

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЗАКАЛКИ КОНТРАСТНЫМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ НА ВСХОДЫ НОВЫХ ДЛЯ РОССИИ ТЕПЛОЛЮБИВЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

^{1,2}Ю.В. Фотев, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Т.А. Кукушкина, старший научный сотрудник

^{2,3}О.А. Казакова, кандидат сельскохозяйственных наук

⁴Сунь Цзяпин, аспирант

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, р.п. Большие Вяземы Московской обл., Россия

⁴Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: fotev_2009@mail.ru

Ключевые слова: теплолюбивые овощные культуры, низкая температура, закалка, болезни всходов, аскорбиновая кислота, хлорофилл, каротиноиды.

Реферат. В условиях низкой температуры всходы теплолюбивых овощных культур сильнее поражаются различными патогенными микромицетами, а в листьях растений снижается содержание фотосинтетических пигментов. Использование фунгицидов не всегда способно прервать распространение патогенов и гибель растений. Для оценки термоадаптивного потенциала в опытах, проведенных в 2018–2022 гг., определяли влияние режима закалки, включающего четырехдневное выдерживание прорастающих семян момордики (*Momordica charantia* L.), спаржевой вигны (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), кивано (*Cucumis metuliferus* E. Mey. ex Naudin), бенинказы (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.) и ангурии (*Cucumis anguria* L.) при переменной в течение суток температуре – закалывающей (10°C) ночью и оптимальной (30°C) днем, на содержание пигментов в листьях и поражение сеянцев патогенными микромицетами в условиях пониженных температур (6–15 °C). Микробиологический анализ почвы на среде КДА показал наличие *Fusarium* spp. в количестве 290 КОЕ/г почвы. Методом ловушек выявлено присутствие в почвогрунте *Pythium* Pringsh. Наибольшее снижение гибели всходов достигнуто у сеянцев ангурии – в 29 раз, кивано, бенинказы и вигны – в 2,5; 2,0 и 1,3 раза соответственно. Периодическая гипотермия у 3 культур из 5 – кивано, вигны, бенинказы – снизила содержание аскорбиновой кислоты в листьях соответственно на 17; 36 и 3%. Содержание фотосинтетических пигментов – хлорофиллов (a + b) в варианте с закалкой увеличилось соответственно у 4 (за исключением вигны) культур из 5 на 8–40%, а каротиноидов у 3 – момордики, ангурии и бенинказы – на 46; 3 и 8% соответственно. Соотношение хлорофиллов a/b у большинства культур как в контроле (при оптимальной температуре), так и после низкотемпературного воздействия было близким к 2,0. Лишь у ангурии это соотношение уменьшилось с 2,8 до 2,1. Спаржевая вигна показала уменьшение содержания в варианте закалки как аскорбиновой кислоты (на 36%), так и фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) – на 6–8%.

INFLUENCE OF HARDENING BY CONTRAST TEMPERATURES ON THE GROWTH OF NEW FOR RUSSIA HEAT-LOVING VEGETABLE CROPS

^{1,2}Yu.V. Fotev, PhD in Agricultural Sciences

¹T.A. Kukushkina, Senior Researcher

^{2,3}O.A. Kazakova, PhD in Agricultural Sciences

⁴Sun Jiaping, PhD student

¹Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³All-Russian Research Institute of Phytopathology, R.P. Bolshie Vyazemy, Moscow region, Russia

⁴Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

E-mail: fotev_2009@mail.ru

Keywords: heat-loving vegetable crops, low temperature, hardening, seedling diseases, ascorbic acid, chlorophyll, carotenoids.

Abstract. Under conditions of low temperature, seedlings of heat-loving vegetable crops are more strongly affected by various pathogenic micromycetes, and the content of photosynthetic pigments in the leaves of plants decreases. Using fungicides cannot constantly interrupt the spread of pathogens and the death of plants. The authors determined the effect of the hardening regime, including the four-day keeping of germinating seeds of *Momordica* (*Momordica charantia* L.), asparagus cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), kiwano (*Cucumis metuliferus* E. Mey. ex Naudin), Benincasa (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.) and anguria (*Cucumis anguria* L.) at a variable temperature during the day - hardening (10°C) at night and optimal (30°C) during the day for keeping pigments in leaves and damage to seedlings by pathogenic micromycetes at low temperatures (6–15 °C). This effect allowed authors to assess the therm adaptive potential in experiments conducted in 2018–2022. Microbiological analysis of the soil on PDA medium (potato dextrose agar) showed the presence of *Fusarium* spp. in the amount of 290 CFU/g of earth. The trap method revealed the presence of *Pythium* Pringsh in the soil. The most significant reduction in the death of seedlings was achieved in seedlings of anguria - 29 times, Kivano, Benincasa and cowpea - 2.5, 2.0 and 1.3 times, respectively. Periodic hypothermia in 3 cultures out of 5 - Kiwano, Cowpea, and Benincasa - reduced the ascorbic acid content in the leaves by 17%, 36% and 3%. The range of photosynthetic pigments - chlorophylls (a + b) in the variant with hardening increased, respectively, in 4 (except cowpea) crops out of 5 by 8–40%, and carotenoids in 3 crops - *Momordica*, *Anguria* and *Benincasa* - by 46, 3 and 8% respectively. The ratio of chlorophylls a/b in most cultures, both in control (at the optimum temperature) and after low-temperature exposure, was close to 2.0. Only in *Anguria* did this ratio decrease from 2.8 to 2.1. Asparagus cowpea showed a decrease in the content of both ascorbic acid (by 36%) and photosynthetic pigments (chlorophylls and carotenoids) - by 6–8% in the hardening option.

