение которых менее опасно для человека (например, оператора, производящего дезинфекцию) [27].

Одними из наиболее важных представителей фитопатогенов, повреждающих растительную продукцию, являются грибы рода *Alternaria*. Они относятся к классу Dothideomycetes. Род *Alternaria* включает около 300 видов растительных сапротрофов или факультативных высокоспецифичных паразитов, встречающихся на всех органах растений и вызывающих пятнистости, называемые альтернариозами [28; 29]. Особенностью представителей рода *Alternaria* является то, что они накапливают меланин, это дает им возможность приспосабливаться к воздействию прямого солнечного света с высоким УФ-фоном [30]. Позволяет ли меланин видам рода *Alternaria* противостоять процедурам УФ-дезинфекции, в особенности с использованием светодиодного УФ-С-излучения малой мощности, пока неизвестно.

Целью настоящего исследования было установление особенностей воздействия УФ-излучения экспериментального УФ-диода малой мощности на рост и жизнеспособность мицелия двух видов рода *Alternaria* (*A. radicina* и *A. alternata*), вызывающих заболевания растений в полевых условиях и поражающих зерно, овощи и фрукты в хранилищах. В качестве источников УФ в работе использованы светодиоды с полосой излучения в области 250–315 нм, которые считаются наиболее перспективными для производства дезинфицирующих систем нового поколения.

Материалы и методы исследования

Тест-объектами выступали чистые культуры мицелиальных грибов *A. radicina* и *A. alternata*, предоставленные кафедрой ботаники биологического факультета БГУ и лабораторией иммунитета НПЦ НАН Беларуси по земледелию соответственно. Культивирование *A. radicina* и *A. alternata* осуществлялось на картофельно-глюкозном агаре согласно ранее разработанным методам [31; 32]. Среда имела следующий состав: картофель – 200 г/л, глюкоза – 20 г/л, агар – 15 г/л [33; 34]. После высевания на чашки Петри культура грибов подращивалась в течение 3 сут в термостате без освещения при постоянной температуре воздуха 25 °C.

В качестве УФ-излучателя использовался диодный источник света с пиковой длиной волны 280 нм (рис. 1, а), излучаемой мощностью 38,6 мВт, энергетической освещенностью 64,5 мВт/м² в диапазоне 280–315 нм и 45,7 мВт/м² в диапазоне 250–280 нм (оценка для расстояния 31,6 см от источника до объекта). УФ-диод и его технические характеристики были предоставлены ООО «ВерумАгро». УФ-диод фиксировался на штативе на высоте 10 см от поверхности среды в чашке с колониями грибов (см. рис. 1, б).

УФ-облучение чашек с колониями грибов *A. radicina* и *A. alternata* проводилось в открытом состоянии (снимались крышки) однократно на 3-и сутки культивирования в течение 30; 60 или 180 мин в ламинарном боксе, что в пересчете на дозу составило 1,2; 2,3 и 6,9 кДж/м² соответственно. Необработанные чашки (контроль) также открывались на 30; 60 и 180 мин в ламинарном боксе (таким же образом, как и обрабатываемые УФ чашки). Модификация роста под действием УФ-облучения в процентах и относительных единицах к исходному размеру колонии оценивалась по изменению площади колоний

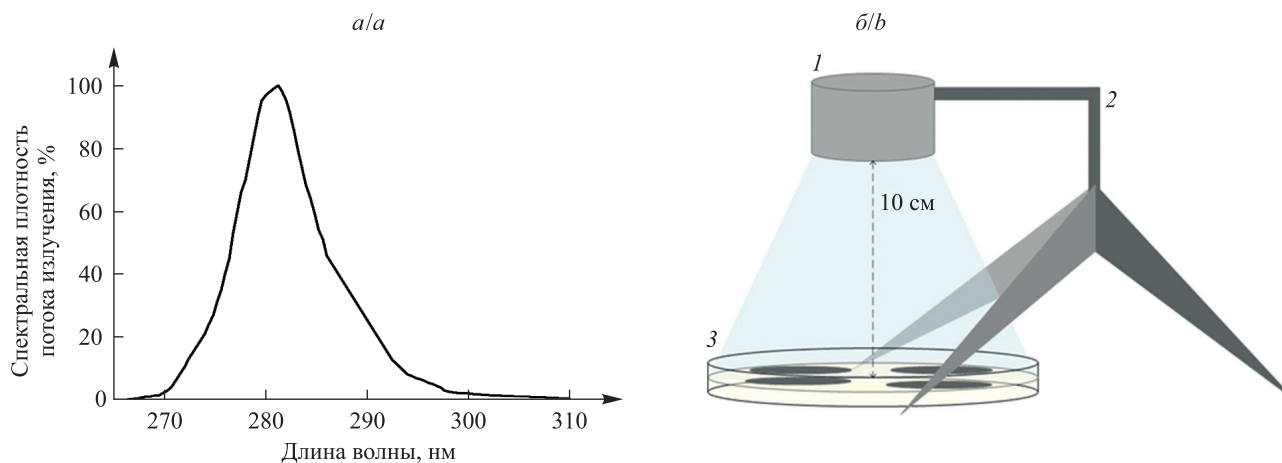


Рис. 1. Спектр излучения диодного источника УФ-С (а) и схема установки для облучения колоний грибов (б):
1 – УФ-диод; 2 – штатив; 3 – чашка Петри с колониями микромицетов

