DOI 10.12737/2782-490X-2026-5-6-13
УДК 633.37

СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА И УРОЖАЙНОСТИ НУТА (*CICER ARIETINUM* L.) В УСЛОВИЯХ ПРЕДКАМЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

© 2026 Акеншаева А. Ж., Сафин Р. И., Сабирова Р. М. ✉

Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)
✉ *razina.sabirova.1975@mail.ru*

Реферат. Представлены результаты двухлетних исследований (2024–2025 годы) по изучению формирования фотосинтетического аппарата и урожайности нута (*Cicer arietinum* L.) в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан. Целью работы являлось установление связи между показателями фотосинтетического аппарата (хлорофиллы a и b, каротиноиды, площадь листьев, сухая масса) и продуктивностью сортов. Исследования проводились на светло-серых лесных почвах (гумус 4,4%) при трёхкратной повторности. Объектами служили сорта нута Приво 1, Триумф, Волжанин и Зоовит. Площадь листьев определяли методом цифрового анализа изображений, содержание пигментов — тонкослойной хроматографией с последующим спектрофотометрированием. Установлено, что в более благоприятных условиях в 2025 году у растений увеличивались содержание пигментов и площадь листовой поверхности. Максимальные значения хлорофилла а (1,464 мг/г), суммы хлорофиллов (2,178 мг/г), площади листьев (64,27 см²) и урожайности (2,97 т/га) отмечены у сорта Зоовит. Выявлена положительная связь между площадью листьев и урожайностью (r = 0,66), тогда как зависимость от содержания хлорофилла а была слабее (r = 0,50) и статистически незначимой. Связь сухой массы с урожайностью отсутствовала (r = –0,03). Показано, что сумма хлорофиллов (a+b) является более информативным показателем. Наиболее высокую адаптацию к условиям Предкамья продемонстрировал сорт Зоовит.

Ключевые слова: нут, хлорофилл, каротиноиды, площадь листьев, сухая масса, урожайность, сортовые особенности, Предкамье Республики Татарстан.

Для цитирования: Акеншаева А.Ж., Сафин Р.И., Сабирова Р.М. Сортовые особенности формирования фотосинтетического аппарата и урожайности нута (*Cicer arietinum* L.) в условиях Предкамья Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2026. № 2(18). С. 6-13 . doi: 10.12737/2782-490X-2026-5-6-13

VARIETAL FEATURES OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS AND CHICKPEA (*CICER ARIETINUM* L.) PRODUCTIVITY DEVELOPMENT IN KAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

© 2026 Akenshaeva A. Zh., Safin R. I., Sabirova R. M. ✉

Kazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)
✉ *razina.sabirova.1975@mail.ru*

Abstract. The article presents the results of a two-year study (2024-2025) on the development of photosynthetic apparatus and productivity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Kama region of the Republic of Tatarstan. The aim of the study was to establish the relationship between photosynthetic apparatus parameters (chlorophylls a and b, carotenoids, leaf area and dry mass) and variety productivity. The study was conducted on light gray forest soils (4.4% humus) with triplicate samples. The objects of the study were the chickpea varieties: Privo 1, Triumf, Volzhanin and Zoovit. Leaf area was determined using digital image analysis and pigment content was determined using thin-layer chromatography followed by spectrophotometry. It was found that under more favorable conditions in 2025, the pigment content and leaf surface area increased in plants. The maximum values of chlorophyll a (1.464 mg/g), total chlorophyll (2.178 mg/g), leaf area (64.27 cm^2) and productivity (2.97 t/ha) were observed in Zoovit variety. A positive relationship was found between leaf area and yield (r = 0.66), while the dependence on chlorophyll a content was weaker (r = 0.50) and statistically insignificant. There was no relationship between dry matter and yield (r = –0.03). It was shown that the sum of chlorophylls (a + b) is a more informative indicator. Zoovit variety demonstrated the highest adaptation to the conditions of Kama region.

Key words: chickpea, chlorophyll, carotenoids, leaf area, dry mass, yield, varietal characteristics, Kama region of the Republic of Tatarstan.

For citation: Akenshaeva AZh, Safin RI, Sabirova RM. [Varietal features of photosynthetic apparatus and chickpea (*Cicer Arietinum* L.) productivity development in Kama region of the Republic of Tatarstan]. Agrobiotechnologies and digital farming. 2026; 2(18). 6-13 p. doi: 10.12737/2782-490X-2026-5-6-13

Введение. Зернобобовые культуры играют важную роль в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития агроэкосистем, а также способствуют улучшению агрохимических показателей почвы [1].

Нут (*Cicer arietinum* L.) является одной из наиболее распространённых зернобобовых культур в мире и занимает третье место по посевным площадям среди бобовых после фасоли и гороха [2]. Культура характеризуется высоким содержанием белка (до 25–30%) [3], ценится благодаря хорошо сбалансированному аминокислотному составу, а также за способности вступать в симбиоз с клубеньковыми бактериями и фиксировать атмосферный азот. За счёт этого культура не только формирует качественное зерно, но и способствует улучшению плодородия почвы.

