

УДК 574/577 +633.491

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРЕССОВЫХ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

© 2023 г. О. А. Розенцвет<sup>1</sup>, Е. С. Богданова<sup>1,\*</sup>, В. Н. Нестеров<sup>1</sup>, А. Л. Бакунов<sup>2</sup>, А. В. Милехин<sup>2</sup>, С. Л. Рубцов<sup>2</sup>, Н. Н. Дмитриева<sup>2</sup>, академик РАН С. Н. Шевченко<sup>3</sup>

Поступило 23.06.2022 г.  
После доработки 15.07.2022 г.  
Принято к публикации 15.07.2022 г.

Исследованы 24 сорта картофеля (*Solanum tuberosum* L.) различных групп спелости (раннеспелые, среднеранние и среднеспелые). Картофель выращивали в условиях Среднего Поволжья России в период 2019–2021 гг. С помощью статистических методов установлено, что урожайность раннеспелых и среднеспелых сортов отрицательно связана ( $R = -0.97$ ,  $p = 0.04$ ) со среднесуточной температурой воздуха в вегетационный период. Содержание влаги в почве на глубине 20 см положительно коррелировало с урожайностью среднеранних сортов ( $R = 0.97$ ,  $p = 0.04$ ). Средний вес клубня у раннеспелых сортов оказался чувствительным к росту средних температур ( $R = -0.95$ ,  $p = 0.04$ ). Повышение содержания влаги в почве благоприятно отразилось на среднем весе клубня ( $R = 0.98$ ,  $p = 0.04$ ) у среднеранних и среднеспелых сортов. Содержание влаги в почве имело отрицательную взаимосвязь с количеством клубней у среднеспелых сортов ( $R = -0.96$ ,  $p = 0.05$ ).

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum*, засушливый климат, урожайность

**DOI:** 10.31857/S2686738922700019, **EDN:** MTKRVX

Картофель — одна из основных сельскохозяйственных культур, которая играет важную роль в питании людей и обеспечении продовольственной безопасности многих стран мира [1]. Картофель традиционно классифицируется как холодостойкая культура [2]. Эффективным диапазоном температур воздуха для роста его надземной массы является 18–25°C, а оптимальная температура почвы для роста клубней составляет 17–19°C [3]. Повышенный температурный режим и дефицит влаги формируют стрессовые условия, как на стадии всходов, так и клубнеобразования [4]. При тепловом стрессе снижается фотосинтетическая активность [5], замедляются рост и развитие надземной массы [6, 7], подавляются формирование и развитие клубней [8]. Картофель чувствителен

также к засухе из-за неглубокого залегания корневой системы в почве [9, 10]. Дефицит влаги, часто возникающий при тепловом стрессе, также замедляет рост надземной массы [11], укорачивает цикл роста [12] и уменьшает количество [13] и массу клубней [4, 14]. Таким образом, такие абиотические факторы, как высокие температуры воздуха, водный дефицит, засуха, могут привести к резкому снижению экономической урожайности картофеля.

Неблагоприятные последствия стресса можно смягчить путем создания сельскохозяйственных культур с повышенной устойчивостью при использовании различных генетических или биотехнологических подходов [4, 7]. Это предполагает глубокое понимание физиолого-биохимических особенностей данной культуры в целом, а также отдельных групп и генотипов [15]. Цель настоящего исследования состояла в изучении влияния условий вегетации картофеля на урожайность отечественных сортов различных групп спелости.