Fig. 1. The emission spectrum of the UV-C diode (a) and the installation scheme for irradiation of fungus colonies (b):
1 – UV diode; 2 – stand; 3 – Petri plate with micromycete colonies

через 3 и 5 сут после облучения. Для анализа ростовых процессов выполнялось фотографирование экспериментальных чашек с колониями грибов в стандартизованных условиях освещения на синем фоне. Расчет площади колоний проводился с помощью программного обеспечения с открытым исходным кодом *ImageJ* (НИН, США). Полученные данные обрабатывались с применением стандартных подходов биологической статистики [35]. Использовались следующие статистические характеристики: средняя арифметическая величина ($\bar{X}$) и ошибка средней величины ($S_{\bar{x}}$). Оценка достоверности различий измеряемых значений осуществлялась на основе парного *t*-критерия Стьюдента при уровне статистической значимости $p < 0,01$. Для дисперсионного анализа (*analysis of variance* (ANOVA)) применялся программный пакет *SigmaPlot 10.0* (Systat Software Inc., США).

Результаты и их обсуждение

Первичная культура грибов выращивалась на агаризованной среде и использовалась для дальнейшего посева на опытные чашки. После 3-дневного культивирования колонии, обычно имеющие близкие размеры (площадь), облучались согласно методике, описанной в предыдущем разделе. На рис. 2, а, и рис. 3, а, представлены фотографии, демонстрирующие внешний вид типичных колоний *A. radicina* и *A. alternata* на 5-е сутки выращивания в контрольных условиях (без облучения) и после УФ-облучения. Средние значения размеров колоний приведены в виде диаграмм на рис. 2, б – г, и рис. 3, б – г. В контрольных опытах (без облучения) скорость увеличения площади колоний *A. radicina* и *A. alternata* была относительно высокой и в среднем составляла $(1,79 \pm 0,03)$ и $(1,35 \pm 0,11)$ см²/сут соответственно (оценка за 5 сут культивирования для 24 колоний каждого гриба ($\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$)). Зарегистрированные ростовые показатели соответствуют литературным данным для различных микромицетов [36–38].

Данные, представленные на рис. 2, а, демонстрируют, что рост мицелия *A. radicina* замедлялся с увеличением времени воздействия УФ-С от 30 до 180 мин. В течение 3 сут после облучения обработанные УФ-С колонии практически не росли (их площадь не изменялась). Это наблюдалось во всех вариантах обработок (30; 60 и 180 мин облучения УФ-С). При открывании чашек без облучения в контрольной группе колонии продолжали расти. Соответственно, обработка УФ-С полностью подавляла развитие мицелия в первые 3 сут (см. рис. 2, а). Количественно это выражалось в том, что на 3-и сутки культивирования площадь облученных колоний была меньше площади контрольных колоний на 36 % при 30-минутном облучении, на 30 % при 60-минутном облучении и на 66 % при 180-минутном облучении (см. рис. 2, б – г).

На 5-е сутки размеры облученных колоний *A. radicina* снова начинали увеличиваться, т. е. рост мицелия восстанавливался. Следовательно, УФ-С подавлял, но не полностью останавливал рост колоний. Суммарно на 5-е сутки площадь облученных колоний была меньше, чем контрольных, на 35 % при 30-минутном облучении, на 34 % при 60-минутном облучении и на 62 % при 180-минутном облучении (см. рис. 2, б – г).

