

УДК 581.1; 58.056

UDC 581.1; 58.056

**ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
НА СОСТОЯНИЕ ПИГМЕНТНОГО
АППАРАТА ВИНОГРАДА****THE EFFECT OF LOW
POSITIVE TEMPERATURE
ON THE CONDITION OF GRAPES'
PIGMENT APPARATUS**

А. В. Деревинский,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры биологии и методики
преподавания биологии Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;

А. А. Деревинская,
кандидат биологических наук, доцент
кафедры биологии и методики
преподавания биологии Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;

Е. В. Жудрик,
кандидат биологических наук, доцент
кафедры биологии и методики
преподавания биологии Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;

Н. В. Пушкина,
старший научный сотрудник
физико-технической лаборатории
НИУ «Институт ядерных проблем»
БГУ, кандидат биологических наук;

В. Н. Устинов,
научный сотрудник лаборатории
генетических ресурсов плодовых,
орехоплодных культур и винограда,
РУП «Институт пловодства»

A. Derevinskij,
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor
of the Department of General Biology
and Botany of the Belarusian State
Pedagogical University named
after Maxim Tank;

A. Derevinskaya,
PhD in Biology, Associate Professor of the
Department of Biology and Methods of Teaching
Biology of the Belarusian State
Pedagogical University named
after Maxim Tank;

E. Zhudrik,
PhD in Biology, Associate Professor
of the Department of General Biology
and Botany of the Belarusian State
Pedagogical University named
after Maxim Tank;

N. Pushkina,
senior researcher at the physical and
technical laboratory of the National
Research University "Institute of Nuclear
Problems" of BSU, PhD (biology);

V. Ustinov,
researcher at the laboratory of Genetic
resources of fruit, nut crops
and grapes, RUE «Institute
of Fruit Growing»

Поступила в редакцию 29.01.2024.

Received on 29.01.2024.

В статье приведены результаты исследования физиолого-биохимических и генетических механизмов формирования устойчивости винограда к холодному стрессу. Выявлена сортовая специфичность реакций растений винограда на низкие положительные температуры при формировании пигментного аппарата листьев. Установлено, что низкие положительные температуры вызывают существенные изменения процессов светосбора и передачи энергии в реакционные центры фотосинтетических мембран листьев однолетних побегов винограда.

Ключевые слова: пигментный аппарат листьев, виноград, холодный стресс.

The article presents the results of study physiological, biochemical and genetic mechanisms of the grape resistances formation to cold stress. The varietal specificity of the grape plants' reactions to low positive temperatures during the formation of the leaveses pigment apparatus has been revealed. Low positive temperatures have been found to cause significant changes in the light collection and energy transfer processes to the reaction centers of photosynthetic leaf membranes of annual grape shoots.

Keywords: pigment apparatus of leaves, grapes, cold stress.

Введение. Актуальность проблемы холодо- и морозоустойчивости растений для большинства стран Европы в последнее десятилетие постоянно возрастает, т. к. перепады температуры, влажности воздуха и почвы в зимний и весенний

периоды приводят к серьезным повреждениям и снижению урожайности сельскохозяйственных растений [1]. Проблема устойчивости растений к низкотемпературному стрессу имеет и большое природно-экологическое значение, т. к. формиро-

вание адаптаций у растений к разным экологическим условиям – один из факторов, определяющих ареалы их распространения и возможность интродукции [2].

Культура винограда (*Vitis*) характеризуется высокой требовательностью к условиям освещенности и сумме положительных температур в период вегетационного сезона. Вместе с тем она обладает высоким потенциалом адаптации к произрастанию в разных природно-климатических зонах [3, 4].