Как известно, центры происхождения большинства плодовых овощных культур, выращиваемых в России, связаны с тропическими и субтропическими регионами мира. Отсюда их высокая требовательность к температурному фактору на всех этапах онтогенеза – от прорастания семян до плодоношения. Так, семена момордики (*Momordica charantia* L.) при прорастании требуют температуры 25–30°C [1], вигны (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – от 30 до 35°C [2]. Активно интродуцируемые в России кивано (*Cucumis metuliferus* E. Mey. ex Naudin), бенинказа (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.) и ангурия (*Cucumis anguria* L.) имеют тропическое происхождение, поэтому также теплолюбивы на всех этапах онтогенеза. Температура около 10°C, вероятно, является биологическим нулем для роста и развития многих теплолюбивых овощных растений. Снижение ее ниже критического уровня (10 °C для видов тропического и субтропического происхождения), при котором у теплолюбивых растений происходит фазовый переход мембран из жидкокристаллического в гель-состояние, приводит к увеличению их проницаемости, нарушению обменных процессов, накоплению токсических веществ и прочим нарушениям обмена веществ [3]. Низкотемпературный стресс вызывает снижение концентрации пигментов хлоропластов, особенно содержания хлорофилла b [4].

Существенно, что пониженные температуры способствуют увеличению поражения

растений возбудителями болезней [5, 6]. Так, низкотемпературный стресс через 2–4 дня после посева значительно повышает восприимчивость сои к поражению *Pythium sylvaticum* [7]. Поражение «черной ножкой», полегание сеянцев (damping-off) может достигать 80% [8]. По данным Ю.И. Власова и Э.А. Власовой [9], корневая гниль сеянцев вызывается комплексом грибов из родов *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium* и гниlostными бактериями, при этом поражаются главный, основные толстые и боковые тонкие корни, а также корневая шейка. Среди основных возбудителей полегания сеянцев на овощных культурах отмечены *Pythium* sp., *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *S. minor*, *Alternaria* sp., *Phytophthora* sp., *Fusarium* sp., *Thielaviopsis basicola* [10]. Распространенность почвенных патогенов показывают, например, данные мониторинга почвенных патогенов, проведенного в Татарстане, где отмечено, что во всех отобранных образцах почвы обнаружены фитопатогенные грибы рода *Fusarium* (от 26 до 250 КОЕ·г⁻¹) [11]. В защищенном грунте в результате поражения этим грибом иногда погибает до 75–80% сеянцев [9]. Важно, что «при наличии почвенной фузариозной инфекции химические средства не всегда решают проблему сокращения данного патогена» [12].

Успех интродукции теплолюбивых культур в условиях резко-континентального климата в значительной степени связан с расширением диапазона условий среды при кото-

рых возможно экономически оправданное их выращивание. Для повышения холодостойкости достаточно давно получили распространение разные по интенсивности и продолжительности способы воздействия на растения пониженной температурой. Наиболее перспективным оказалось закаливание растений путём кратковременного воздействия такой предельно низкой температурой, которая ещё не вызывает повреждения [13]. Температуру подбирают соответственно степени холодостойкости культуры (в пределах от 0 до -5°C), воздействуя в течение относительно коротких промежутков времени (по 12 ч), чтобы не повредить прорастающие семена [14]. На остальное время суток семена помещают в благоприятные условия.

Семена томата, например, рекомендовалось подвергать «яровизации», выдерживая их перед посевом в течение 7 дней при переменных температурах ($+25...30^{\circ}\text{C}$ в течение 5 ч и 19°C при $0...-2^{\circ}\text{C}$) [15]. Другим способом закалки было промораживание набухших семян этой культуры при температуре $-1...-3^{\circ}\text{C}$ в течение 3–5 дней или выдерживание при переменных в течение суток температурах (6–12 ч в тепле и 18–12 ч в холоде. Используя закалку прорастающих семян, уже тогда считалось возможным в условиях Новосибирска в середине мая проводить прямой посев томатов в открытый грунт.

Важным методическим подходом в этом направлении является оценка термоадаптивного потенциала культур и сортов, а также его использование [16]. Экспериментально установлено, что температурная характеристика, например, огурца (сорт Алма-Атинский 1) включает фоновую зону с температурой $19-27^{\circ}\text{C}$ и две зоны в сторону более низких температур: зону холодого закаливания ($8-18^{\circ}\text{C}$) и зону повреждения (7°C). После нескольких дней выдерживания растений при закалывающих температурах зона холодого повреждения этого сорта огурца снизилась с 7 до 4°C .

Закалывающий эффект формируется за достаточно короткий срок. Так, у пшеницы холодостойкость клеток листа достигает максимума на 3–4-е сут [17]. По мнению исследователей, этот этап (1–4-е сут закаливания), очевидно, следует считать периодом стабилизации работы фотосинтетического аппарата (ФСА) в условиях низких закалывающих температур. Установлен эффект кратковременного ежесуточного снижения температуры (ДРОП-воздействие), вызывающий так называемую кросс-адаптацию, что определяет устойчивость как к низкой температуре, так и к биологическому стрессору (нематоде) [18].

Результатами ряда исследований выявлен также положительный эффект режимов низкотемпературного воздействия на снижение восприимчивости растений к патогенам [19]. По данным А.М. Tronsmo [20], холодое закаливание влияет на устойчивость к таким заболеваниям как ржавчина и мучнистая роса. Закаливание озимой пшеницы при 2°C в течение 1–6 недель значительно повышало устойчивость к возбудителям снежной плесени LTB, *Typhula incarnata* и *Microdochium nivale*, а также к мучнистой росе (*Blumaria graminis* f. sp. *graminis*) и полосатой ржавчине (*Puccinia striiformis*) [21]. При исследовании влияния кратковременного (2 ч в сутки) и длительного (6 суток) снижения температуры (5°C) на холодостойкость растений двух сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.): устойчивого (Сударыня) и восприимчивого (Невский) к заражению нематодой (*Globodera rostochiensis* Woll.), а также изменение уровня экспрессии генов устойчивости к нематоде (H1 и Gro1-4) обнаружили, что у обоих сортов низкотемпературная обработка повышала холодостойкость растений, а степень заражения у восприимчивого сорта Невский снижалась почти в 3 раза [18]. Уровень экспрессии гена H1 в листьях восприимчивого сорта повышался практически в 2 раза как после кратковременного, так и длительного действия закалывающей температуры. Очевидно, что кратковременные снижения температуры являются для растения праймингом, обеспечивающим их подготовку к последующему воздействию такого стрессора, как нематода [22].

