

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-25-32>  
УДК: 635.64:581.1:631.524.85

Ш.Н.Ражаметов<sup>1\*</sup>, Мён-Чеол Чо<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений  
г. Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup> Национальный научно-исследовательский институт плодовоовощеводства и лекарственных растений Республики Корея  
г. Ванжу, Республика Корея

\*Автор для переписки: sherzod\_2004@list.ru

**Вклад авторов:** Ш.Н. Ражаметов: проведение исследования, концептуализация, методология, создание черновика рукописи; М.-Ч. Чо: руководство исследованием, ресурсы, создание рукописи и редактирование.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** Данное исследование было поддержано грантом (Проект №: PJ0157022021 «Селекция и отбор линий томатов, устойчивых к аномальным температурам») Национального научного исследовательского института плодовоовощеводства и лекарственных растений, Администрации развития сельского хозяйства, Республика Корея.

**Для цитирования:** Ражаметов Ш.Н., Чо М.-Ч. Физиологические особенности устойчивости генотипов томата к высоким температурам. *Овощи России*. 2025;(4):25-32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-25-32>

**Поступила в редакцию:** 18.02.2025

**Принята к печати:** 28.03.2025

**Опубликована:** 29.08.2025

Sherzod N. Rajametov<sup>1\*</sup>, Myeong-Cheoul Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research institute of plant genetic resources  
Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup> National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration  
Wanju, 55365, Republic of Korea

\*Correspondence: sherzod\_2004@list.ru

**Authors' Contribution:** Sh.N. Rajametov: study implementation, conceptualization, methodology, manuscript drafting; M.-C. Cho: study supervision, resources, manuscript drafting, and editing.

**Funding.** This study was supported by a grant (Project No: PJ01267102 "Selection and breeding of tomato lines resistant to abnormal temperatures") from the National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest concerning the research, authorship, and/or publication of this article.

**For citation:** Rajametov Sh.N., Cho M.-C. Physiological features of tolerance of tomato genotypes on high temperatures. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(4):25-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-25-32>

**Received:** 18.02.2025

**Accepted for publication:** 28.03.2025

**Published:** 29.08.2025

# Физиологические особенности устойчивости генотипов томата к высоким температурам



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Томат (*Solanum lycopersicum* L.) является одним из важнейших овощных культур в мире. В условиях изменения климата разработка сортов, устойчивых к жаре, стала ключевой темой исследований в области селекции томата. Тепловая устойчивость – это феномен, регулируемый стадиями развития, и ее механизм до сих пор неизвестен, и на одной стадии развития может быть связана или не быть связанной с устойчивостью на других стадиях. Изучения реакцию генотипов томата и определить ключевые физиологические характеристики, связанные с устойчивостью к высоким температурам, является актуальным.

**Материал и методы.** Экспериментальный дизайн этого исследования был полностью рандомизированным. Тридцать восемь сортов томатов были разделены на типы плодов: черри (<50 г), средний (50–<100 г) и крупный (> 100 г). Сбор данных и статистический анализ проводился с общепринятыми методами.

**Результаты.** Результаты показали, что для эффективной селекции сортов томатов, устойчивых к тепловому стрессу, необходимо учитывать, как физиологические реакции растений томата на высокие температуры, так и генотипическую специфику каждого сорта, а также размер плодов, который оказывает влияние на продуктивность в условиях повышенных температур. Выявлена корреляция между урожайностью в условиях контроля и в условиях высокой температуры, что указывает на то, что сорта с высоким урожаем в условиях контроля могут также показывать хороший результат по урожайности и в условиях высоких температур.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, растения, цветение, плод, урожайность, температура, корреляция

# Physiological features of tolerance of tomato genotypes on high temperatures

## ABSTRACT

**Relevance.** Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important vegetable crops in the world. With climate change, the development of heat-tolerant varieties has become a key research focus in tomato breeding. Heat tolerance is a phenomenon regulated by developmental stages, and its mechanism remains unknown. Tolerance at one stage of development may or may not be linked to tolerance at other stages. Studying the response of tomato genotypes and identifying key physiological traits associated with heat tolerance is highly relevant.

**Methodology.** The experimental design of this study was completely randomized. Thirty-eight tomato varieties were categorized based on fruit type: cherry (<50 g), medium (50–<100 g), and large (>100 g). Data collection and statistical analysis were conducted using widely accepted methods.

**Results.** The results showed that for effective selection of heat-stress-tolerant tomato varieties, it is essential to consider both the physiological responses of tomato plants to high temperatures and the genotypic specificity of each variety. Additionally, fruit size plays a role in productivity under elevated temperature conditions. A correlation was found between yield under control conditions and under high temperature conditions, indicating that varieties with high yield under control conditions may also perform well in terms of yield under high temperature conditions.

## KEYWORDS:

Tomato, plants, flowering, fruit, yield, temperature, correlation

## Введение

Как известно, растения на различных стадиях роста очень чувствительны к температуре, и особенно высокие температуры негативно влияют на репродуктивный рост томатов.

К тому же, индустриализация и урбанизация продолжают ускорять изменения климата, что проявляется в повышении температуры воздуха на сегодняшний день [1, 2]. Прогнозируется, что глобальная средняя температура будет увеличиваться примерно на 0,3°C каждый десятилетий, что приведет к повышению на 1–4°C в период с 2081 по 2100 год по сравнению с температурой, зафиксированной в 1986–2005 годах, согласно Межправительственной панели по изменениям климата (IPCC) [3, 4]. Повышение температуры на 3–4°C может привести к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур до 35% в Азии, Африке и на Ближнем Востоке [5].

В условиях изменения климата разработка сортов, устойчивых к жаре, стала ключевой темой исследований в области селекции томата.

Тепловая устойчивость – это феномен, регулируемый стадиями развития, и ее механизм до сих пор неизвестен, и на одной стадии развития может быть связана [6] или не быть связанной с устойчивостью на других стадиях.

Поэтому программы селекции должны быть нацелены на определение стадий развития, уязвимых к тепловому стрессу, для создания сортов с устойчивостью к высоким температурам. Растения томата обычно более уязвимы к высокой температуре на ранних стадиях роста, поэтому рассаду на соответствующей стадии для пересадки можно использовать как исходный материал для исследования механизма устойчивости к тепловому стрессу.

Данная работа направлена для изучения реакции генотипов томата и определить ключевые физиологические характеристики, связанные с устойчивостью к высоким температурам.

## Материалы и методы исследований

Тридцать восемь сортов томатов были разделены на типы плодов: черри (<50 г), средний (50–<100 г) и крупный (> 100 г) (табл. 1). Все научные исследования по сортообразцам недетерминантного типа томата, представленные в данной работе, были проведены в условиях контролируемых пленочных теплиц Национального научно-исследовательского института плодово-овощных культур и лекарственных растений, г. Ванжу, провинция Чeonлабук-до, Республика Корея (35° 83' с.ш., 127° 03' в.д.).