В последние годы на фоне изменения климата интерес к нуту заметно усилился. Это связано с его относительной засухоустойчивостью и способностью формировать стабильную урожайность даже при ограниченном влагообеспечении [4, 5, 6]. Эти особенности подтверждаются и современными селекционными исследованиями.

При этом реализация потенциала сорта во многом определяется состоянием фотосинтетического аппарата растений, поскольку именно он играет важную роль в процессах накопления биомассы и формирования урожайности.

Фотосинтетическая продуктивность растений в большинстве случаев зависит от содержания хлорофиллов a и b, их соотношением, площадью листовой поверхности и накоплением сухой массы [7, 8, 9]. При этом, когда увеличивается площадь листьев и содержание хлорофилла, как правило, сопровождается ростом интенсивности фотосинтеза и продуктивности зернобобовых культур [7, 8].

Данные, полученные в различных почвенно-климатических зонах, показывают, что формирование урожайности нута тесно связано с развитием листовой поверхности и уровнем фотосинтетической активности, особенно в ключевые фазы, когда начинается цветение и налив бобов [10, 11, 12].

Для условий Предкамья Республики Татарстан, где климат отличается континентальностью, неустойчивым увлажнением и периодическими летними засухами, такая оценка приобретает особое значение. В этих условиях важно учитывать, как физиологические, так и морфологические особенности сортов нута.

Цель работы. Выявить особенности формирования фотосинтетического аппарата (содержание хлорофиллов, площадь листовой поверхности, сухая масса надземной части) и урожайности различных сортов нута в условиях Предкамья Республики Татарстан. Впервые для условий Предкамской агропроизводственной зоны Республики Татарстан проведена комплексная оценка взаимосвязи пигментного комплекса, площади листовой поверхности и элементов структуры урожая сортов нута.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в 2024–2025 годах на опытном участке ООО «Агробиотехнопарк» Казанского государственного аграрного университета, расположенном в Предкамской агропроизводственной зоне Республики Татарстан.

Материалом для исследований послужили четыре сорта нута культурного (*Cicer arietinum* L.): Приво 1, Триумф, Волжанин и Зоовит. Посев осуществляли с нормой высева 700 тысяч всхожих семян на 1 га, рекомендованной для условий региона. Опыт был заложен в трёхкратнойповторности. Площадь одной учетной делянки составляла 96 м².

Опытный участок был представлен светло-серой лесной почвой. Пахотный слой характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса — 4,4%; содержание подвижного фосфора — >377 мг/кг, что по градации для зернобобовых культур на светло-серых лесных почвах соответствует очень высокому уровню обеспеченности; содержание обменного калия — 124 мг/кг (повышенная обеспеченность); реакция почвенного раствора — слабокислая (pHKCl 5,4).

Хозяйственно-биологические признаки сортов оценивали по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и общепринятым принципам полевого опыта. Структуру урожая анализировали в соответствии с указаниями Госсорткомиссии [13]. Фактическую урожайность приводили в тоннах на гектар (т/га).

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методами вариационной статистики. Результаты представлены в виде средних значений с указанием ошибки опыта. Достоверность различий оценивали по наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$).

Площадь листовой поверхности определяли методом цифрового анализа изображений с использованием программы ImageJ (National Institutes of Health, USA) [14, 15]. Листовые пластинки фотографировали на контрастном фоне с применением масштабной линейки. После калибровки изображения выполняли расчёт площади листа в см². Для сравнительного анализа использовали показатели фазы максимального развития листового аппарата.

Сухую массу надземной части растений определяли путём высушивания растительного материала до постоянной массы с последующим взвешиванием; результаты выражали в г/растение.

Содержание хлорофиллов a и b, а также каротиноидов определяли методом тонкослойной хроматографии с последующим спектрофотометрическим определением концентрации пигментов. Экстракцию пигментов проводили 100%-ным ацетоном из свежего растительного материала, отобранного в фазу активной вегетации. Разделение пигментов осуществляли при температуре 24–25°C, относительной влажности воздуха 49–50% и атмосферном давлении 104,0–104,3 кПа. Результаты

выражали в мг/г сырого вещества.

Метеорологические условия в годы исследований различались. В 2024 году сумма активных температур выше 10°С за период май–август составила 2203°С, сумма осадков — 196 мм, гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,89, что характеризует условия вегетации как засушливые. Наибольший дефицит влаги наблюдался в июне–июле (сумма осадков 45 мм), когда происходит закладка генеративных органов и налив зерна нута. Неравномерное распределение осадков (56 мм в мае и лишь 45 мм за два летних месяца) создавало периодический водный стресс для растений.