В последнее десятилетие достигнут значительный прогресс в понимании адаптации культуры винограда к условиям абиотического стресса, вызванного пониженными и отрицательными температурами, засухой, засолением [4; 5]. Ответная реакция растений на изменение температурных условий выращивания является сортовым и видоспецифичным признаком, что может быть связано с их происхождением. Одним из наиболее чувствительных физиологических процессов к изменению температурного фактора является фотосинтез. В условиях гипертермии, например, может наблюдаться ингибирование активности ключевых ферментов фотосинтеза [6; 7], таких, как рибулозобифосфаткарбоксилазы / оксигеназы, нарушается целостность внутренней структуры хлоропластов и, в частности, фотосистемы II, снижается количество фотосинтетических пигментов [14], что и определяет эффективность функционирования фотосинтетического аппарата сельскохозяйственных растений в целом [8].

Среди фотосинтетических пигментов особую роль играют хлорофиллы, принимающие активное участие в преобразовании энергии квантов света в электрохимическую энергию связей в молекулах органических соединений. Руководствуясь данными о количестве хлорофилла, экспериментатор может судить о потенциальных возможностях растений ассимилировать углекислый газ в изменяющихся условиях среды и формировать биологический урожай [8; 9]. В этой связи целью исследования послужило выявление резистентности растений винограда к низким положительным температурам по состоянию пигментного комплекса листьев.

Материалы и методы. Объектами исследования были растения винограда холодоустойчивых сортов Бианка, Кристалл, Маршал Фош, Альфа из ампелографической коллекции РУП «Институт плодородства».

Сорт Альфа – межвидовой гибрид американского происхождения, средних сроков созревания. Используется в технических целях. Урожайность достигает 150–180 ц/га. Сорт Кристалл – межвидовой гибрид евро-амуро-американского происхождения, ранних сроков созревания [5]. Грозди массой 170–200 г. Имеет техническое назначение.

Сорт Бианка – межвидовой гибрид восточно-европейского происхождения, технического на-

значения. Ранних сроков созревания [10]. Грозди массой 90–120 г. Сорт Маршал Фош – франко-американский гибрид [11] ранних сроков созревания. Грозди массой до 120 г, используется в технических целях.

Для исследования отбирали черенки с 1–2 листьями с однолетних побегов первого порядка ветвления, расположенные в средней части кроны растений винограда на XI и XII этапах органогенеза. Опытные растения выращены в ампелографической коллекции РУП «Институт плодородства», поселок Самохваловичи Минской области (Республика Беларусь).

Лабораторные опыты по моделированию низкотемпературного холодового воздействия проводили в лаборатории биофизики и биохимии растительной клетки ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси» при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Договор № Б21-038 от 01.06.2021 года).

Листовые черенки помещали в стеклянные сосуды, заполненные водопроводной водой. Сосуды с черенками ставили в климатическую камеру, с помощью которой моделировали низкотемпературное воздействие на растения. При температуре +4 °С растения находились в камере в течение 24 ч. Продолжительность светового периода составила 18 ч, относительная влажность воздуха – 50 % (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид листовых черенков винограда, помещенных в климатическую камеру

Количество фотосинтетических пигментов в ацетоновых экстрактах определяли по спектрам поглощения на спектрофотометре РВ 2201 Solar (Беларусь) общепринятым методом [12], площадь листьев – весовым методом [12]. Повторность опыта трехкратная. Содержание хлорофиллов и каротиноидов рассчитывали в мкг на г сырой и сухой фитомассы, на единицу листовой поверхности.

Фотохимическую активность фотосистем листьев винограда определяли с помощью метода индукции флуоресценции хлорофилла (PAM-флуориметрии) в сочетании с регистрацией сигнала P700 (реакционного центра фотосистемы I). Параметры индукции флуоресценции Хл определяли с использованием PAM-флуориметра «DUAL-PAM100» (HeinzWalz, Германия) с модулем регистрации флуоресценции ФС II и двухволновым (830/875 нм) модулем регистрации флуоресценции P700 (реакционного центра фотосистемы I) [13]. Перед измерением нативные листья винограда адаптировали к темноте в течение 10 минут.

Статистическую обработку результатов исследований проводили по Б. А. Доспехову [14].

