

DOI

УДК 635.21:631.524.85:581.1

## **СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ КАК КОСВЕННЫЙ ПРИЗНАК УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ К ВЫСОКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ ВОЗДУХА И НЕДОСТАТОЧНОМУ УВЛАЖНЕНИЮ**

**Бакунов Алексей Львович**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Самарский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН.

446254, Самарская область, п.г.т. Безенчук, ул. К. Маркса, 41.

E-mail: bac24@yandex.ru

**Милехин Алексей Викторович**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Самарский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН.

446254, Самарская область, п.г.т. Безенчук, ул. К. Маркса, 41.

E-mail: samniish@mail.ru

**Рубцов Сергей Леонидович**, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, Самарский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН.

446254, Самарская область, п.г.т. Безенчук, ул. К. Маркса, 41.

E-mail: samniish@mail.ru

**Шевченко Сергей Николаевич**, д-р с.-х. наук, академик РАН, директор Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН.

446254, Самарская область, п.г.т. Безенчук, ул. К. Маркса, 41.

E-mail: samniish@mail.ru

**Ключевые слова:** картофель, жароустойчивость, засухоустойчивость, пигменты, урожайность.

*Цель исследований – повышение урожайности картофеля в засушливых условиях Среднего Поволжья. Исследования проводились на опытном поле Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН. Питомник сортоиспытания включал 28 сортов картофеля отечественной селекции. Стандартами являлись сорта Удача, Жигулевский, Ароза и Гала. Опытный материал высаживался в двух повторностях по 25 растений в каждой. Для определения содержания фотосинтетических пигментов готовили вытяжки из десяти листовых пластинок растений картофеля каждого сорта в 100% ацетоне. Измерения проводили методом спектрофотометрии. Для измерения количества хлорофилла **a** использовалась длина волны 665 нм, хлорофилла **b** – 649 нм, каротиноидов – 440 нм. Концентрацию пигментов определяли по формулам Веттштейна. При уборке учитывали урожайность картофеля. Концентрация хлорофилла **a** в среднем по изученным сортам составила 0,92 мг/г, средняя концентрация хлорофилла **b** – 0,62 мг/г, средняя концентрация каротиноидов – 0,27 мг/г. Идентифицированы сорта картофеля с высокой концентрацией фотосинтетических пигментов. Выявлена достоверная средняя зависимость урожайности сортов картофеля от концентрации в растениях хлорофилла **b**. Коэффициент корреляции составил 0,42. Достоверной зависимости урожайности от концентрации хлорофилла **a** и каротиноидов не установлено. Продуктивность картофеля связана достоверной отрицательной зависимостью с соотношением концентраций хлорофиллов **a** и **b**. Большинство высокопродуктивных сортов характеризовались высоким содержанием двух разновидностей хлорофилла. Высокую концентрацию хлорофилла **b** или минимальное соотношение концентраций хлорофиллов **a** и **b** предварительно можно рекомендовать как косвенный показатель для выявления сортов картофеля, высоко адаптированных к повышенным температурам воздуха и недостаточному увлажнению.*

## **PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT AS A CONSEQUENTIAL RESISTANCE SIGN OF POTATO VARIETIES TO HIGH TEMPERATURE AND MOISTURE LACK**

**A. L. Bakunov**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Samara Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of Samara Research Center of Russian Academy of Sciences.

446251 Russia, Samara region, Bezenchuk, K. Marx street, 41.

E-mail: bac24@yandex.ru

**A. V. Milekhin**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Samara Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of Samara Research Center of Russian Academy of Sciences.

446251 Russia, Samara region, Bezenchuk, K. Marx street, 41.

E-mail: samniish@mail.ru

**S. L. Rubtsov**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Samara scientific research Institute of agriculture – branch of the Samara research center of the Russian Academy of Sciences.

446251 Russia, Samara region, Bezenchuk, K. Marx street, 41.

E-mail: samniish@mail.ru

**S. N. Shevchenko**, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of RAS, Director of Samara Scientific Research Institute of Agriculture – branch of the Samara research center of the Russian Academy of Sciences.