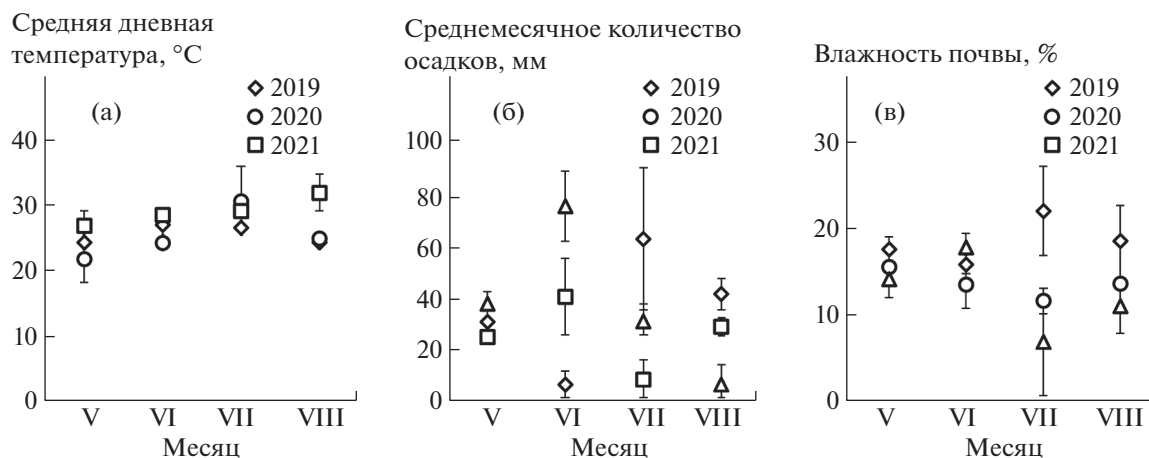
Объекты исследования: раннеспелые сорта — Барин, Корчма, Купец, Терра, Удача; среднеранние — Гранд, Дебют, Калибр, Красавчик, Нарымская ночка, Краса Мещеры, Сердолик, Сударыня, Третьяковка, Эликсред; среднеспелые — Августин, Брусника, Варяг, Жигулевский, Кумач,

<sup>1</sup> Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук, Тольятти, Россия

<sup>2</sup> Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова, Безенчук, Россия

<sup>3</sup> Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самара, Россия

\*e-mail: cornales@mail.ru



**Рис. 1.** Динамика средних температур воздуха (а), осадков (б) и содержания влаги в почве (в) в вегетационный период картофеля в течение 2019–2021 гг.

Северное сияние, Сиверский, Сигнал, Утро. Исследования проводили в Самарском НИИСХ — филиале СамНЦ РАН в период 2019–2021 гг. Полевые опыты закладывали в севообороте (предшественник пшеница яровая) при обычной агротехнике без внесения удобрений и дополнительного орошения. Опытный материал высаживали в питомнике сортоиспытания в четырех повторностях. Количество растений в повторности — 50. Посадку проводили в первой-второй декадах мая, уборку осуществляли одновременно для всех сортов в первой декаде сентября. Урожайность каждого сорта оценивали по массе клубней с одного растения (г), количеству клубней на одно растение (шт.) и общей урожайности (т/га). В таблице результаты представлены в виде средних значений параметра (Mean) для каждой группы растений и их стандартных ошибок (SE). Сравнение количественных характеристик данных проводили с использованием дисперсионного анализа (One-way ANOVA) с последующим использованием критерия Тьюки для сравнения средних значений.

Погодные условия в период проведения исследований в течение трех лет различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков (рис. 1). Среднесуточная температура воздуха в период от полных всходов до начала отмирания ботвы картофеля в 2019 и 2020 г. составляла 26°C, а в 2021 г. увеличилась до 29°C. Самыми жаркими месяцами были: июнь в (2019 г.), июль (2020 г.), август (2021 г.) (27, 31 и 32°C соответственно) (рис. 1а). В отдельные дни температура воздуха ( $T_{max}$ ) достигала 33°C (июнь 2019 г.) и 36°C (июль 2020 г.). Количество осадков было неравномерным в течение одного вегетационного сезона и в разные годы исследований. Так, в периоды завязывания клубней и нарастания их массы наибольшее количество осадков отмечали в 2021 г., а наи-

меньшее — в 2019 г. (рис. 1б). Вегетационный период 2019 г. отличался большим количеством осадков, выпавших в июле. Погодные условия отразились на содержании влаги в почве в разные периоды исследований, которая составляла от 5 до 23% от сырого веса почвы (рис. 1в).