Анализ температурного режима показало, что минимальные и максимальные температуры в течение всего периода роста составили 11,0°C и 41,6°C в теплице нормальных –контрольной условий (NT) и 10,6°C и 42,5°C в теплице с высокой температуры (HT) соответственно (рис. 1). Средние максимальные и минимальные суточные температуры составили 19,7°C и 35,0°C в NT, и 20,2°C и 38,8°C в теплице HT, что примерно на 4°C выше в HT по сравнению с NT, что совпадает с прогнозами Межправительственной панели по изменению климата (2014). Кроме того, относительная влажность в обеих теплицах варьировалась от 50% до 75% в среднем.

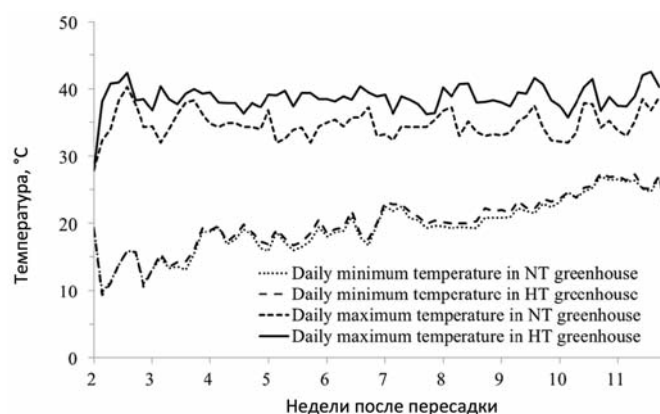


Рис. 1. Ежедневная максимальная и минимальная температура воздуха в течение всего вегетационного периода в теплицах, установленные температурные значения которых составляют 25 и 40°C для NT и HT, соответственно.

Fig. 1. The daily maximum and minimum air temperatures throughout the entire growing season in the greenhouses, with established temperature values of 25°C for NT (normal temperature) and 40°C for HT (high temperature), respectively.

Установленная температура для вентиляции в первую неделю поддерживалась на уровне 25°C в обеих теплицах, чтобы обеспечить акклиматизацию рассады к новым условиям. Затем температура для вентиляции была изменена на 25 и 40°C для нормальных и высоких температур соответственно.

Подготовка почвы, посадка растений в теплицах, фертигация, контроль за распространением вредителей и болезней и температурный режим осуществлялись согласно ранее описанным методам [7].

Сбор данных и статистический анализ проводился с использованием программы SAS Enterprise Guide 7.1 (SAS Institute Inc., США) для выявления существенных различий в репродуктивных параметрах. Средние значения сравнивались с уровнем значимости 5% с использованием множественного диапазона t-теста (Student's t-test) на уровнях  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  и  $p \leq 0,001$  соответственно.

## Результаты и обсуждения

Исследования влияния высоких температур на репродуктивные признаки томата показало, что количество цветов на одном соцветии увеличилось в условиях высоких температур; всего 18 сортов показали значительное увеличение количества цветов на одном соцветии в высоких температурах, но у 3 сортов в подгруппе типа черри наблюдалось снижение, а у 17 сортов не было существенных различий между высокими температурами и контролем (рис. 2A).

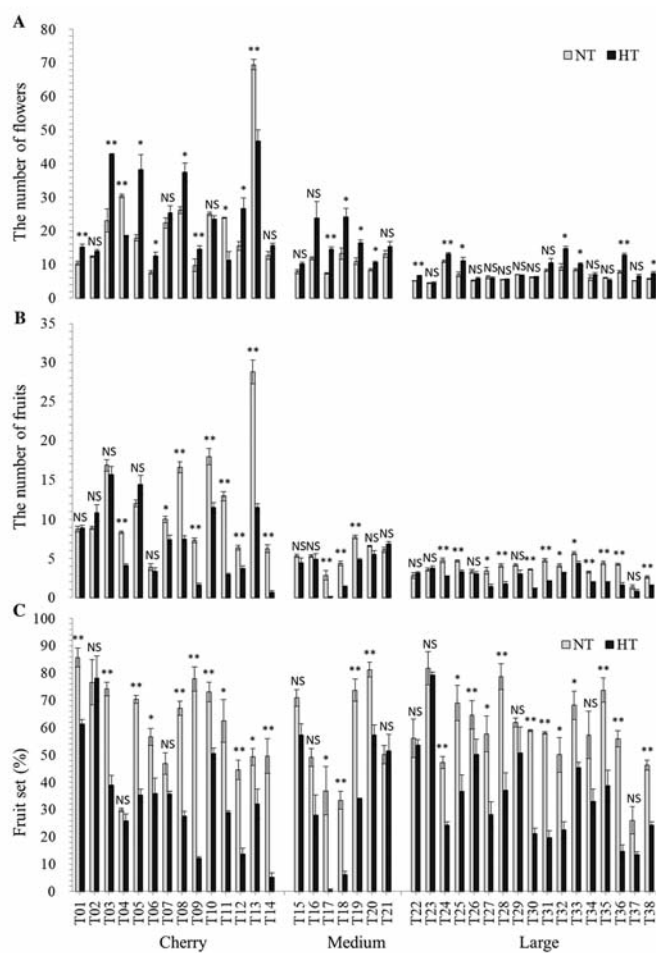
Особенно, доступы T05, T06 и T12 в подгруппе черри, T16, T17, T18 и T19 в подгруппе средних плодов, а также T25 и T36 в подгруппе крупных плодов показали увеличение количества цветов на одном соцветии более чем на 1,5 раза (от 201,4% до 155,6%), но значительное сокращение наблюдалось у T11 (-52,1%) (рис. 2A).