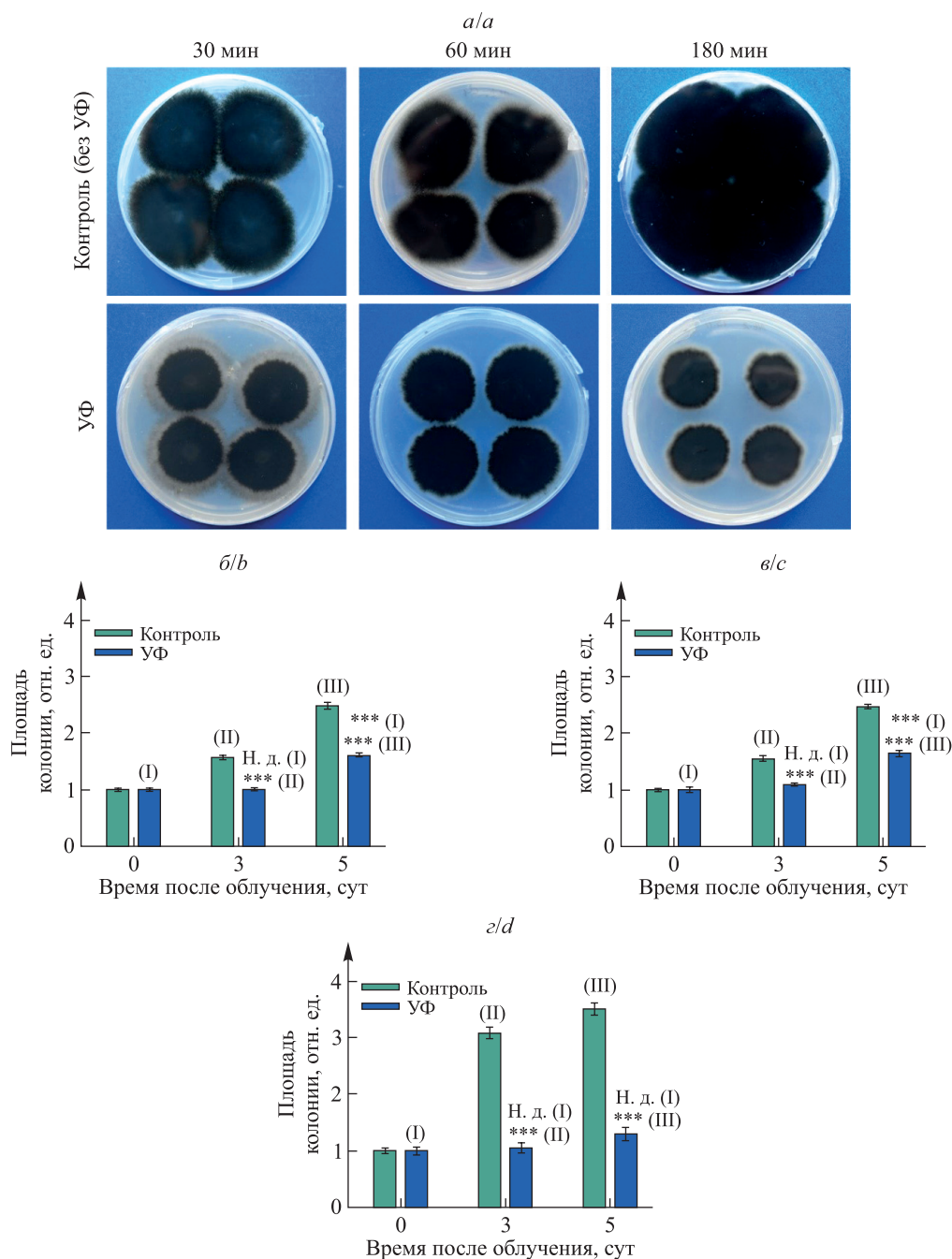


Рис. 2. Внешний вид колоний *A. radicina* на 5-е сутки культивирования в контрольных условиях (без облучения) и после УФ-облучения (а).

Значения площади колоний *A. radicina* в относительных единицах после 30 мин (б), 60 мин (в) и 180 мин (г) облучения ($X \pm S_x$, $n = 24$).

В случае контрольного опыта чашки открывались на 30; 60 или 180 мин (в соответствии со временем облучения опытной группы) в стерильных условиях.

Статистический анализ проведен для колоний, обработанных УФ-С, достоверность отличий рассчитывалась по отношению к площади колоний до облучения (I) и площади колоний в контрольных чашках на 3-и сутки (II) и 5-е сутки (III) после облучения; *** – $p < 0,0001$; н. д. – отсутствие достоверных отличий («недостаточно» (ANOVA-тест))

Fig. 2. Appearance of *A. radicina* colonies after the 5 d of cultivation under control conditions (without irradiation) and after UV irradiation (a).

Colony areas of *A. radicina*, in relative units, after 30 min (b), 60 min (c) and 180 min (d)

UV irradiation ($X \pm S_x$, $n = 24$). In the control experiment, the plates were opened for 30; 60 or 180 min (in accordance with the irradiation time of the experimental group), under sterile conditions.

Statistical analysis was carried out for the colonies treated with UV-C, the significance of differences was calculated in relation to the area of colonies before irradiation (I), and to the area of colonies in control plates after 3 d (II) and 5 d (III) after irradiation; *** – $p < 0.0001$; н. д. – statistical difference not determined («undetermined» (ANOVA test))