В ряде исследований установлена связь между циркадными ритмами и результатом низкотемпературного воздействия на растения. Было высказано предположение [23], что, воздействуя на прорастающие семена контрастными температурами – от «биологического нуля» до температурного оптимума, мы «раскачиваем» обусловленные генотипом биологические ритмы, инициируя индуцируемую холодом экспрессию генов, специфический транскрипционный ответ на стресс. Так, в работе Y. Murayama et al. [24] низкая температура обнуляла циркадные биоритмы у цианобактерий через бифуркацию Хопфа. Растения способны развивать индуцируемую защиту в ответ на биотические и абиотические напряжения, регулируемые температурой, световым и циркадным ритмом [25]. Активация иммунных сигналов растений в отношении конкретной патогенной инфекции является надежно контролируемым механизмом, при котором защитные реакции специально вклю-

чаются при распознавании патогена. Активация защитных генов модулируется циркадными ритмами. Например, ген R у арабидопсиса, RPP4, демонстрирует устойчивую циркадную экспрессию с пиком, приходящимся на ночное время [26]. Есть предположение, что циркадные часы формируют исход взаимодействия растений и патогенов [27].

Таким образом, наибольшего эффекта закалики теплолюбивых культур, проявляющегося в способности противостоять низким температурам и биологическим стрессорам, вероятно, можно ожидать от периодического воздействия закалывающей температурой, совпадающего с циркадными ритмами роста и развития растений. Применение многих фунгицидов для контроля патогенов не всегда эффективно и может быть опасно для здоровья человека, а также вызывает экологические проблемы в окружающей человека биоте.

Цель исследования – выяснить влияние режима закалики, включающего выдерживание прорастающих семян момордики, спаржевой вигны, кивано, бенинказы и ангурии при переменной в течение суток температуре – закалывающей ночью и оптимальной днем – на

содержание пигментов в листьях и поражение сеянцев патогенной микробиотой в условиях низкой температуры.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования, проведенного в 2018 – 2022 гг., использовали образцы из «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534 Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН): момордику (сорт Гоша), спаржевую вигну (сорт Сибирский размер), кивано (сорт Зеленый дракон), бенинказу (сорт Акулина) и ангурию (форма 278), растения которых выращивали в условиях пленочной необогреваемой теплицы ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск, 54°49'33'' с. ш., 83°06'34'' в. д.) из семян, репродуцированных ранее при контролируемом опылении в этих же условиях. Исходную всхожесть семян проверяли в соответствии с рекомендациями по поддержанию генресурсов растений в генных банках [28]. Энергия прорастания и всхожесть семян оказались достаточно высокими (табл. 1).

Таблица 1

Энергия прорастания и всхожесть семян образцов овощных культур, %
Germination energy and seed germination of vegetable crop samples, %

Вид	Сорт, форма	Происхождение	Энергия прорастания	Всхожесть
<i>Momordica charantia</i>	Гоша	ЦСБС СО РАН	100	100
<i>Vigna unguiculata</i>	Сибирский размер	ЦСБС СО РАН	80	80
<i>Cucumis metuliferus</i>	Зеленый дракон	ЦСБС СО РАН	100	100
<i>Benincasa hispida</i>	Акулина	ЦСБС СО РАН	88	92
<i>Cucumis anguria</i>	Форма 278	ЦСБС СО РАН	100	100

Семена всех культур подвергали температурному воздействию в течение четырех дней в двух режимах: 25°C в течение 24 ч (контроль, фоновая зона) и 10°C – 18 ч («ночь» + 30°C – 6 ч («день»)) в течение четырех суток (зона закалывания). Повторностей в опыте три, в каждой пробе по 15 шт. семян. В качестве ложа при закладке использовали фильтровальную бумагу, увлажненную дистиллированной водой. Порядок и условия подготовки к закладке семян соответствовали ГОСТ 12038-84.

После выдерживания семян в условиях оптимальной (контроль) и переменной температуры семена сеяли в кассеты с размером ячеек 40 х 40 мм, заполненные субстратом на основе торфа на глубину 1 см с размещением их в зимней остекленной теплице при частично

регулируемом температурном режиме 6–15 °C в период с февраля по март.

Микробиологический анализ торфяного субстрата и семян проводили в лаборатории фитосанитарной диагностики и прогноза Новосибирского государственного аграрного университета (НГАУ) в соответствии с разработанными методами [29] и ГОСТ 12044-93. Учет численности микроорганизмов проводили традиционным методом, посевом серийных почвенных разведений на агаризованные питательные среды. Численность грибов рода *Fusarium* определяли на среде КДА. Присутствие *Pythium* Pringsh определяли методом ловушек [29].

Через три недели после двух режимов обработки семян подсчитывали количество выпа-

дов всходов. Еще через три недели проводили анализ на содержание пигментов в листьях. Аскорбиновую кислоту определяли титриметрическим методом, основанным на ее редуцирующих свойствах (реакция Тильманса) [30, 31]. Суммарное количество каротиноидов определяли в ацетоново-этанольном экстракте спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность раствора измеряли при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* (662 нм) и *b* (644 нм), каротиноидов (440,5 нм). Расчет концентрации пигментов проводили по формулам: $Ca + Cb = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}$; $Скар = 4,695D_{440,5} - 0,268(Ca + Cb)$ [30]. Все биохимические показатели, кроме аскорбиновой кислоты, рассчитаны на массу абсолютно сухого сырья. За результат принимали среднее из трех параллельных определений по каждому показателю.

Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel 2019 и Minitab 14. Средние значения признаков (*M*) представлены со стандартной ошибкой выборочной средней ($M \pm SEM$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность почвенной микрофлоры в использованном почвогрунте составила:

грибы – 1×10^3 , бактерии – 30×10^3 , актиномицеты – 1×10^3 КОЕ/г. Проведенный при использовании среды КДА микробиологический анализ почвы показал наличие *Fusarium* spp. в количестве 290 КОЕ/г почвы, что более чем в 5 раз превышает экономический порог вредности. Этот патогенный микромицет является одним из наиболее значимых возбудителей корневых гнилей в различных агроценозах. Методом ловушек также выявлено присутствие в почвогрунте *Pythium Pringsh*, который является сопутствующим возбудителем загнивания всходов и развивается преимущественно при температуре от +6°C.

Установлено значительное снижение гибели всходов у всех теплолюбивых овощных растений (момордики, кивано, ангурии, вигны и бенинказы) от почвенных патогенов в условиях низкой температуры при воздействии на семена режима контрастных температур (рис. 1). Наибольшее снижение достигнуто у сеянцев ангурии – в 29 раз, а также кивано и бенинказы – в 2,5 и 2 раза соответственно. Такие различия можно объяснить закалкой прорастающих семян и приобретением ими определенного уровня устойчивости к биологическому стрессору. На рис. 2 показаны растения в разных вариантах опыта.

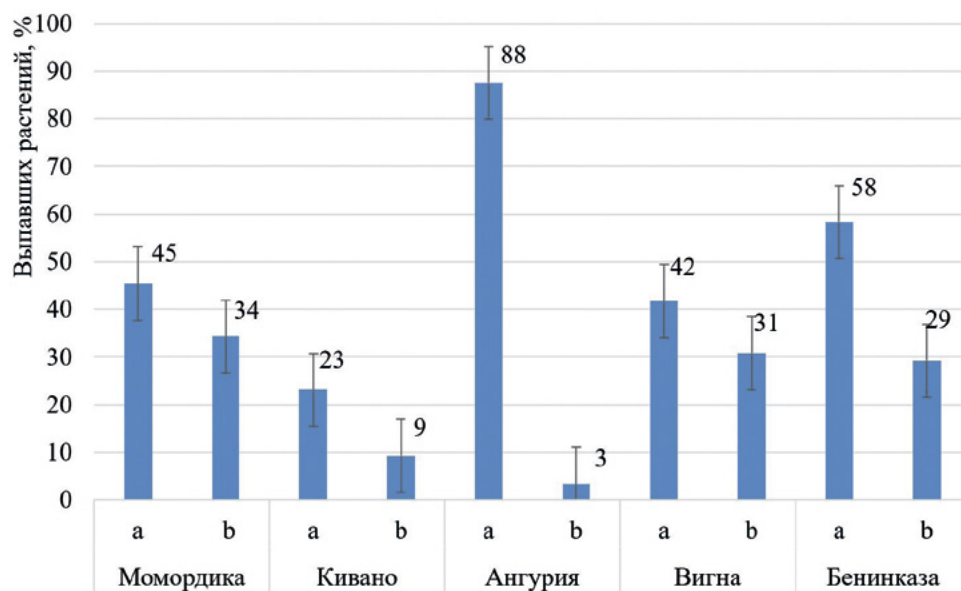


Рис. 1. Количество выпавших растений: а – режим обработки семян 25°C в течение 24 ч; б – режим 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч.

Fig. 1. The number of fallen plants: a - seed treatment mode 25°C for 24 hours; b - mode 10°C - 18h + 30°C - 6h.



Рис. 2. Растения кивано через три недели после всходов после двух режимов обработки семян: 25°C в течение 24 ч; б – 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч

Fig. 2. Kiwano plants three weeks after germination after two seed treatment regimens: 25°C for 24 hours; б - 10°C - 18h + 30°C - 6h

Воздействие на прорастающие семена переменными температурами снизило содержание аскорбиновой кислоты в листьях у 3 культур из 5 – кивано, вигны, бенинказы – соответственно на 17; 36 и 3% (рис. 3). У 2 культур (момордики и ангурии) содержание этого соединения увеличилось в 1,2 раза. Такая разница в реакции образцов разных видов, вероятно, объясняется возрастанием содержания активных форм кислорода при снижении температуры, что приводит к быстрому уменьшению концентрации аскорбиновой кислоты в фотосинтезирующих листьях у первых трех видов. Подобный тип ответной реакции наблюдали ранее при низкотемпературном воздействии на растения овощной хризантемы (*Glebionis coronaria* (L.) Tzvelev) [32], а также

табака (*Nicotiana tabacum* L.) [33]. Возможно, диапазон закаливающих температур либо режим гипотермического воздействия на прорастающие семена этих культур должны быть исследованы дополнительно. Максимальное содержание аскорбиновой кислоты отмечено в листьях момордики, кивано и ангурии (117–121 мг%), причем у момордики и ангурии – в варианте закалки, а у кивано – в контроле. Можно предположить, что использование экзогенной аскорбиновой кислоты в перспективе могло бы рассматриваться как фактор повышения устойчивости растений к пониженным температурам на фоне инвазии патогенных микромицетов, здесь необходимы дополнительные исследования.

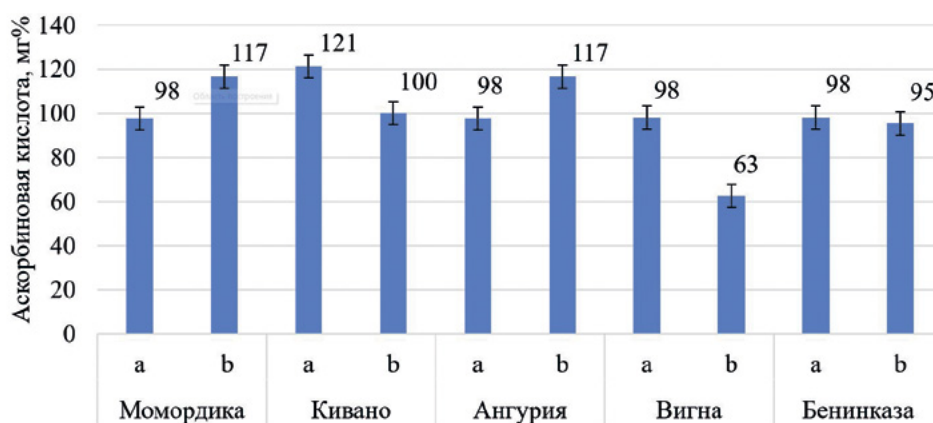


Рис. 3. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях овощных культур (на сырую массу) в зависимости от режима обработки семян (продолжительность 4 дня): а – режим обработки семян 25°C в течение 24 ч; б – режим 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч

Fig. 3. The content of ascorbic acid in the leaves of vegetable crops (per wet weight) depending on the mode of seed treatment (duration 4 days): а – mode of seed treatment 25°C for 24 hours; б – mode 10°C - 18h + 30°C - 6h

В результате низкотемпературной обработки прорастающих семян у 4 культур из 5 отмечено повышение содержания хлорофиллов (а + б) в листьях на 8–40% (рис. 4). Такое увеличение было достигнуто преимущественно за счет возрастания содержания хлорофилла б. Подобный эффект дозированного воздей-

ствия холодом, по всей видимости, объясняется именно процессом закалки прорастающих семян, отмеченным ранее на овощном перце [34], так как низкая температура вне диапазона закалки обычно приводит к снижению их содержания [35]. Эффект повышения содержания хлорофилла в варианте периодического сни-

жения температуры несет явный потенциал увеличения продуктивности растений новых для России культур. У вигны отмечено снижение содержания хлорофилла *b* в процессе закаливания, что, вероятнее всего, предполагает более высокие температуры в качестве оптимума для его прохождения. Соотношение хлорофиллов *a/b* у большинства культур как в контроле (при оптимальной температуре), так и после охлаждения было близким к 2,0. Лишь у ангурии это соотношение уменьшилось с 2,8 до 2,1. Содержание каротиноидов в режиме периодической гипотермии возросло у 3 куль-

тур из 5 – у момордики, ангурии и бенинказы – на 46; 3 и 8% соответственно. У кивано и спаржевой вигны содержание этого пигмента снизилось на 6%. Спаржевая вигна показала уменьшение содержания как аскорбиновой кислоты (на 36%), так и фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) – на 6–8% в варианте низкотемпературного воздействия на прорастающие семена. Возможно, учитывая ее повышенную теплопотребляемость, закаливающий диапазон температур и режим закаливания для нее нуждаются в уточнении дополнительным исследованием.

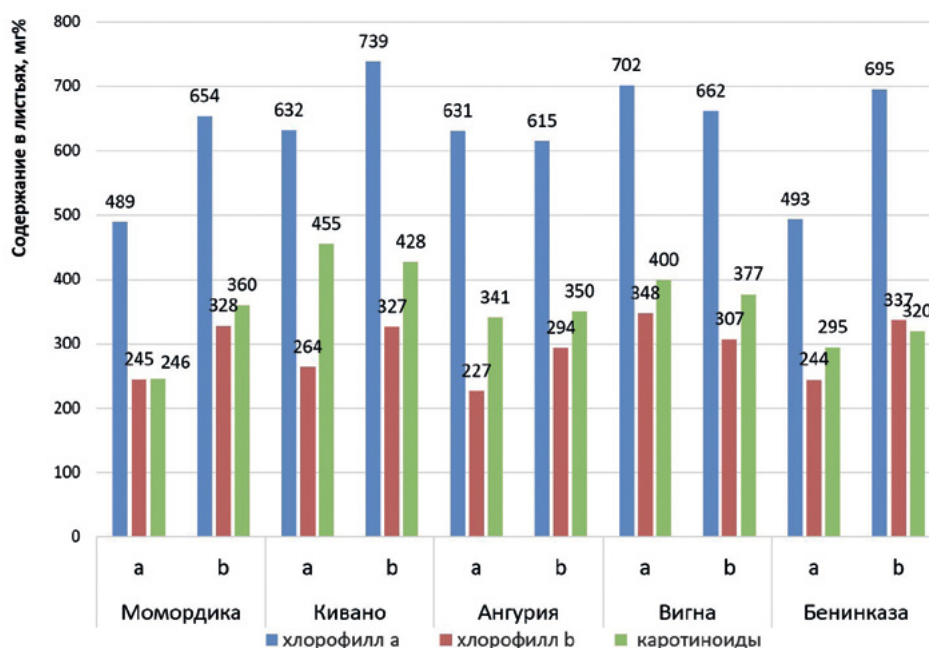


Рис. 4. Содержание хлорофиллов *a* и *b*, суммы каротиноидов (на сухую массу) в листьях растений момордики, кивано, ангурии, вигны и бенинказы после двух режимов 4-дневного воздействия на семена: а – 25°C в течение 24 ч; б – 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч

Fig. 4. The content of chlorophylls *a* and *b*, the number of carotenoids (per dry weight) in the leaves of Momordica, Kivano, Anguria, Cowpea and Benincasa plants after two modes of a 4-day exposure to seeds: a - 25°C for 24 hours; b - 10°C - 18h + 30°C - 6h

Таким образом, в результате периодического воздействия на семена режимом контрастных температур, совпадающим с циркадным изменением их хода в течение суток, т.е. закаливающих ночью и оптимальных днем, установлено значительное уменьшение поражения растений патогенными микромицетами. Одновременно с этим отмечен эффект закаливания в виде увеличения содержания хлорофиллов (*a* + *b*) в листьях всех 4 культур из семейства Cucurbitaceae, что может служить в дальней-

шем предпосылкой исследований с целью увеличения продуктивности растений. Снижение содержания аскорбиновой кислоты у 3 культур из 5 (за исключением момордики и ангурии), вероятно, обусловлено ее участием в реакциях с активными формами кислорода, образующимися при низкотемпературном воздействии на растения. Необходимы дальнейшие исследования термоадаптивного потенциала овощной вигны, нуждающейся в уточнении температуры и режима ее закаливания к низким температурам.