В отличие от количества цветов на одном соцветии, значительное снижение количество плодов на одном соцветии было наблюдаемо у большинства сортов в HT. Значительное снижение количество плодов на одном соцветии наблюдалось у 24 сортов в условиях высоких температур, в то время как у 14 сортов различий между

Таблица 1. Формирование количество цветов и плодов, а также масса плодов у 38 сортов томата в теплицах с нормальной (NT) и высокой температурой (HT)  
 Table 1. Developing of the number of flowers, the number of fruits and weight of fruit per plants in 38 tomato genotypes under normal (NT) and high temperature (HT) greenhouses

| No. | Образцы                      | Тип | Кол-во цветов |            | Разли-чие (%) | Кол-ва плодов |            | Разли-чие (%) | Завязываемость плодов (%) |            | Разли-чие (%) | Вес плода (g) |              | Разли-чие (%) | Урожай (kg) |      | Разли-чие (%) |
|-----|------------------------------|-----|---------------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------------------|------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------------|------|---------------|
|     |                              |     | NT            | HT         |               | NT            | HT         |               | NT                        | HT         |               | NT            | HT           |               | NT          | HT   |               |
| 1   | 2                            | 3   | 4             | 5          | 6             | 7             | 8          | 9             | 10                        | 11         | 12            | 13            | 14           | 15            | 16          | 17   | 18            |
| T01 | K 160289                     | Ч   | 10.3 ± 0.2    | 15.3 ± 0.5 | 147,6         | 8.8 ± 0.4     | 8.9 ± 0.3  | 101,9         | 85.7 ± 3.5                | 61.4 ± 1.6 | 71,6          | 40.4 ± 2.6    | 36.9 ± 2.0   | 91,3          | 1,5         | 1,3  | 86,7          |
| T02 | AVTO1020                     | Ч   | 12.3 ± 1.8    | 14.0 ± 1.0 | 113,5         | 8.9 ± 0.2     | 10.8 ± 1.1 | 121,5         | 76.7 ± 8.3                | 78.1 ± 8.3 | 101,9         | 26.8 ± 0.5    | 27.4 ± 1.6   | 102,2         | 1,2         | 1,1  | 91,7          |
| T03 | Tabtimdaeng T2021            | Ч   | 23.1 ± 0.2    | 42.8 ± 2.6 | 185,2         | 16.8 ± 0.7    | 15.7 ± 1.0 | 93,1          | 74.2 ± 2.5                | 39.0 ± 3.5 | 52,5          | 15.5 ± 1.4    | 14.9 ± 1.1   | 96,1          | 1,3         | 1,1  | 84,6          |
| T04 | Wonye 9015                   | Ч   | 30.4 ± 0.5    | 18.4 ± 1.2 | 60,5          | 8.3 ± 0.2     | 4.1 ± 0.2  | 49            | 29.9 ± 0.6                | 25.9 ± 2.5 | 86,6          | 35.9 ± 2.0    | 28.7 ± 1.9   | 79,9          | 1           | 0,5  | 50,0          |
| T05 | VI037163                     | Ч   | 17.9 ± 0.9    | 38.2 ± 4.6 | 213           | 12.1 ± 0.4    | 14.3 ± 1.2 | 118,6         | 70.4 ± 1.4                | 35.2 ± 2.4 | 50            | 27.5 ± 1.1    | 34.7 ± 3.7   | 126,2         | 1,1         | 1,3  | 118,2         |
| T06 | IT 032964 (CL185-0-1-0)      | Ч   | 7.7 ± 0.6     | 12.6 ± 1.1 | 164,1         | 3.9 ± 0.4     | 3.3 ± 0.4  | 85,1          | 56.6 ± 3.1                | 35.8 ± 5.7 | 63,1          | 32.2 ± 1.8    | 31.9 ± 0.2   | 99,1          | 0,6         | 0,4  | 66,7          |
| T07 | Wonye 9014                   | Ч   | 22.3 ± 1.6    | 25.4 ± 2.1 | 113,8         | 10.0 ± 0.4    | 7.4 ± 0.6  | 74,2          | 46.9 ± 4.0                | 35.6 ± 1.1 | 76            | 36.6 ± 2.3    | 35.6 ± 1.6   | 97,3          | 1           | 0,8  | 80,0          |
| T08 | Wonung 1                     | Ч   | 26.2 ± 1.1    | 37.4 ± 2.7 | 143           | 16.6 ± 0.7    | 7.5 ± 0.4  | 45,2          | 67.2 ± 2.6                | 27.6 ± 1.7 | 41,1          | 19.7 ± 1.5    | 21.3 ± 1.5   | 108,1         | 0,7         | 0,6  | 85,7          |
| T09 | Sincheonggang                | Ч   | 9.8 ± 0.6     | 14.6 ± 0.8 | 149,6         | 7.3 ± 0.3     | 1.6 ± 0.2  | 21,6          | 77.8 ± 4.4                | 12.1 ± 0.7 | 15,5          | 24.8 ± 0.8    | 18.8 ± 1.0   | 75,8          | 0,4         | 0,1  | 25,0          |
| T10 | Minichal                     | Ч   | 25.1 ± 0.6    | 23.4 ± 0.2 | 93,4          | 17.9 ± 1.1    | 11.5 ± 0.6 | 64,2          | 73.0 ± 3.6                | 50.6 ± 2.0 | 69,3          | 19.8 ± 0.7    | 19.5 ± 0.8   | 98,5          | 1,2         | 0,8  | 66,7          |
| T11 | VI030494                     | Ч   | 23.9 ± 3.5    | 11.3 ± 0.3 | 47            | 12.9 ± 0.5    | 2.9 ± 0.2  | 22,6          | 62.5 ± 7.7                | 28.8 ± 0.7 | 46,2          | 40.6 ± 2.8    | 25.5 ± 3.0   | 62,8          | 1,3         | 0,3  | 23,1          |
| T12 | Sugar Yellow × 11AVT-2_4, F8 | Ч   | 15.5 ± 1.3    | 26.6 ± 3.2 | 171,5         | 6.4 ± 0.3     | 3.7 ± 0.4  | 57,1          | 44.6 ± 3.5                | 13.8 ± 2.1 | 30,9          | 36.5 ± 1.6    | 29.3 ± 2.0   | 80,3          | 0,7         | 0,4  | 57,1          |
| T13 | Wonhong 1                    | Ч   | 69.5 ± 1.5    | 46.8 ± 3.3 | 67,3          | 28.8 ± 1.5    | 11.5 ± 0.5 | 39,9          | 49.3 ± 3.1                | 32.1 ± 5.4 | 65,1          | 18.9 ± 0.6    | 16.5 ± 1.3   | 87,3          | 1           | 0,6  | 60,0          |
| T14 | B-Blocking                   | Ч   | 12.7 ± 1.2    | 15.6 ± 0.8 | 123           | 6.3 ± 0.5     | 0.7 ± 0.2  | 10,7          | 49.6 ± 6.4                | 5.2 ± 1.7  | 10,6          | 45.2 ± 3.5    | 20.2 ± 1.2   | 44,7          | 0,8         | 0,1  | 12,5          |
| T15 | 12AVT-22 × Bacchus, F2       | С   | 7.9 ± 0.7     | 10.1 ± 0.6 | 127,4         | 5.3 ± 0.2     | 4.4 ± 0.7  | 82,8          | 70.9 ± 3.1                | 57.2 ± 4.2 | 80,7          | 88.2 ± 6.7    | 87.9 ± 6.3   | 99,7          | 1,1         | 0,4  | 36,4          |
| T16 | L05945                       | С   | 11.8 ± 0.4    | 23.8 ± 4.8 | 201,4         | 5.3 ± 0.2     | 4.9 ± 0.7  | 92,2          | 49.1 ± 3.2                | 28.0 ± 7.3 | 57            | 50.5 ± 3.0    | 76.3 ± 4.9   | 151,1         | 0,5         | 1    | 200,0         |