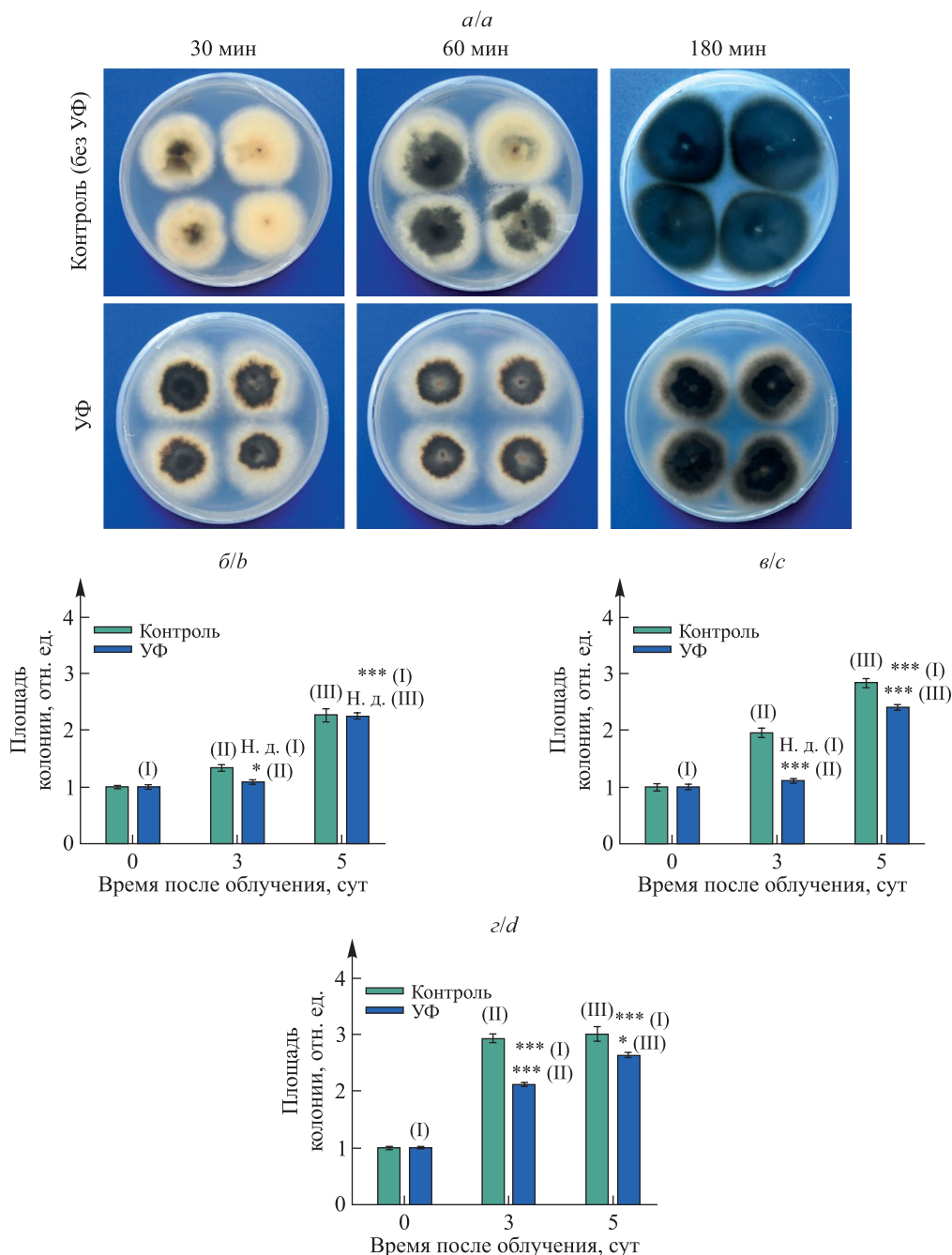


Рис. 3. Внешний вид колоний *A. alternata* на 5-е сутки культивирования в контрольных условиях (без облучения) и после УФ-облучения (а).

Значения площади колоний *A. alternata* в относительных единицах после 30 мин (б), 60 мин (в) и 180 мин (г) облучения ($X \pm S_x$, $n = 24$).

В случае контрольного опыта чашки открывались на 30; 60 или 180 мин (в соответствии со временем облучения опытной группы) в стерильных условиях.

Статистический анализ проведен для колоний, обработанных УФ-С, достоверность отличий рассчитывалась по отношению к площади колоний до облучения (I) и площади колоний в контрольных чашках на 3-и сутки (II) и 5-е сутки (III) после облучения; * – $p < 0,01$; *** – $p < 0,0001$; н. д. – отсутствие достоверных отличий («недостоверно» (ANOVA-тест))

Fig. 3. Appearance of *A. alternata* colonies after the 5 d of cultivation under control conditions (without irradiation) and after UV irradiation (a). Colony areas of *A. alternata*, in relative units, after 30 min (b), 60 min (c) and 180 min (d) UV irradiation ($X \pm S_x$, $n = 24$).

In the control experiment, the plates were opened for 30; 60 or 180 min (in accordance with the irradiation time of the experimental group), under sterile conditions. Statistical analysis was carried out for the colonies treated with UV-C, the significance of differences was calculated in relation to the area of colonies before irradiation (I), and to the area of colonies in control plates after 3 d (II) and 5 d (III) after irradiation;

* – $p < 0.01$; *** – $p < 0.0001$; н. д. – statistical difference not determined («undetermined» (ANOVA test))



На рис. 3 представлены данные о влиянии УФ-обработки на колонии *A. alternata*. Эффект УФ-С для данного гриба был слабее, чем для *A. radicina*. Тем не менее в случае 30-минутной обработки УФ-С на 3-и сутки наблюдалась статистически достоверная разница в размерах между облученными и необлученными колониями (см. рис. 3, б). Площадь облученных колоний на 3-и сутки после экспозиции была меньше площади необлученных на 19; 43 и 28 % для 30-, 60- и 180-минутного воздействия соответственно. На 5-е сутки рост облученных колоний *A. alternata* ускорялся, что качественно схоже с эффектом УФ-С на 5-е сутки для *A. radicina*. В этом случае для 30-минутной обработки УФ не наблюдалось статистически достоверной разницы между обработанной и контрольной группами, но для 60- и 180-минутной обработки она сохранялась и составляла около 15–20 %. Таким образом, на временном отрезке 3–5 сут был обнаружен эффект усиления ростовых процессов у *A. alternata* под действием УФ-С.