Результаты и их обсуждение. В процессе экспериментальных исследований выявлена сортоспецифичная реакция растений винограда на действие низких положительных температур на разных стадиях органогенеза. У одних сортов это проявляется в повышении содержания фотосинтетических пигментов в реакционных комплексах фотосистем, светособирающих комплексах на более ранних этапах органогенеза и повышении резистентности на более поздних этапах, тогда как у других сортов обнаруживают повышенную резистентность к гипотермии на более ранних этапах органогенеза и большую чувствительность на более поздних этапах развития, связанных с интенсивностью процессов созревания плодов.

Было установлено, что на XI этапе органогенеза пониженные температуры ускоряют процесс синтеза и накопления хлорофиллов и каротиноидов в мембранах тилакоидов хлоропластов (рисунок 2). Так, в контрольных условиях достоверные отличия по содержанию фотосинтетических пигментов Хл *a*, Хл *b*, каротиноидов в листьях сортов винограда Бианка, Кристалл, Маршал Фош, Альфа отсутствуют. Значения Хл *a* находились в пределах $13,3 \pm 1,1 - 19,9 \pm 1,1$ мкг/см² (рисунок 2А); Хл *b* – в пределах $3,6 \pm 0,4 - 4,4 \pm 0,3$ мкг/см² (рисунок 2Б); каротиноидов – в пределах $7,7 \pm 0,7 - 9,5 \pm 0,5$ мкг/см² (рисунок 2В).

После воздействия на растения низкой положительной температурой отличия между сортами винограда по содержанию в листьях фотосинтетических пигментов становятся более выраженными. Количество Хл *a* у растений сорта Маршал Фош увеличивается в среднем в 1,55 раза по сравнению с сортами Альфа, Бианка, Кристалл и достигает значения $27,7 \pm 0,4$ мкг/см². У сортов Альфа, Бианка, Кристалл этот показатель находится в пределах $17,2 \pm 0,9 - 18,4 \pm 0,2$ мкг/см² (рисунок 2А).

Аналогичная закономерность наблюдается по содержанию в листьях Хл *b* и каротиноидов (рисунок 2 Б, В). В случае содержания в листьях каротиноидов этот показатель у сорта Маршал Фош в 1,41 раза больше по сравнению с сортами Альфа, Бианка, Кристалл.

При изучении содержания фотосинтетических пигментов Хл *a*, Хл *b*, каротиноидов в листьях сортов винограда на XII этапе органогенеза существенных отличий между изученными сортами винограда в контрольных условиях также не выявлено (рисунок 3 А, Б, В). Значения Хл *a* находились в пределах $18,8 \pm 1,1 - 26,0 \pm 1,3$ мкг/см² (рисунок 3А); Хл *b* – в пределах $5,6 \pm 0,1 - 7,2 \pm 0,3$ мкг/см² (рисунок 3 Б); каротиноидов находились в пределах $9,6 \pm 0,4 - 12,2 \pm 0,6$ мкг/см² (рисунок 3В).

В условиях опыта в указанную выше фазу отмечены достоверные отличия в 1,8 раза между сортами Кристалл $14,4 \pm 0,4$ и Маршал Фош $25,4 \pm 1,0$ по содержанию Хл *a* (мкг/см²) (рисунок 3А). Сорта Альфа, Кристалл, Бианка достоверных отличий по содержанию в листьях Хл *a* (мкг/см²) достоверных отличий не имели.

Аналогичная закономерность сохраняется по показателям содержания Хл *b*, каротиноидов (мкг/см²) (рисунок 3Б, В). Сорт Маршал Фош превосходит сорт Кристалл по содержанию Хл *b* и каротиноидов (мкг/см²) в среднем 1,45 раза.

Таким образом, пигментный аппарат сортов винограда Бианка, Альфа является наиболее резистентным к действию низких положительных температур на XI и XII этапах органогенеза, сортов Маршал Фош и Кристалл – более чувствительным.