446251 Russia, Samara region, Bezenchuk, K. Marx street, 41.

E-mail: samniish@mail.ru

**Keywords:** potatoes, heat resistance, xerophytism, pigments, yield.

The aim of the research is increasing potato yield in dry conditions of the Middle Volga region. The research was carried out on the experimental field of the Samara Scientific Research Institute of Agriculture – branch of the Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences. The variety testing plant nursery included 28 varieties of potatoes of domestic selection. Udacha, Zhigulevsky, Arosa and Gala breeds were the standard varieties. The plant material was planted out in two replications with 25 plants in each. To determine the content of photosynthetic pigments, extracts were prepared from ten potato leaves of each breed in 100% acetone. Measurements were performed by spectrophotometry. To measure the amount of chlorophyll **a**, the wavelength of 665 nm, chlorophyll **b** – 649 nm, and carotenoids – 440 nm were used. The concentration of pigments was determined by using Wettstein formulas. When harvesting, the potato yield was taken into account. The average concentration of chlorophyll **a** in the studied breeds was 0.92 mg/g, the average concentration of chlorophyll **b** was 0.62 mg/g, and one of carotenoids was 0.27 mg/g. Potato breeds with high concentration of photosynthetic pigments were identified. A reliable average dependence of the yield of potato breeds on the concentration of chlorophyll **b** in plants was revealed. The correlation coefficient was 0.42. There is no reliable dependence tested of yield on the concentration of chlorophyll **a** and carotenoids. Potato productivity is associated with a significant negative relationship with the ratio of both **a** and **b** chlorophyll concentrations. The most highly productive varieties were characterized by a high content of two varieties of chlorophyll. A high concentration of chlorophyll **b** or a minimum ratio of chlorophyll **a** and **b** concentrations can be tentatively recommended as a consequential sign for identifying potato breeds that are highly adapted to high air temperature and insufficient moisture.

Картофель – культура весьма требовательная к влажности почвы и температурному режиму выращивания. Высокая температура воздуха и недостаточное увлажнение существенно снижают урожайность картофеля и являются одними из важнейших лимитирующих факторов, которые отрицательно влияют на рост и развитие растений и на процесс накопления товарного урожая. Постепенное потепление климата приводит к тому, что указанные условия все чаще отмечаются в период вегетации картофеля во всех регионах России. Это, в свою очередь, способствует массовому распространению вирусных заболеваний картофеля, увеличению их вредоносности, а, следовательно, еще более значительному снижению урожайности культуры.

Оптимальный подбор сортифта для каждого конкретного региона является одним из основных факторов, определяющих повышение урожайности и качества как продовольственного, так и семенного картофеля. Для этого в производстве должны использоваться сорта, сочетающие высокую адаптивность к абиотическим факторам среды с устойчивостью или иммунитетом к патогенным организмам. В настоящее время количества отечественных сортов картофеля, обладающих подобными характеристиками, недостаточно.

В связи с этим актуальность приобретает комплексная оценка новых сортов и гибридного материала картофеля различных селекционных учреждений на устойчивость к вирусным заболеваниям, жароустойчивость и устойчивость к недостаточному увлажнению на жестком естественном фоне. Актуальным является поиск косвенных признаков, характеризующих устойчивость того или иного генотипа к высоким температурам воздуха и засухе.

Пигментный комплекс растения является сложной системой, которая реагирует на изменения условий внешней среды и адаптируется к ним в пределах наследственно закрепленной программы [1].

Количество фотосинтетических пигментов характеризует онтогенетические особенности растений и отражает реакцию растения на условия выращивания. Содержание в растениях хлорофиллов и каротиноидов является одним из важнейших биохимических показателей реакции растений на изменение условий выращивания [2]. Так, повышенные концентрации фотосинтетических пигментов обеспечивают лучшую адаптацию меристемных растений картофеля к нестерильным условиям выращивания *in vivo* за счет быстрого и стабильного перехода к автотрофному питанию [3]. Сравнительным анализом сортов картофеля Матушка, Теща и Батя по анатомо-морфологическим, физиологическим признакам и продуктивности установлено, что урожайность картофеля зависит от структуры фотосинтетического аппарата и интенсивности физиологических процессов [4].

**Цель исследований** – повышение урожайности картофеля в засушливых условиях Среднего Поволжья.

**Задачи исследований** – выявить косвенные признаки, характеризующие устойчивость различных генотипов картофеля к высоким температурам воздуха и недостаточному увлажнению; определить содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях растений сортов картофеля различного генетического и географического происхождения, выращиваемых в условиях недостаточного увлажнения и на высоком естественном инфекционном фоне; установить корреляционную зависимость урожайности сортов картофеля от содержания в листьях фотосинтетических пигментов.

**Материал и методы исследований.** Исследования проводились на опытном поле Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН. В 2019 году первая половина вегетационного периода картофеля отличалась высокой температурой воздуха и малым количеством осадков. Со второй декады мая по первую декаду июля включительно выпало 18,8 мм осадков при норме 99 мм.

Среднесуточная температура воздуха в этот период составила 19,6°C при среднем многолетнем значении 18,4°C, максимальная дневная температура воздуха в третьей декаде июня достигала 35,3°C. В период полного цветения и нарастания массы клубней произошло снижение температуры воздуха.