Заключение

В результате проведенных исследований было показано, что облучение патогенных микромицетов *A. radicina* и *A. alternata* УФ-диодом малой мощности ингибирует их рост на ранних этапах культивирования в экспериментальной системе (картофельно-глюкозный агар). Эффект особенно сильно проявляется в первые 3 сут, когда для *A. radicina* и *A. alternata* отмечено 100 % и 30–50 % снижение скорости роста соответственно. На 5-е сутки после облучения рост данных патогенных организмов восстанавливался, а в случае 30- и 60-минутного облучения *A. alternata* даже немного ускорялся. Подобные результаты свидетельствуют о том, что содержащие меланин микромицеты в целом устойчивы к светодиодному УФ-С-излучению малой мощности, однако даже эти патогенные организмы существенно замедляют свой рост в первые 3 сут после обработки УФ.

Согласно литературным данным в настоящее время эффективность использования УФ продемонстрирована в отношении родов *Aspergillus*, *Cladosporium* и *Penicillium* [39]. Результаты, представленные в настоящей работе, показывают, что рост *A. radicina* практически полностью подавляется на протяжении 3 сут после облучения светодиодным УФ-С. Таким образом, облучение с интервалами 3 сут может быть использовано для ослабления поражений, вызываемых данным микромицетом.

Для *A. alternata* отмечена высокая устойчивость к светодиодному УФ-С. Рост колоний этого гриба тормозился значительно слабее, чем рост колоний *A. radicina*. Соответственно, применение УФ-С для уничтожения инфекции, вызываемой *A. alternata*, может быть неэффективным. Литературные данные предполагают несколько возможных причин сохранения жизнеспособности колоний представителей рода *Alternaria* после воздействия УФ-излучения. Вероятно, УФ-облучение может приводить к повышению гетерокариотичности мицелия, обеспечивая тем самым приспособляемость гриба к стрессовым воздействиям [7]. Другой возможный механизм устойчивости связан с протекторной функцией меланина по отношению к УФ- и гамма-излучению, отмеченной у ряда пигментированных грибов [40]. Примечательно, что нарушение гена *BRM2*, кодирующего один из ключевых ферментов биосинтеза меланина у *A. alternata*, приводит к уменьшению размера конидий и количества перегородок в них, т. е. меланин и УФ как фактор, стимулирующий его образование, вероятно, требуются *A. alternata* для эффективного спороношения [21]. Для некоторых меланинсодержащих грибов в литературе также описана активация метаболических процессов и роста гиф в условиях действия УФ-излучения [41]. Предполагается, что меланиновые пигменты, участвуя в окислительно-восстановительных реакциях, способны воспринимать энергию излучения и делать ее доступной для метаболических процессов [41].

Библиографические ссылки

1. Peng Jin, Huanyu Wang, Yu Zhang, Yuping Huang, Li Wang, Yonghua Zheng. UV-C enhances resistance against gray mold decay caused by *Botrytis cinerea* in strawberry fruit. *Scientia Horticulturae*. 2017;225:106–111. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.06.062.
2. Liu J, Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Adeyeye O, et al. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection*. 1993;56(10):868–873. DOI: 10.4315/0362-028X-56.10.868.
3. Ke Huang, Yong Zou, Jie Luo, Yiqing Liu. Combining UV-C treatment with biocontrol yeast to control postharvest decay of melon. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(18):14307–14313. DOI: 10.1007/s11356-015-4687-0.
4. Esua OJ, Chin NL, Yusof YA, Sukor R. A review on individual and combination technologies of UV-C radiation and ultrasound in postharvest handling of fruits and vegetables. *Processes*. 2020;8(11):1433. DOI: 10.3390/pr8111433.
5. Rodov V, Ben-Yehoshua S, Kim JJ, Shapiro B, Ittah Y. Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*. 1992;117(5):788–792. DOI: 10.21273/JASHS.117.5.788.
6. Koutchma T. *Ultraviolet light in food technology: principles and applications*. Boca Raton: CRC Press; 2019. 360 p. (Contemporary food engineering series).
7. Ичеткина АА, Трофимова СВ, Кряжев ДВ, Иванова ИП, Смирнов ВФ. Влияние ультрафиолетового излучения и излучения плазмы импульсного искрового разряда на зародышевые структуры и мицелий микромицетов-деструкторов. *Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского*. 2011;2(2):196–201.