В 2025 году распределение тепла и влаги было более благоприятным: сумма активных температур выше 10°С составила 2160°С, сумма осадков за май–август — 257 мм, ГТК — 1,19. В период июнь–июль выпало 121 мм осадков, а температуры воздуха не превышали среднемноголетние значения на 2–4°С, что создало условия, близкие к оптимальным для формирования вегетативной массы и фотосинтетического аппарата растений нута. Более выровненный температурный режим и равномерное увлажнение в 2025 году способствовали реализации продукционного потенциала изучаемых сортов, что согласуется с полученными данными по содержанию пигментов, площади листьев и урожайности.

Результаты и обсуждения. *Содержание фотосинтетических пигментов в листьях нута*

Как видно из таблицы 1, количество фотосинтетических пигментов в листьях нута заметно различалось в зависимости от сортовой принадлежности и условий конкретного года.

Таблица 1 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях нута, мг/г сырой массы
Table 1 – Content of photosynthetic pigments in chickpea leaves, mg/g fresh weight

Сорт	Хлорофилл a	Хлорофилл b	Каротиноиды	Сумма (a+b)	Соотношение (a/b)
2024 г.					
Приво 1	0,809 ± 0,001	0,324 ± 0,002	0,264 ± 0,001	1,133	2,50
Триумф	0,811 ± 0,005	0,335 ± 0,003	0,272 ± 0,001	1,146	2,42
Волжанин	0,852 ± 0,002	0,416 ± 0,003	0,242 ± 0,005	1,268	2,05
Зоовит	0,911 ± 0,002	0,453 ± 0,005	0,268 ± 0,004	1,364	2,01
$НСР_{05}$	0,009	0,011	0,012	0,014	
2025 г.					
Приво 1	1,327 ± 0,029	0,682 ± 0,018	0,338 ± 0,008	2,009	1,95
Триумф	0,520 ±0,122	0,256 ± 0,058	0,083 ± 0,021	0,776	2,03
Волжанин	1,263 ± 0,061	0,639 ± 0,025	0,276 ± 0,016	1,902	1,98
Зоовит	1,464 ± 0,031	0,714 ± 0,013	0,288 ± 0,009	2,178	2,05
$НСР_{05}$	0,233	0,110	0,047	0,258	

В 2024 году содержание хлорофилла a в листьях нута варьировало от 0,809 до 0,911 мг/г сырого вещества. Минимальное значение зафиксировано у сорта Приво 1 (0,809 мг/г), максимальное — у сорта Зоовит (0,911 мг/г). Разница между данными сортами составила 0,102 мг/г, что существенно превышает наименьшую существенную разность ($НСР_{05}$ = 0,009 мг/г) и доказывает статистическую достоверность сортовых различий.

Аналогичная закономерность установлена и по содержанию хлорофилла b. В 2024 году показатель варьировал от 0,324 до 0,453 мг/г. Различия между сортом Зоовит и сортами Приво 1 и Триумф превышали значение $НСР_{05}$ (0,011 мг/г), что указывает на достоверность выявленных различий.

Содержание каротиноидов в 2024 году изменялось в пределах 0,242–0,272 мг/г. Различия между сортами Волжанин и Триумф составили 0,030 мг/г и превышали $НСР_{05}$ (0,012 мг/г), что подтверждает их статистическую значимость.

В 2025 году содержание хлорофилла a варьировало в более широких пределах – от 0,520 до 1,464 мг/г. Наибольшее значение отмечено у сорта Зоовит (1,464 мг/г), наименьшее — у сорта Триумф (0,520 мг/г). Разница между крайними вариантами составила 0,944 мг/г и значительно превышала $НСР_{05}$ (0,233 мг/г), что свидетельствует о достоверности различий. Резкое снижение содержания пигментов у сорта Триумф в 2025 году (хлорофилл a — 0,520 мг/г, хлорофилл b — 0,256 мг/г, каротиноиды — 0,083 мг/г) в сочетании с высокой внутрисортовой вариабельностью (± 23% для хлорофилла a) выходит за пределы типичной реакции растений на изменение гидротермических условий и указывает на возможное воздействие дополнительного стрессового фактора. В качестве вероятных причин могут рассматриваться локальное поражение растений корневыми гнилями или аскохитозом, которые способны вызывать резкую деградацию хлорофилла и неравномерность проявления симптомов в пределах делянки. Поскольку в 2024 году показатели пигментного комплекса сорта Триумф находились на уровне других сортов (хлорофилл a — 0,811 мг/г), выявленная аномалия, скорее всего, не является сортовой особенностью, а связана с внешним фактором, реализовавшимся в конкретных условиях 2025 года.

Содержание хлорофилла b в 2025 году варьировало от 0,256 до 0,714 мг/г. Разница

между крайними вариантами превышала НСР$_{05}$ (0,110 мг/г), что подтверждает достоверность сортовых различий.

По содержанию каротиноидов в 2025 году значения изменялись от 0,083 до 0,338 мг/г. Различия между сортами Зоовит и Триумф превышали НСР$_{05}$ (0,047 мг/г), что свидетельствует о статистической значимости выявленных различий.

Между сортами отмечены выраженные различия по содержанию фотосинтетических пигментов. Более высокие значения хлорофиллов в 2025 году были связаны с благоприятными гидротермическими условиями, что способствовало усилению фотосинтетической активности растений [7, 9].