| T17 | Sugar Yellow × CLN3125-E, F8 | С   | 7.3 ± 0.2     | 14.5 ± 0.7 | 197,7         | 2.8 ± 0.6     | 0.1 ± 0.1  | 2,9           | 36.9 ± 8.8                | 0.5 ± 0.5  | 1,3           | 42.9 ± 7.2    | 53.0 ± 1.9   | 123,5         | 0,2         | 0,05 | 25,0          |
| T18 | Sugar Yellow × CLN3125-A, F8 | С   | 13.3 ± 1.8    | 24.1 ± 2.7 | 181,8         | 4.3 ± 0.3     | 1.4 ± 0.1  | 32,7          | 33.4 ± 3.3                | 6.2 ± 1.3  | 18,5          | 28.5 ± 5.8    | 52.6 ± 6.0   | 184,6         | 0,7         | 0,3  | 42,9          |
| T19 | Power Guard                  | С   | 11.0 ± 1.0    | 16.5 ± 0.7 | 150           | 7.8 ± 0.3     | 4.8 ± 0.2  | 62,4          | 73.7 ± 4.0                | 33.9 ± 0.3 | 45,9          | 42.7 ± 5.0    | 39.1 ± 3.9   | 91,6          | 0,9         | 0,4  | 44,4          |
| T20 | TY Strong                    | С   | 8.4 ± 0.4     | 10.7 ± 0.4 | 126,7         | 6.6 ± 0.1     | 5.5 ± 0.5  | 83,5          | 81.3 ± 2.6                | 57.3 ± 3.7 | 70,5          | 50.8 ± 3.2    | 47.6 ± 2.4   | 93,7          | 1           | 0,8  | 80,0          |
| T21 | B-Strong                     | С   | 13.2 ± 1.0    | 15.3 ± 1.5 | 116,5         | 6.1 ± 0.3     | 6.8 ± 0.3  | 112,3         | 50.1 ± 3.4                | 51.5 ± 6.0 | 102,8         | 69.4 ± 2.4    | 73.3 ± 2.8   | 105,6         | 1,9         | 1,3  | 68,4          |
| T22 | 12AVT-14 × Dafnis, F4        | К   | 5.1 ± 0.1     | 6.5 ± 0.3  | 127,9         | 2.8 ± 0.4     | 3.2 ± 0.2  | 111,8         | 56.1 ± 7.0                | 53.6 ± 2.1 | 95,5          | 65.5 ± 4.0    | 85.2 ± 4.0   | 130,1         | 0,5         | 0,9  | 180,0         |
| T23 | AVTO1314                     | К   | 4.5 ± 0.1     | 4.6 ± 0.4  | 101,9         | 3.6 ± 0.2     | 3.8 ± 0.3  | 104,7         | 81.8 ± 6.0                | 79.3 ± 1.1 | 96,9          | 105.1 ± 8.6   | 129.3 ± 8.7  | 123           | 1,2         | 2    | 166,7         |
| T24 | Tomate SUPER MARMANDE        | К   | 10.9 ± 0.4    | 13.2 ± 0.3 | 120,6         | 4.8 ± 0.3     | 2.8 ± 0.0  | 57,9          | 47.2 ± 2.3                | 24.3 ± 1.2 | 51,5          | 112.2 ± 8.2   | 93.3 ± 4.9   | 83,2          | 1,8         | 1,7  | 94,4          |
| T25 | Avemaria                     | К   | 7.0 ± 0.8     | 11.1 ± 1.0 | 158,3         | 4.7 ± 0.2     | 3.3 ± 0.3  | 69,6          | 69.0 ± 6.5                | 36.6 ± 6.0 | 53,1          | 132.4 ± 8.8   | 154.0 ± 8.0  | 116,3         | 1,9         | 1,5  | 78,9          |
| T26 | T1-Mobir (Uzbekistan)        | К   | 5.3 ± 0.1     | 5.8 ± 0.4  | 109,5         | 3.3 ± 0.2     | 3.0 ± 0.3  | 90            | 64.7 ± 5.2                | 50.1 ± 5.7 | 77,5          | 120.0 ± 12.3  | 114.6 ± 6.1  | 95,5          | 1,4         | 1,3  | 92,9          |
| T27 | SV0244TG                     | К   | 6.2 ± 0.4     | 5.9 ± 0.4  | 95,9          | 3.4 ± 0.5     | 1.4 ± 0.3  | 41,5          | 57.7 ± 6.6                | 28.2 ± 4.8 | 48,8          | 153.8 ± 2.2   | 164.5 ± 10.6 | 107           | 1,9         | 0,7  | 36,8          |
| T28 | Pink Top F3                  | К   | 5.4 ± 0.1     | 5.6 ± 0.1  | 103,1         | 4.1 ± 0.2     | 1.8 ± 0.3  | 42,9          | 78.6 ± 4.7                | 37.1 ± 6.3 | 47,2          | 148.9 ± 8.1   | 119.4 ± 12.5 | 80,2          | 1,3         | 0,5  | 38,5          |
| T29 | Tamseure                     | К   | 7.0 ± 0.0     | 6.7 ± 0.2  | 95,2          | 4.2 ± 0.2     | 3.0 ± 0.5  | 72            | 62.0 ± 1.6                | 50.7 ± 9.6 | 81,8          | 182.3 ± 13.2  | 132.9 ± 7.2  | 72,9          | 0,8         | 0,7  | 87,5          |
| T30 | Tamnara                      | К   | 6.2 ± 0.1     | 6.2 ± 0.3  | 100           | 3.6 ± 0.1     | 1.2 ± 0.1  | 32,6          | 59.0 ± 0.4                | 21.3 ± 1.9 | 36,1          | 67.0 ± 5.2    | 118.7 ± 6.4  | 177,2         | 0,7         | 0,5  | 71,4          |
| T31 | K 151771                     | К   | 8.3 ± 0.4     | 10.5 ± 1.3 | 127,3         | 4.8 ± 0.3     | 2.1 ± 0.1  | 43,9          | 58.0 ± 0.5                | 19.6 ± 2.7 | 33,8          | 108.3 ± 11.4  | 58.6 ± 8.5   | 54,1          | 1,3         | 0,8  | 61,5          |
| T32 | AVTO0101                     | К   | 9.3 ± 1.0     | 14.7 ± 0.8 | 158,6         | 4.1 ± 0.2     | 3.2 ± 0.1  | 77,6          | 50.1 ± 6.3                | 22.6 ± 2.9 | 45,1          | 143.4 ± 10.0  | 122.3 ± 11.8 | 85,3          | 1,6         | 1,6  | 100,0         |
| T33 | Sinheuksu                    | К   | 8.5 ± 0.4     | 10.2 ± 0.4 | 119,6         | 5.7 ± 0.2     | 4.3 ± 0.3  | 76,5          | 68.2 ± 5.3                | 45.2 ± 2.0 | 66,3          | 141.0 ± 4.1   | 102.6 ± 1.3  | 72,8          | 1,3         | 1,4  | 107,7         |
| T34 | Dafnis                       | К   | 6.1 ± 0.8     | 7.1 ± 0.5  | 116,4         | 3.3 ± 0.1     | 1.9 ± 0.1  | 59            | 57.3 ± 8.7                | 33.1 ± 4.4 | 57,7          | 141.4 ± 7.6   | 153.6 ± 14.1 | 108,6         | 1,6         | 1    | 62,5          |
| T35 | SV0244TG                     | К   | 6.0 ± 0.1     | 5.3 ± 0.5  | 87,5          | 4.4 ± 0.2     | 2.0 ± 0.0  | 45,3          | 73.7 ± 4.4                | 38.7 ± 5.6 | 52,5          | 202.3 ± 15.5  | 203.2 ± 15.0 | 100,4         | 2,2         | 0,8  | 36,4          |
| T36 | Tomate RASTEIRO RIO GRANDE   | К   | 7.8 ± 0.4     | 12.8 ± 0.7 | 164,5         | 4.3 ± 0.1     | 1.6 ± 0.3  | 37,3          | 56.0 ± 3.0                | 14.6 ± 2.5 | 26            | 105.7 ± 9.4   | 100.3 ± 7.8  | 94,9          | 1,4         | 0,8  | 57,1          |
| T37 | IT 247072                    | К   | 5.1 ± 0.1     | 6.6 ± 0.6  | 129,5         | 1.3 ± 0.3     | 0.8 ± 0.3  | 56,3          | 26.1 ± 5.1                | 13.5 ± 1.0 | 51,7          | 408.5 ± 25.1  | 417.2 ± 40.9 | 102,1         | 0,9         | 1,1  | 122,2         |
| T38 | IT 032935(CL80-0-2-0)        | К   | 5.8 ± 0.1     | 7.4 ± 0.5  | 129           | 2.6 ± 0.2     | 1.5 ± 0.1  | 58,1          | 46.3 ± 1.9                | 24.4 ± 1.2 | 52,7          | 73.5 ± 5.6    | 78.0 ± 2.8   | 106,1         | 0,5         | 0,5  | 100,0         |