8. Кряжев ДВ, Ичеткина АА, Смирнов ВФ. Эффекты комбинированного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения и высокоинтенсивных химических и физических фунгицидных факторов. *Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского*. 2012;2(3):64–69.
9. Rupp S, Weber RWS, Rieger D, Detzel P, Hahn M. Spread of *Botrytis cinerea* strains with multiple fungicide resistance in German horticulture. *Frontiers in Microbiology*. 2017;7:2075. DOI: 10.3389/fmicb.2016.02075.
10. del Rosario Valera M, Alvarino L, Iannaccone J. Toxicity of fungicide kresoxim – metil on seven bioindicators of environmental quality. *The Biologist (Lima)*. 2018;16(2):299–321.
11. Sun D-W, editor. *Emerging technologies for food processing*. 2nd edition. Amsterdam: Elsevier; 2014. 666 p.
12. Wilson SC, Brasel TL, Carriker CG, Fortenberry GD, Fogle MR, Martin JM, et al. An investigation into techniques for cleaning mold-contaminated home contents. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2004;1(7):442–447. DOI: 10.1080/15459620490462823.
13. Turtot M. Ultraviolet light treatment of fresh fruits and vegetables surface: a review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2013;19(3):325–337.
14. Janisiewicz WJ, Conway WS. Combining biological control with physical and chemical treatments to control fruit decay after harvest. *Stewart Postharvest Review*. 2010;6(1):1–16. DOI: 10.2212/spr.2010.1.3.
15. Rodrigues S, Fernandes FAN, editors. *Advances in fruit processing technologies*. Boca Raton: CRC Press; 2012. 472 p. (Contemporary food engineering series).
16. Narayanasamy P. *Biological management of diseases of crops. Volume 2. Integration of biological control strategies with crop disease management systems*. Dordrecht: Springer; 2013. 364 p. (Progress in biological control; volume 16).
17. Stevens C, Wilson CL, Lu JY, Khan VA, Chalutz E, Droby S, et al. Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. *Crop Protection*. 1996;15(2):129–134. DOI: 10.1016/0261-2194(95)00082-8.
18. Vega K, Ochoa S, Patiño LF, Herrera-Ramírez JA, Gómez JA, Quijano JC. UV-C radiation for control of gray mold disease in postharvest cut roses. *Journal of Plant Protection Research*. 2020;60(4):351–361. DOI: 10.24425/jppr.2020.133957.
19. Sinha RP, Häder D-P. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2002;1(4):225–236. DOI: 10.1039/B201230H.
20. Urban L, Charles F, de Miranda MRA, Aarrouf J. Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016;105:1–11. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.04.004.
21. Aarrouf J, Urban L. Flashes of UV-C light: an innovative method for stimulating plant defences. *Plos One*. 2020;15(7):e0235918. DOI: 10.1371/journal.pone.0235918.
22. Kawamura C, Tsujimoto T, Tsuge T. Targeted disruption of a melanin biosynthesis gene affects conidial development and UV tolerance in the Japanese pear pathotype of *Alternaria alternata*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 1999;12(1):59–63. DOI: 10.1094/MPMI.1999.12.1.59.
23. Сазанова КВ, Кирцидели ИЮ. Влияние ультрафиолетового облучения на микроскопические грибы, изолированные из антарктических местообитаний. *Микология и фитопатология*. 2014;48(5):315–321.
24. Palou L, Smilanick JL, editors. *Postharvest pathology of fresh horticultural produce*. Boca Raton: CRC Press; 2019. 842 p.
25. Лаврентьева ЛВ, Авдеев СМ, Соснин ЭА, Величевская КЮ. Бактерицидное действие ультрафиолетового излучения эксимерных и эксиплексных ламп на чистые культуры микроорганизмов. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2008;2:18–27.
26. Levetin E, Shaughnessy R, Rogers CA, Scheir R. Effectiveness of germicidal UV radiation for reducing fungal contamination within air-handling units. *Applied and Environmental Microbiology*. 2001;67(8):3712–3715. DOI: 10.1128/AEM.67.8.3712-3715.2001.
27. Dai T, Vrahas MS, Murray CK, Hamblin MR. Ultraviolet C irradiation: an alternative antimicrobial approach to localized infections? *Expert Review of Anti-infective Therapy*. 2012;10(2):185–195. DOI: 10.1586/eri.11.166.
28. Ганнибал ФБ. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*. Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений; 2011. 70 с.
29. Орина АС, Ганнибал ФБ, Левитин ММ. Видовое разнообразие, биологические особенности и география грибов рода *Alternaria*, ассоциированных с растениями семейства Solanaceae. *Микология и фитопатология*. 2010;44(2):150–159.
30. Carzaniga R, Fiocco D, Bowyer P, O'Connell RJ. Localization of melanin in conidia of *Alternaria alternata* using phage display antibodies. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2002;15(3):216–224. DOI: 10.1094/MPMI.2002.15.3.216.
31. Хохлаев МК, составитель. *Методические указания по экспериментальному изучению фитопатогенных грибов*. Ленинград: ВИЗР; 1979. 78 с.
32. Дудка ИА, Вассер СП, Элланская ИА, Коваль ЭЗ, Горбик ЛТ, Никольская ЕА и др. *Методы экспериментальной микологии*. Билай ВИ, редактор. Киев: Наукова думка; 1982. 552 с.
33. U. S. *Pharmacopoeia XXIII*. Easton: Mack Printing Company; 1995. 313 p.
34. Семенов СМ. *Лабораторные среды для актиномицетов и грибов*. Москва: Агропромиздат; 1990. 239 с.
35. Рокицкий ПФ. *Биологическая статистика*. Минск: Вышэйшая школа; 1973. 320 с.
36. Zhu XQ, Xiao CL. Phylogenetic, morphological and pathogenic characterization of *Alternaria* species associated with fruit rot of blueberry in California. *Phytopathology*. 2015;105(12):1555–1567. DOI: 10.1094/PHYTO-05-15-0122-R.
37. Шашко ЮК. Скорость роста мицелия грибов рода *Fusarium* как показатель агрессивности фитопатогенов. *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2020;6(1):66–73. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-66-73.
38. Сидорова СГ. Антифунгальная активность актиномицетов в отношении возбудителя фузариоза томата. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2019;3:21–32. DOI: 10.33581/2521-1722-2019-3-21-32.
39. Valero A, Begum M, Leong SL, Hocking AD, Ramos AJ, Sanchis V, et al. Effect of germicidal UVC light on fungi isolated from grapes and raisins. *Letters in Applied Microbiology*. 2007;45(3):238–243. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2007.02175.x.
40. Nosanchuk JD, Casadevall A. Impact of melanin on microbial virulence and clinical resistance to antimicrobial compounds. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2006;50(11):3519–3528. DOI: 10.1128/AAC.00545-06.
41. Гесслер НН, Егорова АС, Белозерская ТА. Меланиновые пигменты грибов в экстремальных условиях существования (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2014;50(2):125–134.