Для более полной характеристики состояния фотосинтетического аппарата сортов нута дополнительно были рассчитаны сумма хлорофиллов (a+b) и их соотношение (a/b).

Установлено, что в 2024 году сумма хлорофиллов варьировала от 1,133 до 1,364 мг/г сырого вещества. Наибольшее значение отмечено у сорта Зоовит (1,364 мг/г), наименьшее — у сорта Приво 1 (1,133 мг/г). Различия между крайними вариантами (0,231 мг/г) значительно превышали значение НСР$_{05}$ (0,014 мг/г), что свидетельствует о статистической достоверности сортовых различий.

В 2025 году значения суммы хлорофиллов находились в пределах от 0,776 до 2,178 мг/г. Максимальный показатель также зафиксирован у сорта Зоовит (2,178 мг/г), тогда как минимальное значение отмечено у сорта Триумф (0,776 мг/г). Разница между крайними вариантами (1,402 мг/г) существенно превышала НСР$_{05}$ (0,258 мг/г), что подтверждает достоверность выявленных различий.

Соотношение хлорофиллов a/b в 2024 году варьировало в пределах 2,01–2,50, а в 2025 году — 1,95–2,05. Более высокие значения показателя в 2024 году могут свидетельствовать о стрессовых условиях вегетации и адаптивной реакции фотосинтетического аппарата растений. В 2025 году, при более благоприятной погоде, соотношение хлорофиллов стабилизировалось, что говорит о нормализации физиологического состояния растений.

Таким образом, сумма хлорофиллов a+b точнее отражает степень развития фотосинтетического аппарата у сортов нута, а соотношение a/b — то, как физиологически адаптируются растения к окружающим условиям [8, 10].

Формирование площади листовой поверхности сортов нута

Площадь листовой поверхности играет важную роль в формировании фотосинтетической активности и накоплении сухого вещества. В ходе опыта между сортами отмечались выраженные различия по этому показателю (табл. 2).

Таблица 2 – Площадь листьев сортов нута в фазу максимального развития листового аппарата, см²/растение

Table 2 – Leaf area of chickpea varieties at the stage of maximum leaf apparatus development, cm²/plant

Сорт	2024г.	2025г.
Волжанин	40,18±0,13	44,11 ±0,24
Зоовит	44,11±0,24	64,27 ±0,21
Приво 1	39,34±0,20	38,66 ±0,24
Триумф	38,87±0,17	39,34 ±0,20
НСР$_{05}$	0,70	0,72

Как видно из данных таблицы 2, в 2024 году площадь листовой поверхности варьировала в пределах 38,87–44,11 см². Максимальное значение отмечено у сорта Зоовит (44,11 см²), минимальное – у сорта Триумф (38,87 см²). Разница между крайними вариантами составила 5,24 см², что существенно превышает значение НСР$_{05}$ (0,70 см²), что свидетельствует о статистической достоверности выявленных различий.

В 2025 году различия между сортами стали более выраженными. Наибольшее значение площади листьев зафиксировано у сорта Зоовит – 64,27 см², что на 20,16 см² превышает показатель предыдущего года. У сорта Волжанин показатель составил 44,11 см², у сортов Приво 1 и Триумф — 38,66 и 39,34 см² соответственно. Различия между сортом Зоовит и остальными вариантами значительно превышали значение НСР$_{05}$ (0,72 см²), что подтверждает их достоверность.

В 2025 году у отдельных сортов увеличение площади листьев отмечалось на фоне более равномерного распределения осадков и стабильного температурного режима. В результате формировался более развитый ассимиляционный аппарат.

Более развитая листовая поверхность способствует усилению фотосинтеза и накоплению органического вещества, что в конечном итоге влияет на уровень урожайности [10, 11].

По полученным данным следует, что в связи с благоприятными условиями в 2025 году наиболее выраженную способность к наращиванию листовой поверхности проявил сорт Зоовит, что свидетельствует о его высокой пластичности и адаптивном потенциале.

Формирование сухой массы надземной части растений нута

Накопление сухого вещества можно рассматривать как показатель интенсивности фотосинтеза и эффективности использования ассимилятов растениями [16]. В опытах выявлены сортовые различия по величине сухой массы надземной части (табл. 3).

Таблица 3 – Сухая масса надземной части растений нута, г/растение
Table 3 — Dry weight of the above-ground part of chickpea plants, g/plant

Сорт	2024 г.	2025 г.
Приво 1	20,30 ± 0,65	21,40 ± 0,97
Зоовит	11,60 ± 1,07	15,30 ± 0,21
Волжанин	14,40 ± 0,52	12,40 ± 0,52
Триумф	16,43 ± 0,83	17,40 ± 0,52
$НСР_{05}$	2,59	2,01

Примечание: данные представлены как M ± m (n = 3)
The data are presented as M ± m (n = 3)

Согласно данным таблицы 3, в 2024 году наибольшая сухая масса отмечена у сорта Приво 1 (20,3 г/растение), что свидетельствует о высокой способности данного сорта к накоплению биомассы даже в условиях менее благоприятного гидротермического режима. Сорт Триумф занимал промежуточное положение (16,4 г/растение), тогда как у сортов Волжанин и Зоовит показатели были ниже.