Средняя температура воздуха второй и третьей декад июля и первой декады августа была несколько ниже многолетних значений, во второй декаде июля и первой декаде августа отмечались обильные осадки (49,3 и 29,4 мм соответственно). Указанные факторы благоприятно сказались на продуктивности большинства изученных сортов картофеля.

Питомник сортоиспытания включал 28 сортов отечественной селекции. Стандартами являлись сорта Удача, Жигулевский, Ароза и Гала. Опытный материал высаживался в двух повторностях, количество растений в повторности – 25.

Учеты урожайности проводили согласно методическим указаниям по технологии селекционного процесса картофеля [5], методическим указаниям по экологическому сортоиспытанию картофеля [6].

Для определения содержания фотосинтетических пигментов готовили вытяжки из десяти листовых пластинок каждого сорта картофеля в 100% ацетоне. Измерения проводили методом спектрофотометрии. Для измерения количества хлорофилла *a* использовали длину волны 665 нм, хлорофилла *b* – 649 нм, каротиноидов – 440 нм. Концентрацию пигментов определяли по формулам Веттштейна [7].

Обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного анализа [8].

**Результаты исследований.** Основным показателем, характеризующим адаптированность сорта картофеля к агроэкологическим условиям выращивания, в том числе к высокой температуре воздуха и недостаточному увлажнению, является урожайность. В процессе исследований был проведен корреляционный анализ зависимости урожайности от содержания в листовых пластинах хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов для выявления возможности использовать концентрацию

фотосинтетических пигментов как косвенный признак определения жароустойчивости и засухоустойчивости различных генотипов картофеля.

Концентрация хлорофилла *a* в среднем по изученным сортам составила 0,92 мг/г сухой массы и варьировала в пределах 0,72-1,18 мг/г с коэффициентом вариации 12,4%. При этом максимальное содержание указанного пигмента выявлено в растениях сортов Сиверский (1,18 мг/г), Захар (1,16 мг/г), Гала (1,09 мг/г), Эликсред (1,08 мг/г), Легенда (1,07 мг/г), Садон (1,06 мг/г), а минимальной концентрацией *Chl a* характеризовались сорта Дебют (0,72 мг/г), Красавчик (0,77 мг/г), Утро (0,77 мг/г), Калибр и Удача (по 0,79 мг/г) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика сортообразцов картофеля по содержанию фотосинтетических пигментов и урожайности, 2019 г.

Сорт	Концентрация фотосинтетических пигментов, мг/г			Урожайность, т/га
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
Барин	0,85	0,59	0,27	18,8
Варяг	1,01	0,67	0,30	25,1
Гранд	1,04	0,77	0,19	23,2
Дебют	0,72	0,43	0,23	32,4**
Краса Мещеры	0,95	0,68	0,29	31,9**
Корчма	1,04	0,68	0,28	22,5
Красавчик	0,77	0,59	0,27	25,6
Кумач	0,99	0,67	0,30	26,2
Купец	0,93	0,55	0,29	17,7
Призер	0,88	0,60	0,26	18,3
Садон	1,06	0,72	0,28	32,0**
Северное Сияние	0,81	0,59	0,23	17,6
Сигнал	0,89	0,57	0,25	26,8
Третьяковка	0,88	0,57	0,28	17,0
Утро	0,77	0,52	0,28	35,1*
Эликсред	1,08	0,67	0,29	23,2
Калибр	0,79	0,54	0,26	19,3
Сердолик	1,01	0,68	0,30	27,3
Сиверский	1,18	0,89	0,37	40,0*
Сударыня	0,82	0,59	0,26	32,8**
Аляска	0,92	0,69	0,26	39,5*
Терра	0,95	0,56	0,29	17,7
Нальчикский	0,88	0,57	0,27	18,4
Юбиляр	0,85	0,53	0,22	13,9
Удача, ст.	0,79	0,56	0,23	24,8
Ароза, ст.	0,90	0,54	0,27	22,2
Гала, ст	1,09	0,69	0,27	25,1
Жигулевский, ст.	0,94	0,75	0,29	28,0
HCP <sub>05</sub>				6,2
V%	12,4	15,1	12,2	27,6

Примечание. \* – достоверное превышение всех стандартов, \*\* – достоверное превышение по урожайности трех стандартов, кроме сорта Жигулевский.