Символ ± обозначает стандартную ошибку.



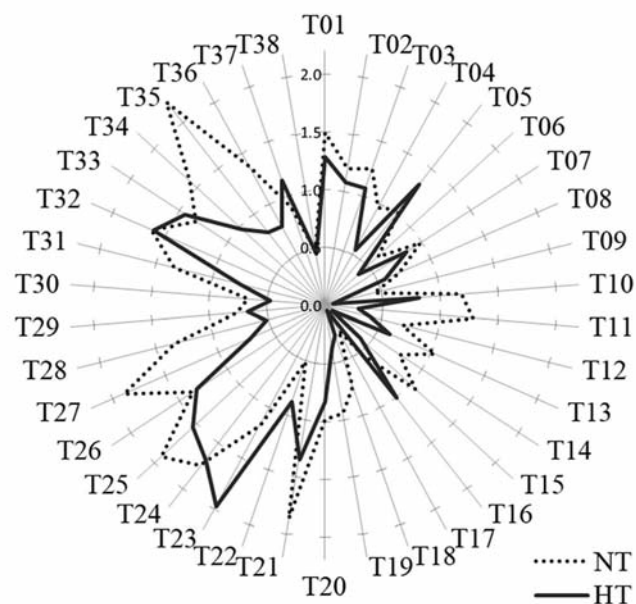
**Рис. 2. Число цветков (А) и плодов (В), а также степень завязываемости плодов (С) сортов томата с различными типами плодов в теплицах с нормальной NT и HT. Столбики представляют стандартные ошибки. NS, \* и \*\* – незначительно, значимо на уровнях  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$  по результатам t-теста, соответственно**

**Fig. 2. Number of flowers (A) and fruits (B), as well as fruit set rate (C) of tomato genotypes with different fruit types in greenhouses with normal NT and HT. The bars represent standard errors. NS, \* and \*\* denote not significant, significant at  $p \leq 0,05$ , and significant at  $p \leq 0,01$  according to the results of the t-test, respectively**

высоких температур и контроля не было (Рис. 2В). Снижение количество плодов на одном соцветия было особенно выражено у сортов Т9, Т11 и Т14 (черри) и Т17 (средние плоды), где снижение составило более 80%. Увеличение количество плодов на одном соцветия в условиях высоких температур не наблюдалось.

Уровень степени завязываемости плодов значительно снизился у 27 сортов в условиях высоких температур, в то время как 11 сортов не выявлено различия между контролем и обработке (Рис. 2С). Урожайность в целом снизилась в условиях высоких температур. Тридцать два сорта томата (84,2%) показали снижение урожайность при высоких температурах, но сорта- Т16 (184,1%), Т22 (171,3%), Т23 (168,7%) и Т37 (126,5%), показали значительное увеличение (Рис. 3). Влияние высокой температуры на вес плодов было специфичным для генотипа. Вес плодов у 22 сортов снизился, а у 16 увеличился в условиях высокой температуры.

Анализ коэффициентов корреляции был проведен на основе общей популяции ( $n = 37$ ) сортов томата и подгрупп с черри ( $n=14$ ), средними ( $n=7$ ) и крупными ( $n=16$ )