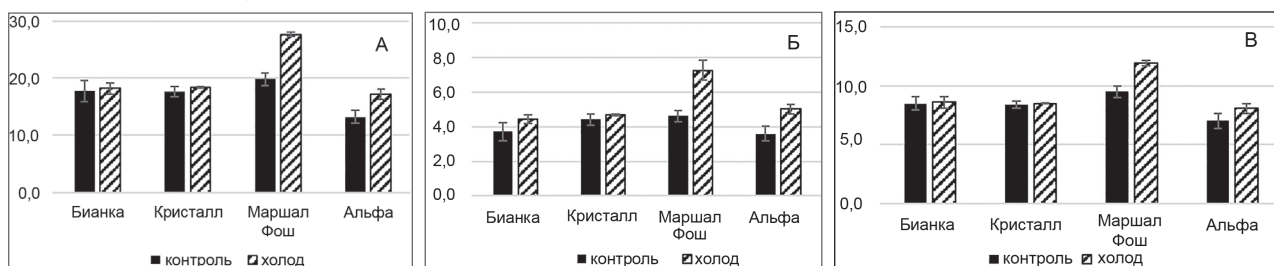


Рисунок 2 – Динамика содержания фотосинтетических пигментов в расчете на единицу площади листовой поверхности (мкг/см²) листьев сортов винограда в условиях низкотемпературного холодового воздействия на XI этапе органогенеза 2021 г.): А – Хл *a*, Б – Хл *b*, В – каротиноиды

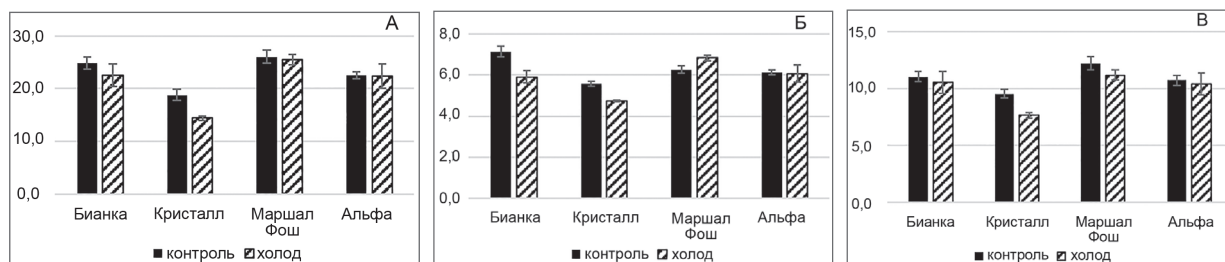


Рисунок 3 – Динамика содержания фотосинтетических пигментов в расчете на единицу площади листовой поверхности ($\text{мкг}/\text{см}^2$) листьев сортов винограда в условиях низкотемпературного холодового воздействия на XII этапе органогенеза 2021 г.): А – Хл а, Б – Хл b, В – каротиноиды

Стрессовые воздействия могут приводить не только к повреждению мембран хлоропластов растений, но и нарушению функционирования фотосистемы II, определяющей процессы фотоллиза воды. В итоге может произойти ингибирование транспорта электронов по электрон-транспортной цепи [15]. Функциональные характеристики фотосинтетического аппарата изучали прижизненно путем регистрации кинетической

кривой индукции флуоресценции Хл а. Анализ этих изменений позволит установить, на каких этапах фотосинтеза происходят нарушения.

Результаты исследования действия низких положительных температур на показатели фотохимической активности мембран хлоропластов в растениях винограда сортов Бианка, Кристалл, Маршал Фош и Альфа представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние холодового стресса на параметры индукции флуоресценции Хл а в листьях винограда на XI этапе органогенеза 2021 г.