Средние значения урожайности сортов картофеля в разных группах спелости варьировали в интервале 14.2–25.7 т/га. Наиболее высокие показатели урожайности отмечены в 2019 г. (табл. 1). Наблюдалось снижение урожайности картофеля всех групп спелости к 2021 г. Для ранних сортов потери урожая составили 13%, для среднеранней и среднеспелой групп потери достигали 32–43%. Во всех группах спелости отмечали снижение массы клубней и увеличение их числа. Установлено, что урожайность (т/га) раннеспелых и среднеспелых сортов отрицательно взаимосвязана ( $R = -0.95$ ,  $p = 0.04$ ;  $R = -0.97$ ,  $p = 0.04$  соответственно) с ростом среднесуточной температуры воздуха в вегетационный период. Содержание влаги в почве на глубине 20 см положительно коррелировало с урожайностью среднеранних сортов ( $R = 0.97$ ,  $p = 0.04$ ). Повышение содержания влаги в почве благоприятно отразилось на среднем весе клубня ( $R = 0.98$ ,  $p = 0.04$ ), особенно у генотипов среднеранней и среднеспелой групп.

Для визуализации взаимосвязи урожайности картофеля с гидротермическими условиями и возможного прогнозирования урожайности были построены экспериментальные модели, в которых данные интерпретируются в виде триплета значений, отложенных на XYZ-осях (рис. 2). Согласно полученным данным рост температурных аномалий ( $T_{max}$ ) отрицательно влияет на урожайность ранних сортов картофеля (рис. 2а). При этом влажность почвы оказывает меньшее влияние на продуктивность этой группы, чем флукту-

**Таблица 1.** Компоненты урожайности картофеля разных групп спелости в период 2019–2021 гг.

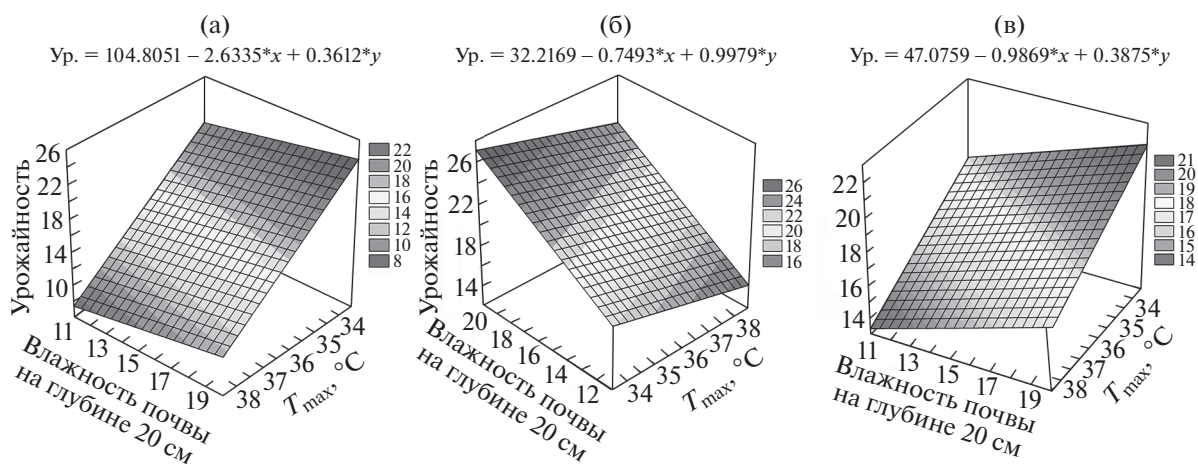
Сорт	Кол-во клубней на 1 растение			Средний вес клубней, г			Урожайность, т/г		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
раннеспелые ( $n = 5$ )	$5.0 \pm 0.8$	$6.3 \pm 1.1$	$7.0 \pm 0.8$	$108.9 \pm 16.1$	$74.2 \pm 15.3$	$54.8 \pm 12.0$	$21.2 \pm 2.7$	$21.8 \pm 3.7$	$18.4 \pm 4.8$
среднеранние ( $n = 10$ )	$6.8 \pm 2.0$	$6.5 \pm 0.5$	$6.7 \pm 2.0$	$96.8 \pm 13.6$	$70.3 \pm 9.3$	$48.2 \pm 9.5$	$25.7 \pm 6.1$	$20.8 \pm 3.2$	$14.6 \pm 4.4$
среднеспелые ( $n = 9$ )	$5.7 \pm 1.9$	$6.7 \pm 1.5$	$7.1 \pm 0.9$	$89.4 \pm 6.1$	$59.8 \pm 7.0$	$43.7 \pm 11.5$	$20.9 \pm 7.9$	$19.0 \pm 3.7$	$14.2 \pm 4.1$