Средняя концентрация хлорофилла *b* у изученных сортов была 0,62 мг/г сухой массы. Признак варьировал в пределах 0,43-0,89 мг/г с коэффициентом вариации 15,1%. Высокая концентрация *Chl b* выявлена у сортов Сиверский (0,89 мг/г), Гранд (0,77 мг/г), Захар (0,76 мг/г) и Садон (0,72 мг/г), а минимальной концентрацией пигмента характеризовались растения сортов Дебют (0,43 мг/г), Утро (0,52 мг/г), Юбиляр (0,53 мг/г) Калибр и Ароза (по 0,54 мг/г) (табл. 1).

Концентрация каротиноидов в среднем по сортам составила 0,27 мг/г сухой массы и варьировала от 0,19 до 0,37 мг/г с коэффициентом вариации 12,2%. Максимальная концентрация каротиноидов выявлена у сортов Сиверский (0,37 мг/г), Варяг, Кумач и Сердолик (по 0,30 мг/г). Низким содержанием каротиноидов характеризовались сорта Гранд (0,19 мг/г), Юбиляр (0,22 мг/г), Дебют, Северное сияние и Удача (по 0,23 мг/г). Анализ корреляционных связей между концентрацией фотосинтетических пигментов в листовых пластинах различных сортов картофеля и урожайностью

выявил достоверную среднюю зависимость урожайности от концентрации хлорофилла *b*. Коэффициент корреляции составил 0,42. Достоверной зависимости урожайности от концентрации хлорофилла *a* и каротиноидов не установлено (коэффициенты корреляции соответственно 0,19 и 0,34) (табл. 2). Однако листовая материал большинства сортов с высокой урожайностью отличался высокой концентрацией хлорофиллов *a* и *b*. Сорт Сиверский характеризовался максимальной урожайностью (40 т/га) и максимальными показателями концентрации *Chl a* и *Chl b* (1,18 и 0,89 мг/г соответственно). У высокопродуктивных сортов Аляска, Садон и Краса Мещеры содержание хлорофиллов *a* и *b* также было существенно выше среднего показателя, сорта Дебют, Сударыня и Утро отличались высокой концентрацией только хлорофилла *b*.

Таблица 2

Матрица коэффициентов корреляции между концентрациями различных фотосинтетических пигментов и урожайностью сортов картофеля

Признаки	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
Хлорофилл <i>a</i>	-		
Хлорофилл <i>b</i>	0,78**	-	
Каротиноиды	0,53**	0,47*	-
Урожайность	0,19	0,42*	0,34

Примечание. \* – достоверно на уровне 5%; \*\* – достоверно на уровне 1%.

Соотношение между содержанием хлорофиллов *a* и *b* может характеризовать потенциальную фотосинтетическую активность растений, а значит и их уровень адаптации к стрессовым абиотическим факторам [9]. Этот критерий варьировал у различных сортов картофеля в пределах 1,25-1,69, при этом его корреляция с продуктивностью сортов была достоверно отрицательной, коэффициент корреляции составил –0,43. Следовательно, чем выше концентрация хлорофилла *b*, тем меньше отношение *Chl a/Chl b* и выше урожайность. У наиболее продуктивных сортов Сиверский и Аляска соотношение *Chl a* и *Chl b* составило 1,32 и 1,33 при урожайности 40,0 и 39,5 т/га. При этом у сортов с низкой урожайностью отношение *Chl a/Chl b* находилось в пределах 1,5-1,7 (сорт Юбиляр – 13,4 т/га и 1,60; сорта Купец и Терра 17,7 т/га и 1,69; сорт Третьяковка 17,0 т/га и 1,54).

Установлены достоверные положительные корреляционные зависимости между содержанием в листьях растений исследованных сортов картофеля хлорофилла *a* и хлорофилла *b* ( $r = 0,78$ ), содержанием хлорофилла *a* и каротиноидов ( $r = 0,53$ ), хлорофилла *b* и каротиноидов ( $r = 0,47$ ).

**Заключение.** В агроэкологических условиях 2019 года на опытном поле Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН показаны достоверная положительная корреляция концентрации в растениях хлорофилла *b* с урожайностью картофеля ( $r = 0,42$ ) и положительная тенденция к высокой концентрации хлорофилла *a* у наиболее продуктивных сортов. По предварительным данным можно рекомендовать высокие показатели концентрации хлорофилла *b* или минимальное отношение хлорофиллов *a* и *b* в качестве косвенных признаков для выявления высоко адаптированных к повышенным температурам воздуха и недостаточному увлажнению сортов картофеля.

Статья подготовлена в рамках подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля».