В 2025 году статистически достоверный прирост сухой массы отмечен у сорта Зоовит (с 11,6 до 15,3 г/растение), тогда как у Волжанина показатель снизился (до 12,4 г/растение), а у Приво 1 и Триумф изменения не превышали ошибки опыта ($НСР_{05}$ = 2,01).

Можно предположить, что в более благоприятных условиях 2025 года увеличение площади листовой поверхности способствовало более активному протеканию фотосинтетических процессов и накоплению сухого вещества у отдельных сортов нута. Вместе с тем между площадью листьев и величиной сухой массы не во всех случаях наблюдалась прямая зависимость, что, вероятно, связано с сортовыми особенностями использования и перераспределения ассимилятов между вегетативными и генеративными органами растений [10].

Таким образом, сорта Приво 1 и Триумф характеризовались относительной стабильностью накопления сухого вещества по годам, тогда как сорт Зоовит проявил более выраженную реакцию на улучшение условий выращивания.

Урожайность и элементы структуры урожая нута

Формирование урожайности нута является результатом комплексного взаимодействия морфологических, физиологических и экологических факторов. В условиях проведённых исследований выявлены существенные сортовые различия по фактической урожайности и элементам структуры урожая (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность и элементы структуры урожая нута
Table 4 – Yield and yield structure elements of chickpea

Сорт	Фактическая урожайность, т/га	Число зёрен в растении, шт.	Масса 1000 семян, г
2024 г.			
Приво 1	1,93 ± 0,32	17,30 ± 0,25	251,87 ± 0,33
Триумф	2,43 ± 0,22	19,30 ± 0,21	327,20 ± 0,46
Волжанин	1,82 ± 0,43	18,27 ± 0,58	293,00 ± 0,67
Зоовит	2,53 ± 0,02	22,10 ± 0,52	325,00 ± 0,15
$НСР_{05}$	0,93	1,34	1,42
2025 г.			
Приво 1	1,94 ± 0,01	19,37 ± 0,26	228,00 ± 0,64
Триумф	2,22 ± 0,01	20,30 ± 0,22	315,00 ± 0,64
Волжанин	2,42 ± 0,01	18,67 ± 0,18	91,00 ± 0,55
Зоовит	2,97 ± 0,03	21,10 ± 0,55	344,00 ± 0,14
$НСР_{05}$	0,28	1,09	1,75

Как видно из данных таблицы 4, в 2024 году фактическая урожайность варьировала от 1,82 до 2,53 т/га. Наибольшее значение отмечено у сорта Зоовит (2,53 т/га). Различия между сортами Зоовит и Приво 1 (0,60 т/га), а также между Зоовит и Волжанин (0,71 т/га) не превышали $НСР_{05}$ (0,93 т/га), что свидетельствует об отсутствии статистически достоверных различий по урожайности в условиях 2024 года.

Количество зёрен с одного растения варьировало от 17,30 до 22,10 шт. Сорт Зоовит достоверно превысил по этому показателю сорт Приво 1 (разница 4,80 шт. при $НСР_{05}$ = 1,34 шт.) и сорт Волжанин (разница 3,83 шт.). Различия между сортами Триумф и Приво 1 (2,00 шт.) также превышали $НСР_{05}$.

Масса 1000 семян изменялась от 251,87 до 327,20 г. Разница между сортами Триумф и Приво 1 (75,33 г), а также между Зоовит и Приво 1 (73,13 г) значительно превышала $НСР_{05}$ (1,42 г), что подтверждает

достоверность сортовых различий по крупности семян.

В условиях 2024 года различия по фактической урожайности были статистически недостоверны, тогда как по элементам структуры урожая (число зёрен, масса 1000 семян) различия между сортами подтверждены на 5%-м уровне значимости [11, 12].

В 2025 году фактическая урожайность варьировала от 1,94 до 2,97 т/га. Максимальное значение получено у сорта Зоовит (2,97 т/га). Разница между сортами Зоовит и Приво 1 (1,03 т/га), Зоовит и Триумф (0,75 т/га), а также Зоовит и Волжанин (0,55 т/га) существенно превышала $НСР_{05}$ (0,28 т/га), что свидетельствует о статистически достоверном превосходстве сорта Зоовит по урожайности. Кроме того, сорт Волжанин достоверно превысил по урожайности сорт Приво 1 (разница 0,48 т/га).

Число зёрен в растении варьировало от 18,67 до 21,10 шт. Различия между крайними вариантами (2,43 шт.) превышали $НСР_{05}$ (1,09 шт.), что свидетельствует о достоверном превосходстве сортов Зоовит и Триумф над Волжанин и Приво 1.