ации температуры. Противоположное направление угла наклона плоскости в 3D модели среднеранних сортов в сравнении с раннеспелыми и среднеспелыми свидетельствует о том, что генотипы этой группы картофеля более чувствительны к содержанию влаги в почве и менее зависимы от температурных аномалий (рис. 2б). Так, больший угол образуется по осям, характеризующим содержание влаги в почве и урожайность, а меньший угол – по осям  $T_{max}$  и урожайность. Сорта среднеспелой группы по характеру зависимостей были похожи на группу раннеспелых сортов, однако влажность почвы оказывала большее влияние на их продуктивность в сравнении с раннеспелыми сортами (рис. 2в). Можно полагать, что в условия Среднего Поволжья России раннеспелые отечественные сорта являются более адаптированными.

Урожайность клубней картофеля – сложный количественный признак, который зависит от ряда внешних и внутренних признаков [5, 14]. Оптимальной температурой для европейских сортов картофеля является  $20^{\circ}\text{C}$ , а каждое повышение на  $5^{\circ}\text{C}$  приводит к снижению скорости фотосинтеза и снижению урожайности примерно на 25%, а

при  $35^{\circ}\text{C}$  – на 30%. В регионе Средней Волги интервал средних температур составлял  $25.5\text{--}32^{\circ}\text{C}$ , а максимальных –  $31\text{--}38^{\circ}\text{C}$ . Эти условия приводили к дефициту влаги в почве, но не вызывали гибели растений, а существенно снижали массу клубней. Подобные результаты были получены в полевых экспериментах других исследователей [6, 14].

Таким образом, при исследовании 24 сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) установлено снижение урожайности картофеля при увеличении температуры воздуха и снижении почвенной влаги. Потери урожая зависели от сроков созревания сорта. Получены экспериментальные модели зависимости урожайности сортов различной спелости, которые могут использоваться при выборе и прогнозе их урожайности в зависимости от погодных условий региона выращивания. Как видно, в целях увеличения продуктивности и повышения качества картофеля необходимо учитывать особенности климатических условий региона, в том числе температурных аномалий, и возделывать сорта различных групп спелости, которые могут проявить свои преимущества в тех или иных агроклиматических условиях разных лет.