References

1. Peng Jin, Huanyu Wang, Yu Zhang, Yuping Huang, Li Wang, Yonghua Zheng. UV-C enhances resistance against gray mold decay caused by *Botrytis cinerea* in strawberry fruit. *Scientia Horticulturae*. 2017;225:106–111. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.06.062.
2. Liu J, Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Adeyeye O, et al. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection*. 1993;56(10):868–873. DOI: 10.4315/0362-028X-56.10.868.
3. Ke Huang, Yong Zou, Jie Luo, Yiqing Liu. Combining UV-C treatment with biocontrol yeast to control postharvest decay of melon. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(18):14307–14313. DOI: 10.1007/s11356-015-4687-0.
4. Esua OJ, Chin NL, Yusof YA, Sukor R. A review on individual and combination technologies of UV-C radiation and ultrasound in postharvest handling of fruits and vegetables. *Processes*. 2020;8(11):1433. DOI: 10.3390/pr8111433.
5. Rodov V, Ben-Yehoshua S, Kim JJ, Shapiro B, Ittah Y. Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*. 1992;117(5):788–792. DOI: 10.21273/JASHS.117.5.788.
6. Koutchma T. *Ultraviolet light in food technology: principles and applications*. Boca Raton: CRC Press; 2019. 360 p. (Contemporary food engineering series).
7. Ichetkina AA, Trofimova SV, Kryazhev DV, Ivanova IP, Smirnov VF. The effect of ultraviolet radiation and radiation from pulse spark discharge plasma on the embryonic structures and mycelium of micromycetes-destructors. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2011;2(2):196–201. Russian.
8. Kryazhev DV, Ichetkina AA, Smirnov VF. Combined effects of low-intensity millimeter radiation and high-intensity chemical and physical antifungal factors. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2012;2(3):64–69. Russian.
9. Rupp S, Weber RWS, Rieger D, Detzel P, Hahn M. Spread of *Botrytis cinerea* strains with multiple fungicide resistance in German horticulture. *Frontiers in Microbiology*. 2017;7:2075. DOI: 10.3389/fmicb.2016.02075.
10. del Rosario Valera M, Alvarino L, Iannacone J. Toxicity of fungicide kresoxim – metil on seven bioindicators of environmental quality. *The Biologist (Lima)*. 2018;16(2):299–321.
11. Sun D-W, editor. *Emerging technologies for food processing*. 2nd edition. Amsterdam: Elsevier; 2014. 666 p.
12. Wilson SC, Brasel TL, Carriker CG, Fortenberry GD, Fogle MR, Martin JM, et al. An investigation into techniques for cleaning mold-contaminated home contents. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2004;1(7):442–447. DOI: 10.1080/15459620490462823.
13. Turtoi M. Ultraviolet light treatment of fresh fruits and vegetables surface: a review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2013;19(3):325–337.
14. Janisiewicz WJ, Conway WS. Combining biological control with physical and chemical treatments to control fruit decay after harvest. *Stewart Postharvest Review*. 2010;6(1):1–16. DOI: 10.2212/spr.2010.1.3.
15. Rodrigues S, Fernandes FAN, editors. *Advances in fruit processing technologies*. Boca Raton: CRC Press; 2012. 472 p. (Contemporary food engineering series).
16. Narayanasamy P. *Biological management of diseases of crops. Volume 2. Integration of biological control strategies with crop disease management systems*. Dordrecht: Springer; 2013. 364 p. (Progress in biological control; volume 16).
17. Stevens C, Wilson CL, Lu JY, Khan VA, Chalutz E, Droby S, et al. Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. *Crop Protection*. 1996;15(2):129–134. DOI: 10.1016/0261-2194(95)00082-8.
18. Vega K, Ochoa S, Patiño LF, Herrera-Ramírez JA, Gómez JA, Quijano JC. UV-C radiation for control of gray mold disease in postharvest cut roses. *Journal of Plant Protection Research*. 2020;60(4):351–361. DOI: 10.24425/jppr.2020.133957.
19. Sinha RP, Häder D-P. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2002;1(4):225–236. DOI: 10.1039/B201230H.
20. Urban L, Charles F, de Miranda MRA, Aarouf J. Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016;105:1–11. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.04.004.
21. Aarouf J, Urban L. Flashes of UV-C light: an innovative method for stimulating plant defences. *Plos One*. 2020;15(7):e0235918. DOI: 10.1371/journal.pone.0235918.
22. Kawamura C, Tsujimoto T, Tsuge T. Targeted disruption of a melanin biosynthesis gene affects conidial development and UV tolerance in the Japanese pear pathotype of *Alternaria alternata*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 1999;12(1):59–63. DOI: 10.1094/MPMI.1999.12.1.59.
23. Sazanova KV, Kirtsideli IYu. Influence of UV-irradiation on microfungi, isolated from antarctic habitats. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2014;48(5):315–321. Russian.
24. Palou L, Smilanick JL, editors. *Postharvest pathology of fresh horticultural produce*. Boca Raton: CRC Press; 2019. 842 p.
25. Lavrentieva LV, Avdeev SM, Sosnin EA, Velichevskaya KYu. [Bactericidal effect of UV radiation of excimer and exciplex lamps on cultures of microorganisms]. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2008;2:18–27. Russian.
26. Levetin E, Shaughnessy R, Rogers CA, Scheir R. Effectiveness of germicidal UV radiation for reducing fungal contamination within air-handling units. *Applied and Environmental Microbiology*. 2001;67(8):3712–3715. DOI: 10.1128/AEM.67.8.3712-3715.2001.
27. Dai T, Vrahas MS, Murray CK, Hamblin MR. Ultraviolet C irradiation: an alternative antimicrobial approach to localized infections? *Expert Review of Anti-infective Therapy*. 2012;10(2):185–195. DOI: 10.1586/eri.11.166.
28. Gannibal FB. *Monitoring al'ternariozov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i identifikatsiya gribov roda Alternaria* [Monitoring of alternarioses of crops and identification of fungi of the genus *Alternaria*]. Saint Petersburg: All-Russian Institute of Plant Protection RAAS; 2011. 70 p. Russian.
29. Orina AS, Gannibal FB, Levitin MM. [Species diversity, biological characteristics and geography of *Alternaria* associated with Solanaceae plants]. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2010;44(2):150–159. Russian.
30. Carzaniga R, Fiocco D, Bowyer P, O'Connell RJ. Localization of melanin in conidia of *Alternaria alternata* using phage display antibodies. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2002;15(3):216–224. DOI: 10.1094/MPMI.2002.15.3.216.
31. Khokhryakov MK, compiler. *Metodicheskie ukazaniya po eksperimental'nomu izucheniyu fitopatogennykh gribov* [Guidelines for the experimental study of phytopathogenic fungi]. Leningrad: VIZR; 1979. 78 p. Russian.
32. Dudka IA, Vasser SP, Ellanskaya IA, Koval' EZ, Gorbik LT, Nikol'skaya EA, et al. *Metody eksperimental'noi mikologii* [Experimental mycology methods]. Bilai VI, editor. Kyiv: Naukova dumka; 1982. 552 p. Russian.