Масса 1000 семян изменялась в пределах 228,00–344,00 г. Разница между сортами Зоовит и Приво 1 (116,00 г), а также между Триумф и Приво 1 (87,00 г) значительно превышала $НСР_{05}$ (1,75 г), что подтверждает достоверность сортовых различий по данному показателю.

В 2025 году, при более благоприятных гидротермических условиях, сорт Зоовит достоверно превзошёл остальные сорта по уровню фактической урожайности и массе 1000 семян, что связано с его высокой способностью эффективно реализовывать продукционный потенциал в условиях Предкамья Республики Татарстан [17].

Обсуждение взаимосвязи показателей фотосинтетического аппарата и урожайности

Для оценки взаимосвязи между показателями фотосинтетического аппарата и фактической урожайностью сортов нута использовали объединённые данные за два года ($n = 8$). При этом критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости $p < 0,05$ составляет 0,707.

Между площадью листовой поверхности и фактической урожайностью отмечена положительная корреляция средней силы ($r = 0,66$) [11, 12, 18], однако при уровне значимости $p < 0,05$ она статистически не подтверждена. Полученные результаты показывают, что с увеличением площади листового аппарата урожайность, как правило, тоже возрастала, однако эта зависимость не была строго прямой. Похожая картина отмечалась и для содержания хлорофилла а: между данным показателем и урожайностью установлена умеренная положительная корреляция ($r = 0,49$), но статистически значимой она не была. Вероятно, повышение содержания хлорофилла а оказывает определённое влияние на продуктивность растений, однако формирование урожая зависит не только от этого показателя, но и от других факторов [7, 9].

Связь между сухой массой надземной части и фактической урожайностью практически отсутствовала ($r = –0,03$), что свидетельствует о независимом характере варьирования данных показателей в условиях проведённых исследований.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что формирование урожайности нута в условиях Предкамской агропроизводственной зоны Республики Татарстан определяется совокупным влиянием морфофизиологических показателей и гидротермических условий вегетационного периода [19].

Установлено, что показатели фотосинтетического аппарата, такие как площадь листовой поверхности и сумма хлорофиллов (a+b), оказывают положительное влияние на формирование урожайности, однако степень реализации данного влияния зависит от сортовых особенностей и погодных условий года.

Отсутствие тесной корреляционной связи между отдельными показателями (в частности, сухой массой) и урожайностью свидетельствует о сложном характере перераспределения ассимилятов и различной эффективности их использования у изучаемых сортов.

Можно сказать, что повышение продуктивности нута в условиях Предкамья связано не только с развитием фотосинтетического аппарата, но и с особенностями сортов, позволяющими более эффективно использовать ресурсы среды.

Выводы.

1. В условиях Предкамской зоны Республики Татарстан в 2024–2025 годы выявлены статистически достоверные сортовые различия по содержанию фотосинтетических пигментов, площади листовой поверхности и урожайности. Сумма хлорофиллов (a+b) варьировала от 1,13 до 2,18 мг/г сырой массы, площадь листьев — от 38,9 до 64,3 см²/растение, фактическая урожайность — от 1,82 до 2,97 т/га в зависимости от сорта и года исследований.

2. Более благоприятные гидротермические условия 2025 года (ГТК = 1,19 против 0,89 в 2024 году) способствовали увеличению содержания хлорофиллов и площади листовой поверхности у сортов Зоовит и Волжанин, что обеспечило рост их фотосинтетического потенциала.

3. Сорт Зоовит достоверно превзошёл остальные сорта в 2025 году по комплексу показателей: сумма хлорофиллов (a+b) — 2,18 мг/г, площадь листьев — 64,3 см²/растение, масса 1000 семян — 344 г, фактическая урожайность — 2,97 т/га ($НСР_{05}$ = 0,28 т/га).

4. Корреляционная связь площади листьев с урожайностью составила $r = 0,66$, содержания хлорофилла а с урожайностью — $r = 0,49$ (оба значения статистически незначимы при $n = 8$, $p < 0,05$), что указывает на комплексный

характер формирования продуктивности. Связь сухой массы надземной части с урожайностью отсутствовала (r = –0,03).

5. Сумма хлорофиллов (a+b) является более информативным интегральным показателем состояния фотосинтетического аппарата, чем содержание отдельных пигментов. Соотношение хлорофиллов a/b повышалось до 2,50 в засушливом 2024 году, отражая адаптивную реакцию растений на стрессовые условия.

6. Сорт Зоовит, обладающий высоким адаптивным потенциалом и стабильно формирующий наибольшую урожайность, рекомендуется для дальнейшего изучения и производственного испытания в условиях неустойчивого увлажнения Предкамской зоны Республики Татарстан.