ВЫВОДЫ

1. Установлено снижение гибели всходов от комплекса патогенных микромицетов (*Fusarium* spp., *Pythium* Pringsh.) в условиях пониженной температуры после периодического четырехдневного воздействия на семена закалывающим режимом контрастных температур: низкой (10°C) и оптимальной (30°C) – у сеянцев ангурии – в 29 раз, кивано, бенинказы и вигны – в 2,5; 2 и 1,3 раза соответственно.

2. Периодическая гипотермия снизила содержание аскорбиновой кислоты в листьях у 3 культур из 5 – кивано, вигны, бенинказы –

соответственно на 17; 36 и 3% и повысила на 19% у момордики и ангурии.

3. В результате низкотемпературной обработки прорастающих семян у 4 культур из 5 (момордика, кивано, ангурия и бенинказа) отмечено увеличение содержания хлорофиллов (*a* + *b*) в листьях на 8–40%. Содержание каротиноидов в режиме периодической гипотермии возросло у 3 культур из 5 – у момордики, ангурии и бенинказы – на 46; 3 и 8% соответственно.

4. Овощная вигна – единственная культура в опыте, показавшая снижение содержания как аскорбиновой кислоты (на 36%), так и фотосинтетических пигментов (на 6–9%) в варианте закалки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Santana S.H., Torres S.B., Benedito C.P.* Biometria de frutos e sementes e germinação de melão-de-são-caetano // *Revol. bras. plantas med.* – 2013. – Vol. 15, N 2. – <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000200001>.
2. *Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds* / J. Barros, F. Angelotti, J. Santos, R. Silva, B. Dantas // *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.* – 2020. – Vol. 14. – P. 1–19. – DOI: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339.
3. *Особенности реакции растений на ежесуточные понижения температуры в зависимости от их интенсивности и продолжительности* / Т.Г. Шибаева, Е.Н. Икконен, Е.Г. Шерудило, А.Ф. Титов // *Труды Карельского научного центра РАН.* – 2018. – № 12. – С. 20–37. – DOI: 10.17076/eb884.
4. *Wu Y., Cai X., Tang Y.* Outcomes of low-temperature stress on biological alterations within pothos (*Epipremnum aureum*) leaves // *Life.* – 2022. – Vol. 12. – P. 1432. – <https://doi.org/10.3390/life12091432>.
5. *Wolk W.D., Herner R.C.* Chilling injury of germinating seeds and seedlings // *HortScience.* – 1982. – Vol. 17, N 2. – P. 169–173.
6. *Juurakko C.L., di Cenzo G.C., Walker V.K.* Cold acclimation and prospects for cold-resilient crops // *Plant Stress.* – 2021. – Vol. 2. – P. 100028. – <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100028>.
7. *Serrano M., Robertson A.E.* The Effect of cold stress on damping-off of soybean caused by *Pythium sylvaticum* // *Plant Dis.* – 2018. – Vol. 102, N 11. – P. 2194–2200. – DOI: 10.1094/PDIS-12-17-1963-RE.
8. *Integrated management of damping-off diseases. A review* / J.R. Lamichhane, D. Carolyne, A. Schwanck [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development.* – 2017. – Vol. 37. – P. 1–25. – DOI: 10.1007/s13593-017-0417-y.
9. *Власов Ю.И., Власова Э.А.* Защита овощных культур от болезней. – Л.: Лениздат, 1976. – 104 с.
10. *Comparative Efficacy of biological, botanical and chemical treatments against damping off disease of tomato in Chitwan* / L.K. Sharma, N. Sharma, B. Dhungana [et al.] // *Int. J. Soc. Sc. Manage.* – 2022. – Vol. 9 (2). – P. 67–74. – DOI: 10.3126/ijssm.v9i2.44168.
11. *Monitoring of soil-borne pathogens in the agricultural soils of the Pestrechinsky District (Tatarstan, Russia)* / K.O. Dzhabarova, P.A. Kuryntseva, P.Y. Galitskaya, S.Y. Selivanovskaya // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* – 2018. – Vol. 107. – P. 012056. – DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012056.
12. *Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Тамбовской области в 2017 году и прогноз развития вредных объектов в 2018 году.* – Тамбов: Россельхозцентр по Тамбовской области, 2018. – 111 с.
13. *Воронова А.Е.* Закалка семян и рассады теплолюбивых культур. – М.: Изд-во М-ва сел. хоз-ва СССР, 1953. – 20 с.