Показатели		Название сорта	Бianка	Кристалл	Маршал Фош	Альфа
F_0	Контроль	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,071	0,080	0,081	0,085
		Sx	0,003	0,002	0,005	0,002
	Холод	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,090	0,072	0,082	0,079
		Sx	0,017	0,003	0,011	0,005
F_m	Контроль	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,274	0,298	0,325	0,203
		Sx	0,005	0,016	0,022	0,006
	Холод	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,318	0,311	0,346	0,297
		Sx	0,006	0,007	0,026	0,027
F_v	Контроль	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,743	0,734	0,751	0,584
		Sx	0,012	0,009	0,017	0,003
	Холод	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,716	0,768	0,765	0,734
		Sx	0,050	0,006	0,014	0,008
$F_v : F_m$	Контроль	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,368	0,406	0,432	0,347
		Sx	0,026	0,049	0,068	0,019
	Холод	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,444	0,404	0,452	0,405
		Sx	0,0640	0,024	0,072	0,075

Примечание – F_0 – флуоресценция, исходящая от светособирающего комплекса, F_m – максимальная флуоресценция, F_v – переменная флуоресценция, отношение $F_v : F_m$ – прямая мера оптимальной квантовой эффективности растения.

Таблица 2 – Влияние холодового стресса на параметры индукции флуоресценции Хл а в листьях винограда на XII этапе органогенеза 2021 г.

Показатели		Название сорта	Бianка	Кристалл	Маршал Фош	Альфа
F_0	Контроль	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,087	0,062	0,096	0,089
		Sx	0,009	0,014	0,001	0,011
	Холод	$\Sigma_{\text{ср}}$	0,103	0,104	0,110	0,078
		Sx	0,007	0,005	0,003	0,002

Название сорта			Бианка	Кристалл	Маршал Фош	Альфа
Показатели						
Fm	Контроль	Σср	0,284	0,252	0,322	0,272
		Sx	0,004	0,027	0,019	0,027
	Холод	Σср	0,415	0,370	0,430	0,276
		Sx	0,008	0,011	0,019	0,018
Fv	Контроль	Σср	0,694	0,719	0,700	0,674
		Sx	0,033	0,024	0,017	0,023
	Холод	Σср	0,753	0,720	0,744	0,717
		Sx	0,011	0,014	0,007	0,019
Fv : Fm	Контроль	Σср	0,409	0,350	0,460	0,404
		Sx	0,043	0,102	0,059	0,091
	Холод	Σср	0,552	0,515	0,578	0,384
		Sx	0,026	0,034	0,040	0,066

На XI этапе органогенеза под воздействием низкой положительной температуры в адаптированных к темноте листьях изученных сортов винограда значение фоновой флуоресценции Хл a (F_0) оставалось на уровне контрольных значений. На 16 % повысился показатель максимальной флуоресценции Хл a (Fm) фотосистемы II у растений сорта Бианка. Увеличение параметра Fm указывает на структурные изменения акцепторной или донорной стороны фотосистемы II. Отсутствие изменений показателя Fv : Fm под воздействием гипотермии у всех изученных сортов винограда может свидетельствовать о недостаточной активации дополнительных диссипационных механизмов в условиях эксперимента в указанный период органогенеза.

При изучении процессов светосбора и передачи энергии в реакционные центры фотосинтетических мембран листьев сортов винограда Кристалл, Маршал Фош, Альфа выявлена сходная закономерность, что и на XII этапе органогенеза. Обращает на себя внимание факт увеличения в 1,5 раза показателя максимальной флуоресценции Хл a фотосистемы II у растений сорта Бианка, что может указывать на значительные структурные изменения акцепторной или донорной стороны фотосистемы II в силу чувствительности фотосинтетического аппарата. У сортов Бианка, Кристалл, Маршал Фош, Альфа не выявлены изменения фоновой флуоресценции Хл a , его максимальной флуоресценции, активации дисси-

пационных механизмов под действием низких положительных температур, что может свидетельствовать о резистентности растений.

Заключение. На основании проведенных исследований по выяснению физиолого-биохимических и генетических механизмов формирования устойчивости винограда к холодному стрессу можно сформулировать следующие выводы.