Литература

1.Arriagada O., Cacciuttolo F., Cabeza R.A., et al. A comprehensive review on chickpea (Cicer arietinum L.) breeding for abiotic stress tolerance and climate change resilience // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. No. 12. Article 6794. doi: 10.3390/ijms23126794

2.Sachdeva S., Bharadwaj C., Patil B.S., et al. Agronomic Performance of Chickpea Affected by Drought Stress at Different Growth Stages // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 5. Article 995. doi: 10.3390/agronomy12050995

3.Ramamoorthy P., Krishnamurthy L., Upadhyaya H.D., et al. Shoot traits and their relevance in terminal drought tolerance of chickpea (Cicer arietinum L.) // Field Crops Res. 2016. Vol. 197. P. 10–27. doi: 10.1016/j.fcr.2016.07.016

4.Chtouki M., Laaziz F., Naciri R., et al. Interactive effect of soil moisture content and phosphorus fertilizer form on chickpea growth, photosynthesis, and nutrient uptake // Sci. Rep. 2022. Vol. 12. Article 6671. doi: 10.1038/s41598-022-10703-0

5.Ucak A.B., Arslan H. Drought Stress Resistance Indicators of Chickpea Varieties Grown under Deficit Irrigation Conditions // PeerJ. 2023. Vol. 11. e14818. doi: 10.7717/peerj.14818

6.Devi P., Jha U.C., Prakash V., et al. Response of Physiological, Reproductive Function and Yield Traits in Cultivated Chickpea (Cicer arietinum L.) Under Heat Stress // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. Article 880519. doi: 10.3389/fpls.2022.880519

7.Tiwari P.N., Tiwari S., Sapre S., et al. Prioritization of Physio-Biochemical Selection Indices and Yield-Attributing Traits toward the Acquisition of Drought Tolerance in Chickpea (Cicer arietinum L.) // Plants. 2023. Vol. 12. No. 18. Article 3175. doi: 10.3390/plants12183175

8.Zeitelhofer M., Zhou R., Ottosen C.-O. Physiological Responses of Chickpea Genotypes to Cold and Heat Stress in Flowering Stage // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 11. Article 2755. doi: 10.3390/agronomy12112755

9.Merwad A.R.M., Desoky E.-S.M., Rady M.M. Response of water relations, photosynthetic pigments, antioxidant defense system and yield of chickpea (Cicer arietinum L.) to drought stress and silicon application // Plants. 2022. Vol. 11. No. 10. Article 1298. doi: 10.3390/plants11101298

10.Devasirvatham V., Gaur P.M., Raju T.N., et al. Field response of chickpea (Cicer arietinum L.) to high temperature // Field Crops Res. 2015. Vol. 172. P. 59–71. doi: 10.1016/j.fcr.2014.11.017

11.Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // Nat. Methods. 2012. Vol. 9. No. 7. P. 671–675. doi: 10.1038/nmeth.2089

12.Martin T.N., Fipke G.M., Winck J.E.M. ImageJ software as an alternative method for estimating leaf area in oats // Acta Agron. 2020. Vol. 69. No. 3. P. 162–169. doi: 10.15446/acag.v69n3.69401

13.Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

14.Kumar J., Abbo S. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments // Adv. Agron. 2001. Vol. 72. P. 107–138. doi: 10.1016/S0065-2113(01)72012-3

15.Pappula-Reddy S.P., Pang J., Chellapilla B., et al. Insights into chickpea (Cicer arietinum L.) genotype adaptations to terminal drought stress: Evaluating water-use patterns, root growth, and stress-responsive proteins // Environ. Exp. Bot. 2024. Vol. 218. Article 105579. doi: 10.1016/j.envexpbot.2023.105579

16.Yang Y., Guo X., Liu G., et al. Solar Radiation Effects on Dry Matter Accumulations and Transfer in Maize // Front. Plant Sci. 2021. Vol. 12. Article 727134. doi: 10.3389/fpls.2021.727134

17.Biçer B.T. The effect of seed size on yield and yield components of chickpea and lentil // Afr. J. Biotechnol. 2009. Vol. 8. No. 8. P. 1482–1487. doi: 10.4314/ajb.v8i8.60185

18.FAOSTAT. Crops and Livestock Products. URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (accessed: 15.01.2025).

19.Акеншаева А. Ж., Сабирова Р. М., Бахтияров Р. Р. Продуктивность сортов нута в условиях Предкамья Республики Татарстан // Биологические препараты и приемы биологизации в современном земледелии: сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию Института агробиотехнологий и землепользования. Казань, 2024. С. 34–39.

References

1.Arriagada O, Cacciuttolo F, Cabeza RA, et al. A comprehensive review on chickpea (Cicer arietinum L.) breeding for abiotic stress tolerance and climate change resilience // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. No. 12. Article 6794. doi: 10.3390/ijms23126794

2.Sachdeva S, Bharadwaj C, Patil BS, et al. Agronomic Performance of Chickpea Affected by Drought Stress at Different Growth Stages // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 5. Article 995. doi: 10.3390/agronomy12050995

3.Ramamoorthy P, Krishnamurthy L, Upadhyaya HD, et al. Shoot traits and their relevance in terminal drought tolerance of chickpea (Cicer arietinum L.) // Field Crops Res. 2016. Vol. 197. P. 10–27. doi: 10.1016/j.fcr.2016.07.016