14. Генкель П.А., Кушниренко С.В. Холодостойкость растений и термические способы её повышения. – М.: Наука, 1966. – 223 с.
15. Еременко Л.Л. Особенности выращивания помидоров в Новосибирске // Выращивание помидоров на приусадебных участках. – Новосибирск: Кн. изд-во, 1959. – С. 3–83.
16. Дроздов С.Н., Титов А.Ф., Балагурова Н.И. Оценка термоадаптивного потенциала вегетирующих растений с помощью анализа их холодо- и теплоустойчивости // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: метод. руководство. – Л.: Изд-во ВИР, 1988. – С. 216–222.
17. Влияние пониженной температуры на устойчивость и функциональную активность фотосинтетического аппарата растений пшеницы / Ю.В. Венжик, А.Ф. Титов, В.В. Таланова [и др.] // Известия РАН. Серия биологическая. – 2011. – № 2. – С. 171–177.
18. Кросс-адаптация растений картофеля к действию низких температур и заражению картофельной цистообразующей нематодой / М.И. Сысоева, В.В. Лаврова, Е.М. Матвеева [и др.] // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 853–858.
19. Rejeb I.B., Pastor V.O.L., Mauch-Mani B. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms // Plants. – 2014. – Vol. 3 (4). – P. 458–475. – DOI: 10.3390/plants3040458.
20. Tronsmo A.M. Cold hardening – a physiological mechanism for resisting biotic as well as abiotic stress factors // Breeding Fodder Crops for Marginal Conditions. Developments in Plant Breeding. – Dordrecht: Springer. – 1994. – Vol. 2. – P. 215–221. – https://doi.org/10.1007/978-94-011-0966-6_32.
21. Low temperature induced defence gene expression in winter wheat in relation to resistance to snow moulds and other wheat diseases / D.A. Gaudet, Y. Wang, M. Frick [et al.] // Plant Sci. – 2011. – Vol. 180 (1). – P. 99–110. – DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.07.023.
22. Сысоева М.И., Лаврова В.В., Матвеева Е.М. Влияние кратковременных ежесуточных снижений температуры на содержание фотосинтетических пигментов в листьях зараженного нематодой картофеля // Труды Карельского научного центра РАН. Серия: Экспериментальная биология. – 2013. – № 3. – С. 194–199.
23. Фомев Ю.В. К методике интродукции теплолюбивых овощных растений в Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 4. – С. 104–118. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118>.
24. Interactions between plant immunity, temperature, light, and circadian rhythm / M.G. Kim, D.M. Macoy, J.Y. Lee, J.Y. Cha, W.Y. Kim // J. Plant Biochem. Physiol. – 2021. – Vol. 9, Is. 7, N 1000260. – P. 1–14.
25. Xu X., Yuan L., Xie Q. The circadian clock ticks in plant stress responses // Stress Biology. – 2022. – Vol. 2. – P. 15. – <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00040-7>.
26. Sharma M., Bhatt D. Clock–defence cross-talk // Molecular Plant Pathology. – 2015. – Vol. 16. – P. 210–218. – <https://doi.org/10.1111/mpp.12178>.
27. Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H. Handbook of seed technology for genebanks. Vol. II: compendium of specific germination information and test recommendation. – Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1985. – 667 p.
28. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, А.А. Кириченко, Е.Ю. Мармулева, В.М. Гришин, О.А. Казакова, М.П. Селюк. – Барнаул: Графикс, 2017. – 210 с.
29. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений. – 3-е изд. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 420 с.
30. Кукушкина Т.А., Фомина Т.И. Содержание биологически активных веществ в листьях некоторых видов рода *Campanula* L. (Campanulaceae) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 38. – С. 122–133. – DOI: 10.17223/19988591/38/7.
31. Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в органах растения хризантемы овощной в условиях низкой положительной температуры / М.С. Гинс, В.К. Гинс, П.Ф. Кононков [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 4. – С. 22–26. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019422-26>.

32. *Enhanced tolerance to low temperature in tobacco (Nicotiana tabacum L.) sprayed with a low-temperature-resistant agent* / J. Yi, Y. Li, Z. Dai [et al.] // *Experimental Agriculture*. – 2015. – Vol. 51 (2). – P. 179–190. – DOI:10.1017/S0014479714000210.
33. *Effects of cold-hardening on chilling-induced photoinhibition of photosynthesis and on xanthophyll cycle pigments in sweet pepper* / P. Liu, Qw. Meng, Q. Zou [et al.] // *Photosynthetica*. – 2001. – Vol. 39. – P. 467–472. – <https://doi.org/10.1023/A:1015155032135>.
34. *Effect of Low Temperature on Chlorophyll Biosynthesis and Chloroplast Biogenesis of Rice Seedlings during Greening* / Y. Zhao, Q. Han, C. Ding, [et al.] // *Int J Mol Sci*. – 2020. – Vol. 1921 (4). – P. 1390. – DOI: 10.3390/ijms21041390; PMID: 32092859; PMCID: PMC7073065.

REFERENCES

1. Santana S.H., Torres S.B., Benedito C.P., Biometria de frutos e sementes e germinação de melão-de-são-caetano, *Revol. bras. plantas med.*, 2013, Vol. 15, No. 2, <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000200001>.
2. Barros J., Angelotti F., Santos J., Silva R., Dantas B., Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2020, Vol. 14, pp. 1–19, DOI: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339.
3. Shibaeva T.G., Ikkonen E.N., Sherudilo E.G., Titov A.F., *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, 2018, No. 12, pp. 20–37, DOI: 10.17076/eb884. (In Russ.).
4. Wu Y., Cai X., Tang Y. Outcomes of low-temperature stress on biological alterations within pothos (*Epipremnum aureum*) leaves, *Life*, 2022, Vol. 12, pp. 1432, <https://doi.org/10.3390/life12091432>.
5. Wolk W.D., Herner R.C., Chilling injury of germinating seeds and seedlings, *HortScience*, 1982, Vol. 17, No. 2, pp. 169–173.
6. Juurakko C.L., di Cenzo G.C., Walker V.K., Cold acclimation and prospects for cold-resilient crops, *Plant Stress*, 2021, Vol. 2, pp. 100028, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100028>.
7. Serrano M., Robertson A.E., The Effect of cold stress on damping-off of soybean caused by *Pythium sylvaticum*, *Plant Dis*, 2018, Vol. 102, No. 11, pp. 2194–2200, DOI: 10.1094/PDIS-12-17-1963-RE.
8. Lamichhane J.R., Carolyne D., Schwanck A., Robin M.-H., Sarthou J.-P., Cellier VOL., Messean A., Aubertot J.-N., Integrated management of damping-off diseases. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, Vol. 37, pp. 1–25, DOI: 10.1007/s13593-017-0417-y.
9. Vlasov Ju.I., Vlasova Je.A., *Zashhita ovoshhnyh kul'tur ot boleznej* (Protection of vegetable crops from diseases), Leningrad: Lenizdat, 1976, 104 p.
10. Sharma L.K., Sharma N., Dhungana B., Adhikari A., Shrestha S.M., Yadav D., Comparative Efficacy of biological, botanical and chemical treatments against damping off disease of tomato in Chitwan, *Int. J. Soc. Sci. Manage*, 2022, Vol. 9 (2). pp. 67–74, DOI: 10.3126/ijssm.v9i2.44168.
11. Dzhabarova K.O., Kuryntseva P.A., Galitskaya P.Y., Selivanovskaya S.Y., Monitoring of soil-borne pathogens in the agricultural soils of the Pestrechinsky District (Tatarstan, Russia), *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 107, pp. 012056, DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012056.
12. *Obzor fitosanitarnogo sostojanija posevov sel'skhozajajstvennyh kul'tur v Tambovskoj oblasti v 2017 godu i prognoz razvitija vrednyh ob'ektov v 2018 godu*, (Review of the phytosanitary state of crops in the Tambov region in 2017 and the forecast for the development of harmful objects in 2018), Tambov: Rossel'hozcentr po Tambovskoj oblasti, 2018, 111 pp.
13. Voronova A.E., *Zakalka semjan i rassady teploljubivyh kul'tur* (Hardening of seeds and seedlings of heat-loving crops), Moscow: Izd-vo Min-va sel'skogo hozjajstva SSSR, 1953, 20 p.
14. Genkel' P.A., Kushnirenko S.V., *Holodostojkost' rastenij i termicheskie sposoby ego povyshenija* (Cold hardiness of plants and thermal methods for its improvement), Moscow: Nauka, 1966, 223 pp.
15. Eremenko L.L., *Vyrashhivanie pomidorov na priusadebnyh uchastkah* (Growing tomatoes in home gardens), Novosibirsk: Novosibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1959, pp. 3–83. (In Russ.)
16. Drozdov S.N., Titov A.F., Balagurova N.I., *Diagnosis of plant resistance to stress* (Diagnostics of plant resistance to stress), Methodological guide, Leningrad, Izdatel'stvo VIR, 1988, pp. 216–222. (In Russ.).