#### Библиографический список

1. Мякишева, Е. П. Влияние качества света на содержание фотосинтетических пигментов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro* / Е. П. Мякишева, Г. Г. Соколова // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – Т. 2, №3. – С. 46-49.
2. Карначук, Р. А. Фоторегуляция роста и продуктивности растений картофеля при размножении *in vitro* / Р. А. Карначук, В. Ю. Дорофеев, Ю. В. Медведева // Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий : материалы докладов VII Съезда Общества физиологов растений России. – Н. Новгород, 2011. – С. 10-11.
3. Астахова, Н. В. Длительное микроклональное размножение растений картофеля изменяет морфометрические характеристики хлоропластов / Н. В. Астахова, А. Н. Дерябин, М. С. Синькевич, Т. И. Трунова // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира : материалы II Всероссийской науч.-практ. конф. – Волгоград, 2010.

4. Беляева, А. О. Мезоструктура фотосинтетического аппарата различных сортов картофеля / А. О. Беляева, С. А. Солдатов, Г. А. Карпова, В. Н. Хрянин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – №1 (17). – С. 50-57.
5. Симаков, Е. А. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля / Е. А. Симаков, Н. П. Складорова, И. М. Яшина. – М., 2006. – 37 с.
6. Методические указания по экологическому сортоиспытанию картофеля. – М. : Всероссийский НИИ картофельного хозяйства, 1982. – 14 с.
7. Трифонов, С. В. Определение содержания основных пигментов фотосинтетического аппарата в листьях высших растений : методические указания. – Красноярск, 2011.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта. – М. : Колос, 1985. – 351 с.
9. Калинина, А. В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы / А. В. Калинина, С. В. Ляцева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, №2 (2). – С. 286-290.

#### References

1. Myakisheva, E. P., & Sokolova, G. G. (2014). Vliianiie kachestva sveta na sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov kartofelia (*Solanum tuberosum* L.) v kulture *in vitro* [Influence of light quality on the content of photosynthetic pigments of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in *in vitro* culture]. *Izvestiia Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta – Izvestiya of Altai State University*, 3, 2, 46-49 [in Russian].
2. Karnachuk, R. A., Dorofeev, V. Yu., & Medvedeva, Yu.V. (2011). Fotoreguliaciia rosta i produktivnosti rasteni i kartofelia pri razmnozenii *in vitro* [Photoregulation of growth and productivity of potato plants during reproduction *in vitro*] // *Plant physiology – the fundamental basis of ecology and innovative biotechnologies '11: materialy dokladov VII Sjezda Obshchestva fiziologov rastenii Rossii –materials of reports of the VII Congress of the society of plant physiologists of Russia*. (pp. 10-11). N. Novgorod [in Russian].
3. Astakhova, N. V., Deryabin, A. N., Sinkevich, M. S., & Trunova, T. I. (2010). Dlitelinoe mikroklona i inoe razmnozenie rastenii kartofelia izmeneniia et morfometricheskie harakteristik i hloroplastov [Long-term microclonal reproduction of potato plants changes the morphometric characteristics of chloroplasts]. *Biotechnology as a tool for preserving the biodiversity of the plant world '10: materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii – materials of the II All-Russian scientific and practical conference*. Volgograd [in Russian].
4. Belyaeva, A. O., Soldatov, S. A., Karpova, G. A., & Khryanin, V. N. (2017). Mezostrukturna fotosinteticheskogo apparata razlichnikh sortov kartofelia [Mesostructure of photosynthetic apparatus of various potato varieties]. *Izvestiia visshih uchebnikh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennie nauki – University proceedings. Volga region. Natural sciences*, 1 (17), 50-57 [in Russian].
5. Simakov, E. A., Sklyarova N. P., & Yashina I. M. (2006). Metodicheskie ukazaniia po tekhnologii i selekcionnogo processa kartofelia [Methodical instructions on the technology of potato selection process]. Moscow [in Russian].
6. Metodicheskie ukazaniia po ekologicheskomu sortoispitaniiu kartofelia. [Guidelines for ecological potato variety testing] (1982). Moscow: All-Russian research Institute of potato farming [in Russian].
7. Trifonov, S. V. (2011). Opredelenie sodержaniia osnovnikh pigmentov fotosinteticheskogo apparata v listiiakh visshih rastenii [Determination of the content of the main pigments of the photosynthetic apparatus in the leaves of higher plants]. Krasnoyarsk [in Russian].
8. Dospekhov, B. A. (1985). Metodika polevogo opita [Method of field experience]. Moscow: Kolos [in Russian].
9. Kalinina, A.V., & Lyashcheva, S. V. (2018). Sostav i sodержanie pigmentov fotosinteza v listiiakh prorstkov ozimoi miagkoi pshenici. [Composition and content of photosynthesis pigments in the leaves of winter wheat seedlings]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk – Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 20, 2 (2), 286-29 [in Russian].