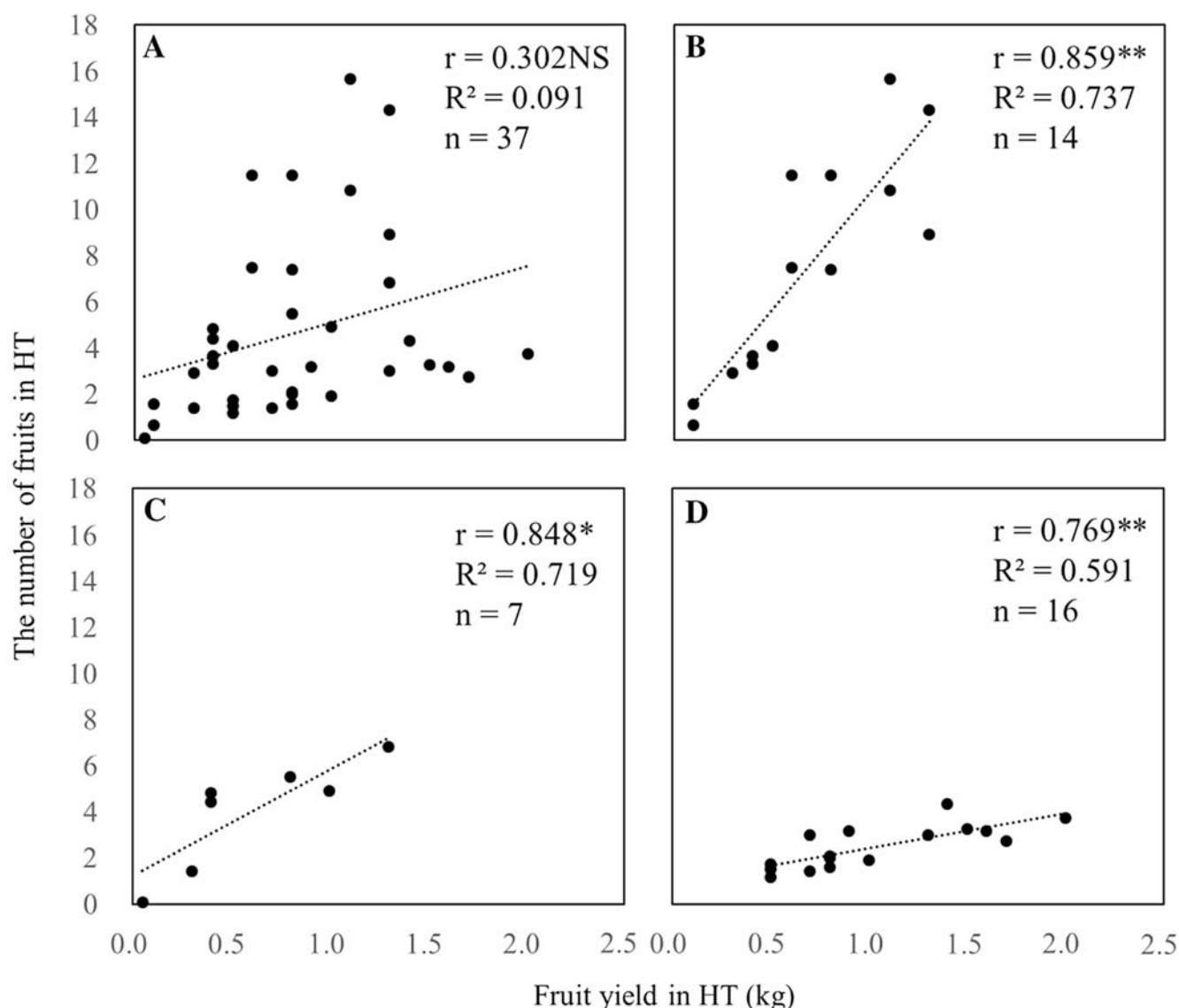
**Рис. 3. Урожайность (кг) сортов томата в условиях теплицы NT и HT**  
**Fig. 3. Yield of tomato genotypes under NT and HT greenhouse conditions**

плодами, чтобы исследовать, различаются ли ассоциации физиологических признаков с толерантностью к высоким температурам в зависимости от размера плодов.

Количество цветков на одном соцветия и плодов имели положительную корреляцию друг с другом независимо от условия контроля и высокой температуры в общей популяции, но эти корреляции несколько различались в каждой подгруппе. Также количество цветков на одном соцветия ( $r = -0,642^{**}$ ) и количество плодов на одном соцветия ( $r = -0,492^{**}$ ) значительно коррелировали с весом плодов в общей популяции при высокой температуры, но не в подгруппах. В условиях высокой температуры показатель количество цветков на одном соцветия негативно коррелировало с степенью завязываемости плодов только в подгруппе крупных плодов ( $r = -0,566^{*}$ ), тогда как количество плодов на одном соцветия положительно коррелировало с степенью завязываемости плодов во всех четырех популяциях. Показатель степень завязываемости плодов в условиях контроля было значительно коррелировано с степенью завязываемости в условиях высокой температуры как в общей популяции, так и во всех подгруппах.

Ключевые физиологические признаки, связанные с урожайностью плодов в условиях высоких температур, различались в зависимости от популяций. Количество плодов на одном соцветия в условиях высокой температуры существенно не коррелировало с урожайностью в условиях высокой температуры в общей популяции ( $r=0,302ns$ ) (рис. 4А); однако существенная корреляция отмечено во всех подгруппах типа с черри ( $r=0,859^{**}$ ) (рис. 4В), средними ( $r=0,848^{**}$ ) (рис. 4С) и крупными плодами ( $r=0,769^{**}$ ) (рис. 4Д).

Уровень степень завязываемости плодов в условиях высокой температуре значимо коррелировал с урожайностью в условиях высокой температуры в общей



**Рис. 4. Корреляции между урожаем и числом плодов при HT в общей популяции (A) и подпопуляциях с черри (B), средними (C) и крупными (D) типами плодов**  
**Fig. 4. Correlations between yield and number of fruits under HT in the overall population (A) and subpopulations with cherry (B), medium (C), and large (D) fruit types**

популяции (рис. 5A) и в подгруппе типа черри (рис. 5B), но не в подгруппах с средними (Рис. 5C) и крупными плодами (рис. 5D).

Интересно, что урожайность в контроле значимо коррелировала с урожайностью плодов в условиях высокой температуры в общей популяции томата (рис. 6A) и в подгруппе типа черри (рис. 6B), что указывает на то, что сорта данного типа с высоким урожаем в контроле могут показывать высокий урожай и в условиях высоких температур.

Однако корреляция не была существенной в подгруппах с средними (рис. 6C) и крупными плодами (рис. 7D). Кроме того, весь плод в контроле ( $r=0,352^*$ ) и при обработке ( $r=0,379^*$ ) существенно коррелировал с урожайностью в общей популяции, но не в подгруппах.

Обобщая полученных данных можно констатировать, что высокая температура оказывает значительное влияние на репродуктивные признаки у томатов.

Высокая температура может вызывать структурные изменения в белках, что нарушает их функцию, становится цитотоксичным и приводит к гибели клеток [8]. Это подразумевает, что репродуктивные органы более под-

вержены структурным изменениям белков при HT.

Реакция репродуктивных органов на HT в нашем исследовании была несколько иной, чем в предыдущих работах. Например, количество плодов на одном соцветии значительно увеличилось при HT среди многих сортов, что отличается от предыдущих исследований, где не наблюдалось изменений [9-11] или наблюдалось сокращение количество цветов на одном соцветия [12, 13]. Это, возможно, связано с различиями в условиях выращивания между нашими исследованиями, проведёнными в теплицах с рассадой, и предыдущими работами, где растения выращивались в горшках в климатических камерах. Разные условия выращивания, такие как температура почвы, могут оказывать влияние на результаты. Необходимы более глубокие исследования для выяснения связи между HT и количество цветов на одном соцветия.