17. Venzhik Ju.V., Titov A.F., Talanova V.V., Frolova S.A., Talanov A.V., Nazarkina E.A., *Izvestija RAN. Serija biologicheskaja*, 2011, No. 2, P. 171–177. (In Russ.).
18. Sysoeva M. ., Lavrova V.V., Matveeva E. M., Sherudilo E.G., Topchieva L.V., *Fiziologija rastenij*, 2011, Vol. 58, No. 6, pp. 853–858. (In Russ.).
19. Rejeb I.B., Pastor V.O.L., Mauch-Mani B., Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms, *Plants*, 2014, Vol. 3 (4), pp. 458–475 DOI: 10.3390/plants3040458.
20. Tronsmo A.M., Cold hardening — a physiological mechanism for resisting biotic as well as abiotic stress factors, *Breeding Fodder Crops for Marginal Conditions. Developments in Plant Breeding*, Dordrecht: Springer, 1994, Vol. 2, pp. 215–221. — https://doi.org/10.1007/978-94-011-0966-6_32.
21. Gaudet D.A., Wang Y., Frick M., Puchalski B., Penniket C., Ouellet T., Robert L., Singh J., Laroché A., Low temperature induced defence gene expression in winter wheat in relation to resistance to snow moulds and other wheat diseases, *Plant Sci.*, 2011, Vol. 180, No. 1, pp. 99–110 DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.07.023.
22. Sysoeva M.I., Lavrova V.V., Matveeva E.M., *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN, Serija Jeksperimental'naja biologija*, 2013, № 3, pp. 194–199. (In Russ.).
23. Fotev Y.V., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2018, No. 4, pp. 104–118, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118>. (In Russ.).
24. Kim M.G., Macoy D.M., Lee J.Y., Cha J.Y., Kim W.Y., Interactions between plant immunity, temperature, light, and circadian rhythm, *J. Plant Biochem. Physiol.*, 2021, Vol. 9, Is. 7, No. 1000260, pp. 1–4.
25. Xu X., Yuan L., Xie Q. The circadian clock ticks in plant stress responses, *Stress Biology*, 2022, Vol. 2, pp. 15, <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00040-7>.
26. Sharma M., Bhatt D., Clock–defence cross-talk, *Molecular Plant Pathology*, 2015, Vol. 16, pp. 210–218, <https://doi.org/10.1111/mpp.12178>.
27. Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H. Handbook of seed technology for genebanks., Vol. II: compendium of specific germination information and test recommendation, Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1985, 667 p.
28. Chulkina V.A., Toropova E.Ju., Stecov G.Ja., Kirichenko A.A., Marmuleva E.Ju., Grishin V.M., Kazakova O.A., Seljuk M.P., *Fitosanitarnaja diagnostika agrojekosistem (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems)*, Barnaul: Grafiks, 2017, 210 p.
29. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Jarosh N.P., *Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij (Methods of biochemical research of plants)*, Leningrad: Agropromizdat, 1987, 420 p.
30. Kukushkina T.A., Fomina T.I., *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologija*, 2017, No. 38, pp. 122–133, DOI: 10.17223/19988591/38/7. (In Russ.).
31. Gins M.S., Gins V.K., Kononkov P.F., Bajkov A.A., Pivovarov V.F., Fotev Y.V., Gins E.M., *Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka*, 2019, No. 4, pp. 22–26, DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019422-26>. (In Russ.).
32. Yi J., Li Y., Dai Z., Jia Z., Pu, W., Sun Z., Wang Y., Shen H., Enhanced tolerance to low temperature in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) sprayed with a low-temperature-resistant agent, *Experimental Agriculture*, 2015, Vol. 51, No. 2, pp. 179–190, DOI: 10.1017/S0014479714000210.
33. Liu P., Meng Qw., Zou Q., Zhao S., Liu Q., Effects of cold-hardening on chilling-induced photoinhibition of photosynthesis and on xanthophyll cycle pigments in sweet pepper, *Photosynthetica*, 2001, Vol. 39, pp. 467–472, <https://doi.org/10.1023/A:1015155032135>.
34. Zhao Y., Han Q., Ding C., Huang Y., Liao J., Chen T., Feng S., Zhou L., Zhang Z., Chen Y., Yuan S., Yuan M., Effect of Low Temperature on Chlorophyll Biosynthesis and Chloroplast Biogenesis of Rice Seedlings during Greening, *Int J Mol Sci.*, 2020, Vol. 1921 (4), pp. 1390, DOI: 10.3390/ijms21041390.