

УДК 574/577 +633.491

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

© 2023 г. О. А. Розенцвет¹, Е. С. Богданова^{1,*}, В. Н. Нестеров¹, А. Л. Бакунов², А. В. Милехин², С. Л. Рубцов², Н. Н. Дмитриева², академик РАН С. Н. Шевченко³

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 ночь, Краса Мещеры, Сердолик, Сударыня, Третьяковка, Эликсир; среднеспелые — Августин, Брусника, Варяг, Жигулевский, Кумач,

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

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

³ Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самара, Россия

*e-mail: cornales@mail.ru

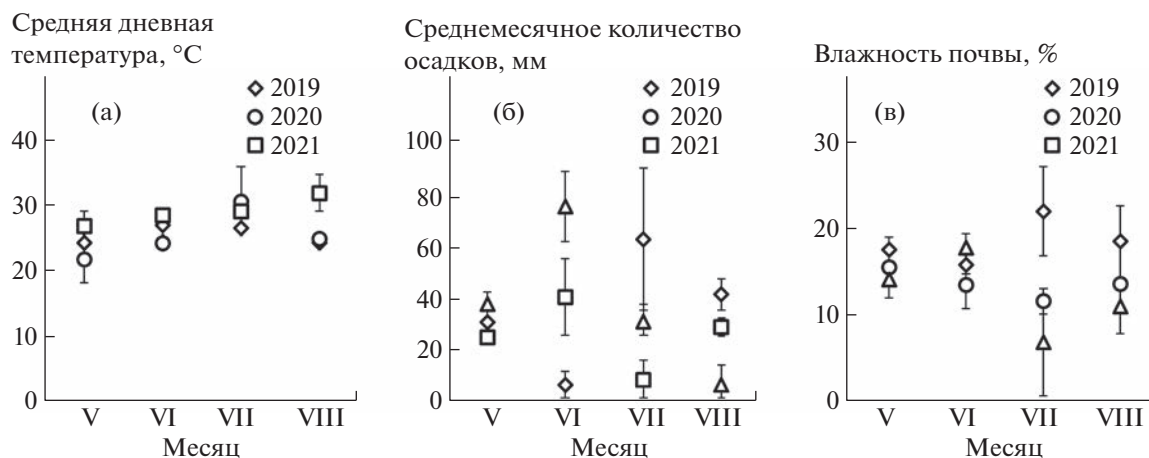


Рис. 1. Динамика средних температур воздуха (а), осадков (б) и содержания влаги в почве (в) в вегетационный период картофеля в течение 2019–2021 гг.

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.

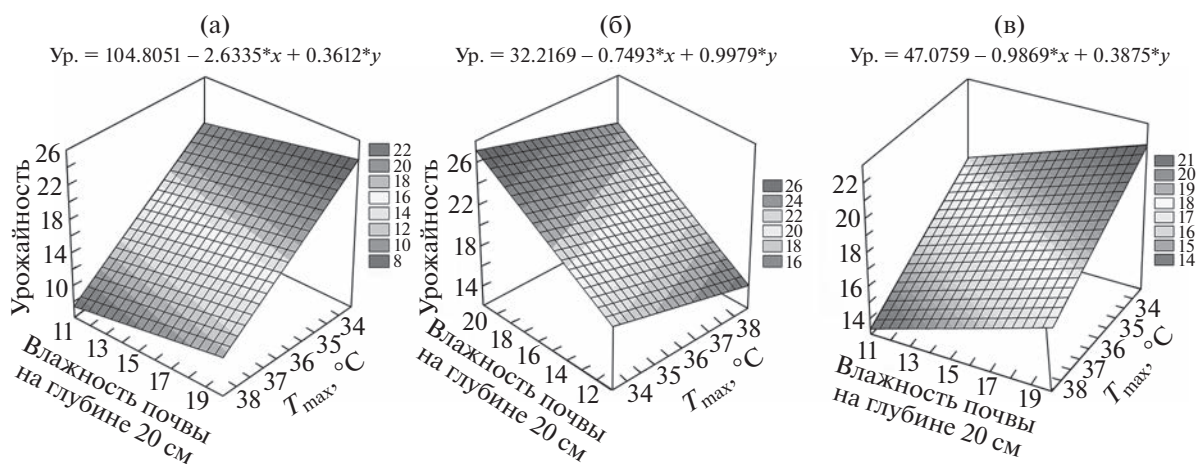
Сорт	Кол-во клубней на 1 растение			Средний вес клубней, г			Урожайность, т/г		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
раннеспелые ($n = 5$)	5.0 ± 0.8	6.3 ± 1.1	7.0 ± 0.8	108.9 ± 16.1	74.2 ± 15.3	54.8 ± 12.0	21.2 ± 2.7	21.8 ± 3.7	18.4 ± 4.8
среднеранние ($n = 10$)	6.8 ± 2.0	6.5 ± 0.5	6.7 ± 2.0	96.8 ± 13.6	70.3 ± 9.3	48.2 ± 9.5	25.7 ± 6.1	20.8 ± 3.2	14.6 ± 4.4
среднеспелые ($n = 9$)	5.7 ± 1.9	6.7 ± 1.5	7.1 ± 0.9	89.4 ± 6.1	59.8 ± 7.0	43.7 ± 11.5	20.9 ± 7.9	19.0 ± 3.7	14.2 ± 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 условиях 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°C , а каждое повышение на 5°C приводит к снижению скорости фотосинтеза и снижению урожайности примерно на 25%, а

при 35°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., Černák I., 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., Theeuwes 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^a, E. S. Bogdanova^{a, #}, V. N. Nesterov^a, A. L. Bakunov^b, A. V. Milekhin^b, S. L. Rubtsov^b, N. N. Dmitrieva^b, and Academician of the RAS S. N. Shevchenko^c

^a Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti, Russian Federation

^b Samara Federal Research Scientific Center RAS, Samara Scientific Research Agriculture Institute Named after N.M. Tulajkov, Bezenchuk, Russian Federation

^c Samara Federal Research Scientific Center RAS, Samara, Russian Federation

[#]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