4.Chtouki M, Laaziz F, Naciri R, et al. Interactive effect of soil moisture content and phosphorus fertilizer form on chickpea growth, photosynthesis, and nutrient uptake // Sci. Rep. 2022. Vol. 12. Article 6671. doi: 10.1038/s41598-022-10703-0

5.Ucak AB., Arslan H. Drought Stress Resistance Indicators of Chickpea Varieties Grown under Deficit Irrigation Conditions // PeerJ. 2023. Vol. 11. e14818. doi: 10.7717/peerj.14818

6.Devi P, Jha UC, Prakash V, Kumar S, et al. Response of Physiological, Reproductive Function and Yield Traits in Cultivated Chickpea (Cicer arietinum L.) Under Heat Stress // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. Article 880519. doi: 10.3389/fpls.2022.880519

7.Tiwari PN, Tiwari S, Sapre S, et al. Prioritization of Physio-Biochemical Selection Indices and Yield-Attributing Traits toward the Acquisition of Drought Tolerance in Chickpea (Cicer arietinum L.) // Plants. 2023. Vol. 12. No. 18. Article 3175. doi: 10.3390/plants12183175

8.Zeitelhofer M, Zhou R, Ottosen C.-O. Physiological Responses of Chickpea Genotypes to Cold and Heat Stress in Flowering Stage // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 11. Article 2755. doi: 10.3390/agronomy12112755

9.Merwad ARM., Desoky E.-S.M., Rady MM. Response of water relations, photosynthetic pigments, antioxidant defense system and yield of chickpea (Cicer arietinum L.) to drought stress and silicon application // Plants. 2022. Vol. 11. No. 10. Article 1298. doi: 10.3390/plants11101298

10.Devasirvatham V, Gaur PM, Raju TN, et al. Field response of chickpea (Cicer arietinum L.) to high temperature // Field Crops Res. 2015. Vol. 172. P. 59–71. doi: 10.1016/j.fcr.2014.11.017

11.Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // Nat. Methods. 2012. Vol. 9. No. 7. P. 671–675. doi: 10.1038/nmeth.2089

12.Martin TN, Fipke GM, Winck JEM. ImageJ software as an alternative method for estimating leaf area in oats // Acta Agron. 2020. Vol. 69. No. 3. P. 162–169. doi: 10.15446/acag.v69n3.69401

13.Dospekhov BA. [Methods of Field Experiment (with Fundamentals of Statistical Processing of Research Results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

14.Kumar J, Abbo S. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments // Adv. Agron. 2001. Vol. 72. P. 107–138. doi: 10.1016/S0065-2113(01)72012-3

15.Pappula-Reddy SP, Pang J, Chellapilla B, et al. Insights into chickpea (Cicer arietinum L.) genotype adaptations to terminal drought stress: Evaluating water-use patterns, root growth, and stress-responsive proteins // Environ. Exp. Bot. 2024. Vol. 218. Article 105579. doi: 10.1016/j.envexpbot.2023.105579

16.Yang Y, Guo X, Liu G, et al. Solar Radiation Effects on Dry Matter Accumulations and Transfer in Maize // Front. Plant Sci. 2021. Vol. 12. Article 727134. doi: 10.3389/fpls.2021.727134

17.Biçer BT. The effect of seed size on yield and yield components of chickpea and lentil // Afr. J. Biotechnol. 2009. Vol. 8. No. 8. P. 1482–1487. doi: 10.4314/ajb.v8i8.60185

18.FAOSTAT. Crops and Livestock Products. URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (accessed: 15.01.2025).

19.Akenshaeva AZh, Sabirova RM, Bakhtiyarov RR. [Productivity of Chickpea Varieties in the Conditions of the Pre-Kama Region of the Republic of Tatarstan] // Biological Preparations and Methods of Biologization in Modern Agriculture: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the II International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 105th Anniversary of the Institute of Agrobiotechnologies and Land Use. Kazan, 2024. 34–39 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Акеншаева Айканыш Жусупбековна - аспирант кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: akenshaevaaikanysh@gmail.com, ORCID 0009-0008-1026-7194

Сафин Радик Ильясович - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент АН РТ, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: radiksaf2@mail.ru, ORCID 0000-0001-6276-5728

Сабирова Разина Мавлетгараевна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: razina.sabirova.1975@mail.ru, ORCID 0009-0007-8001-3133

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.
Поступила 09.04.2026; одобрена после рецензирования 20.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Akenshaeva Aykanysh Zhusupbekovna – post-graduate student of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: akenshaevaaikanysh@gmail.com, ORCID 0009-0008-1026-7194

Safin Radik Ilyasovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Head of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: radiksaf2@mail.ru, ORCID 0000-0001-6276-5728

Sabirova Razina Mavletgaraevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: razina.sabirova.1975@mail.ru, ORCID 0009-0007-8001-3133

The authors have reviewed and approved the final manuscript.
Submitted 09.04.2026; revised 20.06.2026; accepted 25.06.2026.