Высокая температура значительно уменьшила количество плодов на одном соцветия и степень завязываемости плодов среди многих сортов. Отмечено значительное снижение степени завязываемости плодов при HT из-за увеличения и уменьшения количество цветов на

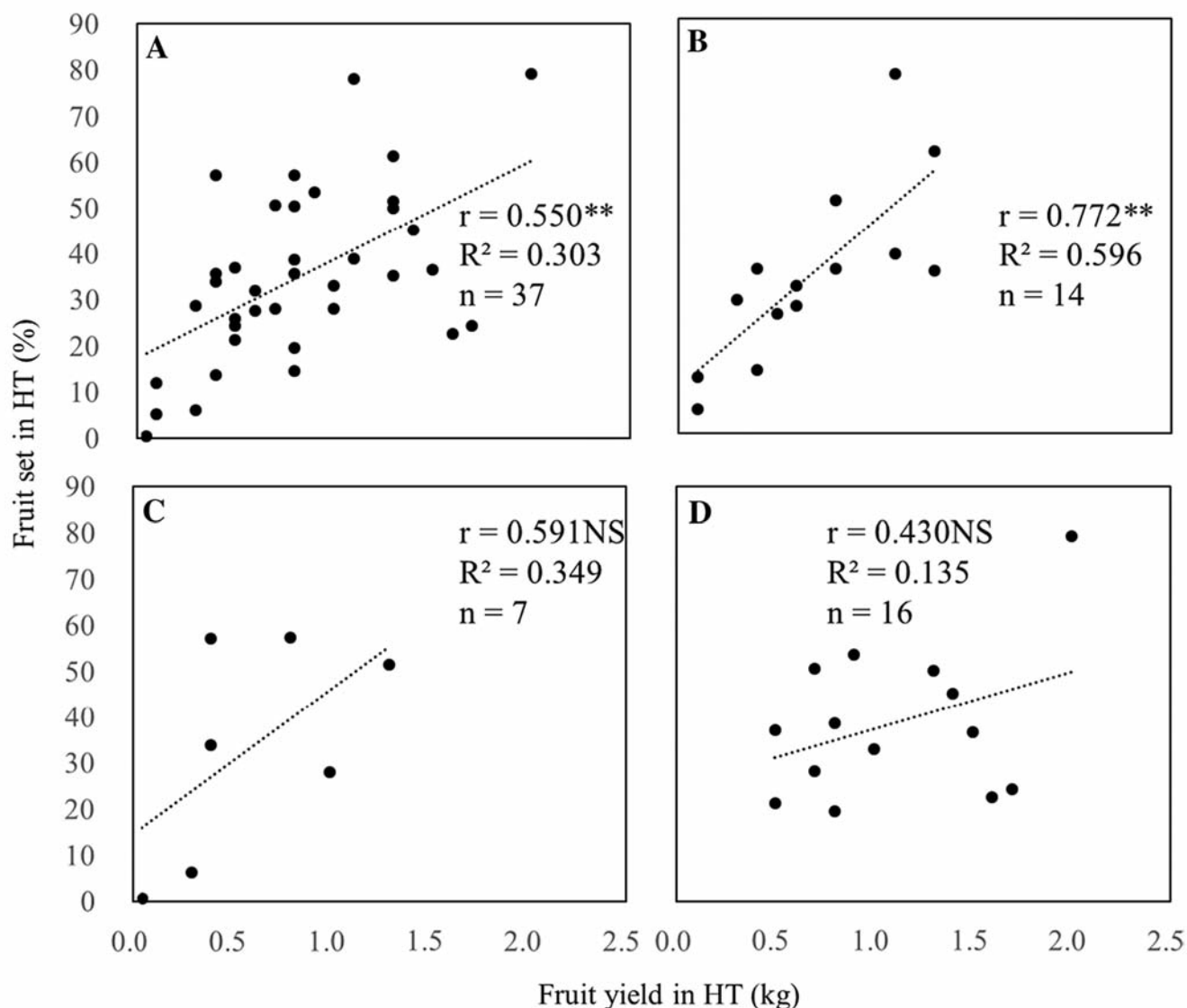


Рис. 5. Корреляции между урожаем и степенью завязываемости плодов при HT в общей популяции (A) и подпопуляциях с черри (B), средними (C) и крупными (D) типами плодов  
 Fig. 5. Correlations between yield and fruit set rate under HT in the overall population (A) and subpopulations with cherry (B), medium (C), and large (D) fruit types

одном соцветия и количество плодов на одном соцветия, соответственно. Ранее также сообщалось о нарушении степени завязываемости плодов при дневной температуре выше 26°C [14-16].

Эффект высокой температуры на весь плод был специфичен для генотипа, проявляясь как в увеличении, так и в снижении среди сортов, тогда как урожайность в целом уменьшалась при условиях выращивания в HT, хотя некоторые сорта показали лучшие результаты в условиях HT, что сходно с результатами предыдущих исследований [13, 17].

В условиях высокой температуры прорастание пыльцы и длина пыльцевых трубочек были значительно снижены по сравнению с нормальными условиями. Sato et al. [18] и Firon et al. [19] сообщали, что снижение плодородия среди сортов томата при высоких температурах можно объяснить плохим прорастанием пыльцы, хотя это варьировалось среди сортов.

Показатель степени завязываемости плодов является одной из важных физиологических характеристик, влияющих на устойчивость к высоким температурам, и

различные генотипы томата были отобраны на основе этого признака [18, 20, 21]. Количество плодов на одном соцветия может быть использован в качестве прогностического показателя для степени завязываемости плодов в условиях высоких температур, так как он положительно коррелирует с степенью завязываемости плодов в условиях высокой температуры. Интересно, что была наблюдаема значительная положительная корреляция между степенью завязываемости плодов в условиях контроля и степенью завязываемости плодов в условиях высоких температур. Это предполагает, что доступные данные о степени завязываемости плодов в условиях контроля могут помочь в предварительном отборе доступных сортов для условия высоких температур.