33. *U. S. Pharmacopoeia XXIII*. Easton: Mack Printing Company; 1995. 313 p.
34. Semenov SM. *Laboratornye sredy dlya aktinomitsvetov i gribov* [Laboratory media for actinomycetes and fungi]. Moscow: Agropromizdat; 1990. 239 p. Russian.
35. Rokitskii PF. *Biologicheskaya statistika* [Biological statistics]. Minsk: Vyshhejschaja shkola; 1973. 320 p. Russian.
36. Zhu XQ, Xiao CL. Phylogenetic, morphological and pathogenic characterization of *Alternaria* species associated with fruit rot of blueberry in California. *Phytopathology*. 2015;105(12):1555–1567. DOI: 10.1094/PHYTO-05-15-0122-R.
37. Shashko YuK. Mycelium growth rate of *Fusarium* fungi as an indicator of phytopathogen aggressiveness. *Vestnik of the Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2020;6(1):66–73. Russian. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-66-73.
38. Sidorova SG. The antifungal activity of ray fungum against the fusarium wilt causal agent of tomato. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2019;3:21–32. Russian. DOI: 10.33581/2521-1722-2019-3-21-32.
39. Valero A, Begum M, Leong SL, Hocking AD, Ramos AJ, Sanchis V, et al. Effect of germicidal UVC light on fungi isolated from grapes and raisins. *Letters in Applied Microbiology*. 2007;45(3):238–243. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2007.02175.x.
40. Nosanchuk JD, Casadevall A. Impact of melanin on microbial virulence and clinical resistance to antimicrobial compounds. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2006;50(11):3519–3528. DOI: 10.1128/AAC.00545-06.
41. Gessler NN, Egorova AS, Belozerskaya TA. Melanin pigments of fungi under extreme environmental conditions (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2014;50(2):125–134. Russian.

Получена 09.05.2021 / исправлена 26.05.2021 / принята 26.05.2021.
Received 09.05.2021 / revised 26.05.2021 / accepted 26.05.2021.