1. Низкая положительная температура +4 °C при экспозиции 24 часа оказывает существенное влияние на процессы формирования пигментного аппарата листьев однолетних побегов сортов винограда Маршал Фош на XI этапе органогенеза сорта Кристалл на XII этапе органогенеза. У сорта Маршал Фош происходит активация процессов синтеза Хл a и Хл b , каротиноидов (мкг/см²) в условиях опыта по сравнению с контрольными условиями на XI этапе органогенеза. На XII этапе органогенеза происходит ингибирование процессов синтеза фотосинтетических пигментов Хл a и Хл b , каротиноидов (мкг/см²) у сорта Кристалл.
2. В условиях низкой положительной температуры +4 °C при длительности воздействия 24 часов наблюдаются значительные структурные изменения акцепторной или донорной стороны фотосистемы II фотосинтетического аппарата листьев однолетних приростов винограда сорта Бианка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моргу́н, В. В. Физиология растений : проблемы та перспективи розвитку / В. В. Моргу́н, П. С. Майор. – Киев : Логос, 2009. – С. 105–165.
2. Трунова, Т. И. Растение и низкотемпературный стресс / Т. И. Трунова // Вісник Харків. національного аграр. ун-ту. Серія : Біологія. – 2008. – Вип. 2 (14). – С. 118–119.
3. Лойко, Р. Э. Технология возделывания винограда в открытом и защищенном грунте / Р. Э. Лойко, С. Ю. Соболев, А. С. Бруйло. – Гродно : ГрГАУ, 2003. – 105 с.
4. Экспресс-оценка стрессоустойчивости интродуцируемых сортов винограда (*Vitis*) по активности окислительно-восстановительных ферментов / Е. Н. Олешук [и др.] // Весці

REFERENCES

1. Morgun, V. V. Fiziologiya roslin : problemi ta perspektivi rozvitku / V. V. Morgun, P. S. Major. – Kiev : Logos, 2009. – S. 105–165.
2. Trunova, T. I. Rastenie i nizkotemperaturnyj stress / T. I. Trunova // Visnik Harkiv. nacional'nogo agrar. un-tu. Seriya : Biologiya. – 2008. – Vip. 2 (14). – S. 118–119.
3. Lojko, R. E. Tekhnologiya vzdelyvaniya vinograda v otkrytom i zashchishchennom grunte / R. E. Lojko, S. Yu. Sobolev, A. S. Brujlo. – Grodno : GrGAU, 2003. – 105 s.
4. Ekspres-ocenka stressoustojchivosti introduciroemyh sortov vinograda (*Vitis*) po aktivnosti okislitel'no-vosstanovitel'nyh fermentov / E. N. Oleshuk [i dr.] // Vesci

- Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2016. – № 4. – С. 33–41.
5. Физиолого-биохимические механизмы адаптации к низкотемпературным стрессам сортов винограда различного эколого-географического происхождения / Н. И. Ненько [и др.] // Садоводство и виноградарство. – 2017. – № 5. – С. 33–38.
 6. Роль генов кальций-зависимых протеинкиназ СРК16, СРК25, СРК30 и срк32 в биосинтезе стилибенов и стрессоустойчивости винограда *Vitis amurensis* RUPR. / А. С. Дубровина [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 391–399.
 7. Hou, L. VvBAP1 is involved in cold tolerance in *Vitis vinifera* L. / L. Hou [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2018. – Т. 9. – P. 726.
 8. Физиологические аспекты формирования фотосинтетического аппарата хлебных злаков, определяющие их продуктивность и устойчивость к внешним воздействиям / М. Т. Чайка [и др.] // Физиология и биохимия культурных растений. – 1995. – Т. 27. – № 1–2. – С. 77–85.
 9. Ничипорович, А. А. Физиология фотосинтеза / А. А. Ничипорович. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
 10. Гусейнов, Ш. Н. Продуктивность сорта винограда Бианка в насаждениях интенсивного типа / Ш. Н. Гусейнов, Б. В. Чигрик, Н. Г. Гордеева // Научные труды ГНУ СКЗНИИСИВ. – Т. 6. – 2014. – С. 162.
 11. Красохина, С. И. Интродуцированный сорт винограда Маршал фош в условиях нижнего Придонья / С. И. Красохина, Н. В. Матвеева // Плодоводство и виноградарство Юга России. – № 65 (5), 2020. – С. 85.
 12. Деревинский, А. В. Морфофизиологические критерии ранней диагностики яблони на продуктивность: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / А. В. Деревинский; Нац. академ. наук – п. Самохваловичи Минской обл., 2005. – 22 с.
 13. Krause, G. H. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics / G. H. Krause, E. Weis // *Annu. Rev. of Plant Physiology a. Plant Molecular Biology*. – 1991. – Vol. 42, iss. 1. – P. 313–349.
 14. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студентов высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. специальностям / Б. А. Доспехов. – Изд. 6-е, стер. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.
 15. Sharkey, T. D. High temperature effects on electron and proton circuits of photosynthesis / T. D. Sharkey, Ru Zhang // *J. of Integrative Plant Biology*. – 2010. – Vol. 52, iss. 8. – P. 712–722.
- Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnyh navuk. – 2016. – № 4. – S. 33–41.
5. Fiziologo-biohimicheskie mekhanizmy adaptacii k nizkotemperaturnym stressam sortov vinograda razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya / N. I. Nen'ko [i dr.] // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. – 2017. – № 5. – S. 33–38.
 6. Rol' genov kal'cij-zavisimyh proteinkinaz CPK16, CPK25, CPK30 i cpk32 v biosinteze stil'benov i stressoustojchivosti vinograda *Vitis amurensis* RUPR. / A. S. Dubrovina [i dr.] // *Prikladnaya biohimiya i mikrobiologiya*. – 2018. – T. 54, № 4. – S. 391–399.
 7. Hou, L. VvBAP1 is involved in cold tolerance in *Vitis vinifera* L. / L. Hou [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2018. – T. 9. – P. 726.
 8. Fiziologicheskie aspekty formirovaniya fotosinteticheskogo apparata hlebnyh zlakov, opredelyayushchie ih produktivnost' i ustojchivost' k vneshnim vozdeystviyam / M. T. Chajka [i dr.] // *Fiziologiya i biohimiya kul'turnyh rastenij*. – 1995. – T. 27. – № 1–2. – S. 77–85.
 9. *Nichiporovich, A. A. Fiziologiya fotosinteza* / A. A. Nichiporovich. – M.: Nauka, 1982. – 316 s.
 10. *Gusejnov, Sh. N. Produktivnost' sorta vinograda Bianka v nasazhdeniyah intensivnogo tipa* / Sh. N. Gusejnov, B. V. Chigrik, N. G. Gordeeva // *Nauchnye trudy GNU SKZNIISIV*. – T. 6. – 2014. – S. 162.
 11. *Krasohina, S. I. Introdutsirovannyj sort vinograda Marshal fosh v usloviyah nizhnego Pridon'ya* / S. I. Krasohina, N. V. Matveeva // *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. – № 65 (5), 2020. – S. 85.
 12. *Derevinskij, A. V. Morfofiziologicheskie kriterii rannej diagnostiki yabloni na produktivnost'*: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk: 06.01.05 / A. V. Derevinskij; Nac. akadem. nauk – p. Samohvalovichi Minskoj obl., 2005. – 22 s.
 13. *Krause, G. H. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics* / G. H. Krause, E. Weis // *Annu. Rev. of Plant Physiology a. Plant Molecular Biology*. – 1991. – Vol. 42, iss. 1. – P. 313–349.
 14. *Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)*: ucheb. dlya studentov vyssh. s.-h. ucheb. zavedenij po agronom. special'nostyam / B. A. Dospekhov. – Izd. 6-e, ster. – M.: Al'yans, 2011. – 350 s.
 15. *Sharkey, T. D. High temperature effects on electron and proton circuits of photosynthesis* / T. D. Sharkey, Ru Zhang // *J. of Integrative Plant Biology*. – 2010. – Vol. 52, iss. 8. – P. 712–722.