**Рис. 2.** Линейные поверхности распределения параметров урожайности раннеспелых (а), среднеранних (б) и среднеспелых (в) сортов картофеля в пространстве гидротермических факторов.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность ФГБНУ “Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха” и создателям сортов *S. tuberosum* за предоставленный для исследований семенной материал.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Комплексного плана научных исследований “Развитие селекции и семеноводства картофеля” и “Структура, динамика и устойчивое развитие экосистем Волжского бассейна № 1021060107217-0-1.6.19”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. George T.S., Taylor M.A., Dodd I.C., White P.J. // Potato Res. 2018.
2. Cabello R., Monneveux P., De Mendiburu F., Bonierbale M. // Euphytica. 2013. V. 193. P. 147–156.
3. Demirel U., Çalişkan S., Yavuz C., Tindaş İ., Polgar Z., Vaszily Z., Cernák L., Çalişkan M.E. // Turkish J. Agr. For. 2017. V. 41. P. 218–232.
4. Schafleitner R., Gutierrez R., Espino R., Gaudin A., Pérez J., Martínez M., Bonierbale M. // Potato Res. 2007. V. 50. P. 71–85.
5. Burton W.G. // Am. Potato J. 1981. V. 58. P. 3–14.
6. Ahn Y.J., Claussen K., Zimmerman J.L. // Plant Sci. 2004. V. 166. P. 901–911.
7. Wahid A., Gelani S., Ashraf M., Foolad M.R. // Environ. Exp. Bot. 2007. V. 61. P. 199–22.
8. Tang R., Niu S., Zhang G., Chen G., Haroon M., Yang Q., Rajora O.P., Li X.-Q. // Botany. 2018. V. 96. P. 897–912.
9. Monneveux P., Ramírez D.A., Pino M.-T. // Plant Sci. 2013. V. 205–206. P. 76–86.
10. Zarzyńska R., Boguszevska-Mańkowska D., Nosalewicz A. // Plant Soil Environ. 2017. V. 63. P. 159–164.
11. Deblonde P.M.K., Ledent J.F. // Eur. J. Agron. 2001. V. 14. P. 31–41.
12. Kumar S., Asrey A., Mandal G. // Indian J. Agricul. Sci. 2007. V. 77. P. 366–368.
13. Eiasu B.K., Soundy P., Hammes P.S. // New Zeal. J. Crop. Horticult. Sci. 2007. V. 35 P. 25–31.
14. Aliche E.B., Oortwijn M., Theeuwens T.P.J.M., Bachem C.W.B., van Eck H.J., Visser R.G.F., van der Linden C. // Euphytica. 2019. V. 215. P. 186.
15. Rozentsvet O.A., Bogdanova E.S., Nesterov V.N., Shevchenko S.N., Bakunov A.L., Milekhin A.V., Rubtsov S.L. // Doklady Biol. Sci. 2021. V. 497. P. 143–147.

## PROGNOSTIC OF YIELD OF POTATOES OF PROMISING DOMESTIC VARIETIES UNDER THE IMPACT OF STRESS ABIOTIC FACTORS

O. A. Rozentsvet<sup>a</sup>, E. S. Bogdanova<sup>a, #</sup>, V. N. Nesterov<sup>a</sup>, A. L. Bakunov<sup>b</sup>, A. V. Milekhin<sup>b</sup>, S. L. Rubtsov<sup>b</sup>, N. N. Dmitrieva<sup>b</sup>, and Academician of the RAS S. N. Shevchenko<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti, Russian Federation

<sup>b</sup> Samara Federal Research Scientific Center RAS, Samara Scientific Research Agriculture Institute Named after N.M. Tulajkov, Bezenchuk, Russian Federation

<sup>c</sup> Samara Federal Research Scientific Center RAS, Samara, Russian Federation

<sup>#</sup>e-mail: cornales@mail.ru

Twenty four potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) differing in ripening groups (early, middle-early and mid-season-ripening) were studied. Potatoes were grown in the conditions of the Middle Volga region of Russia. It was found statistically that the yield (t/ha) of early and mid-season-ripening varieties was negatively correlated with the increase in average temperatures during the growing season from May to August ( $R = -0.97$ ,  $P = 0.04$ ). Soil moisture content at a depth of 20 cm was positively correlated with the yield of middle-early varieties ( $R = 0.97$ ,  $P = 0.04$ ). A soil moisture content increase was beneficial to average tuber weight ( $R = 0.98$ ,  $P = 0.04$ ), but only in the middle-early and mid-season-ripening groups. However, the soil moisture content and the tuber numbers in mid-season-ripening varieties had a negative correlation ( $R = -0.96$ ,  $P = 0.05$ ).

**Keywords:** *Solanum tuberosum* L., abiotic factors, productivity