Xu et al. [12] сообщали, что количество плодов на одном соцветия на соцветии значительно коррелирует с степенью завязываемости плодов при тепловом стрессе. Похожий результат был получен и в нашем исследовании, однако существенная корреляция между количеством цветков на одном соцветия и завязываемостью плодов

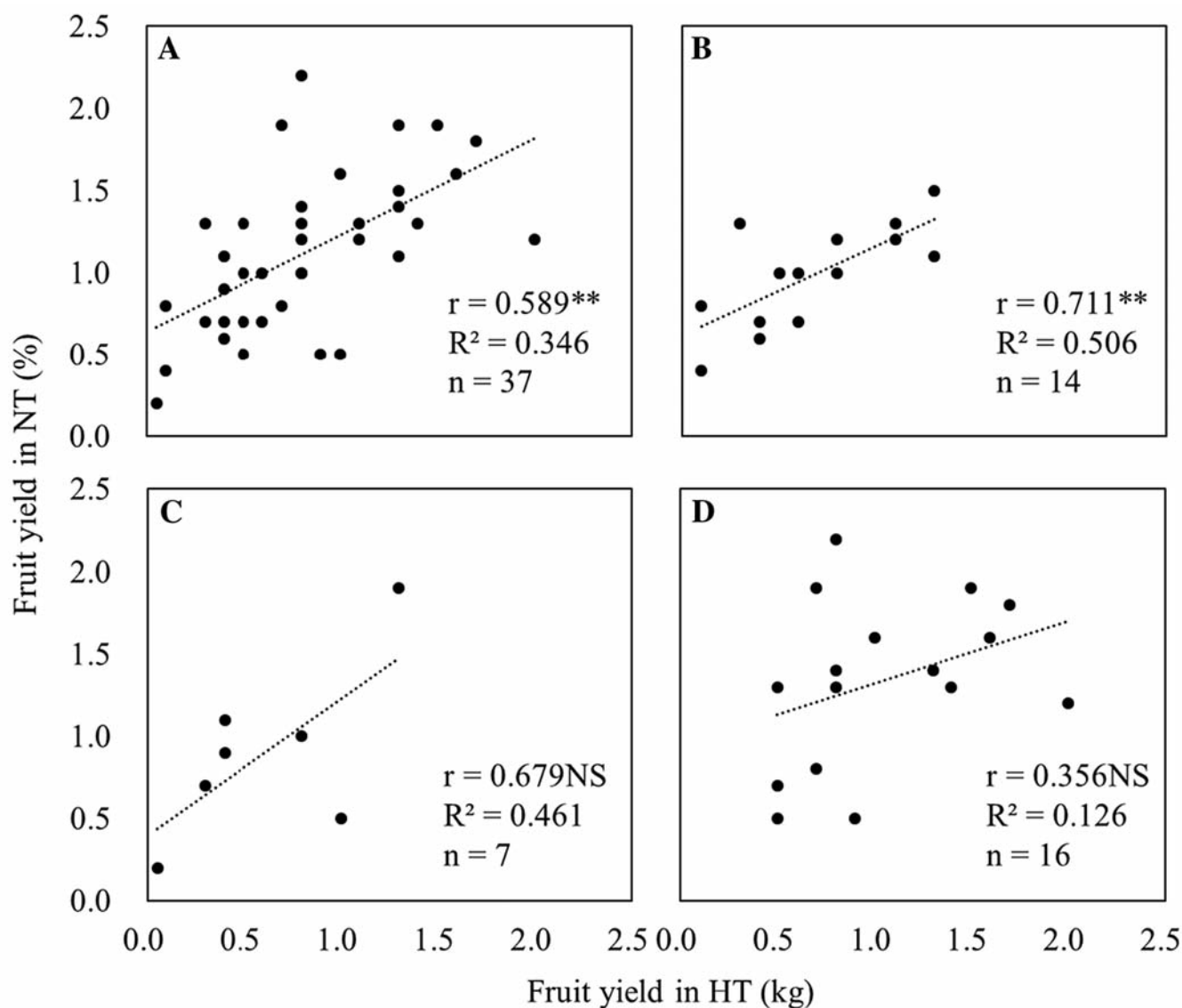


Рис. 6. Корреляции между урожайности плодов при HT и NT в общей популяции (A) и подпопуляциях с черри (B), средними (C) и крупными (D) типами плодов  
 Fig. 6. Correlations between fruit yield under HT and NT in the overall population (A) and subpopulations with cherry (B), medium (C), and large (D) fruit types

отмечено только в подгруппе типа томата с крупными плодами. Также, существенная корреляция была отмечена между количеством плодов на одном соцветии и количеством цветков на одном соцветии показателями, что также подтверждается другим исследованием [22]. Количество плодов на одном соцветии в условиях высоких температур, степень завязываемости плодов в условиях высоких температур и урожайность в условиях контроля были важными физиологическими признаками, связанными с устойчивостью к высоким температурам, на основе корреляционного анализа.

Наши результаты поддерживают гипотезу о том, что урожайность томата в условиях высоких температур зависит от степени завязываемости плодов или формирования дефектных плодов [23, 24], а не от потери нижних цветков [25] или сокращения формирования цветков, жизнеспособности яйцеклеток и пыльцы [14, 26].

Одним из важных выводов нашего исследования является то, что физиологические характеристики, связанные с толерантностью к высоким температурам, различаются в зависимости от типа плодов с разными раз-

мерами. Мы разделили доступные сорта томата на три подгруппы по типу плодов: черри (менее 50 г), средний (50–100 г) и крупный (> 100 г), что не было учтено в предыдущих исследованиях, направленных на определение физиологических параметров, влияющих на толерантность к HT.

Например, количество цветков на одном соцветии в условиях высоких температур может служить предсказателем высокой степени завязываемости плодов в программах селекции томатов для крупноплодных типов, но не для других типов, поскольку существенная корреляция ( $r = -0.566^*$ ) между количеством плодов на одном соцветии и степенью завязываемости плодов была выявлена только в подгруппе с крупными плодами.

Влияние размера плодов на связь физиологических особенностей с высокой температурой было особенно заметным в корреляциях между тремя признаками, такими как количество плодов на одном соцветии, завязываемость плодов и урожайность в подгруппах. Не было найдено существенной корреляции ( $r = 0.302$ , NS) между количеством плодов на одном соцветии и урожайностью в

условиях высокой температуры при использовании всех 37 сортов.

Однако, после того как сорта были разделены по размерам плодов, была обнаружена существенная корреляция между количеством плодов на одном соцветии в условиях высокой температуры и урожайностью в условиях высоких температур в подгруппах томата типа с черри ( $r = 0.859^{**}$ ), средним ( $r = 0.848^{*}$ ) и крупными плодами ( $r = 0.769^{**}$ ), что может объяснить 73.7%, 71.9% и 59.1% изменения урожайности в условиях высоких температур соответственно. Существенная корреляция между степенью завязываемости плодов и урожайностью в условиях высокой температуры была обнаружена только в подгруппе типа черри.

Та же самая корреляция была также выявлена между урожайностью в условиях контроля и в условиях высокой температуры, что указывает на то, что сорта с высоким урожаем в условиях контроля могут также показывать хороший результат по урожайности и в условиях высоких температур.

## Выводы

На основе полученных данных, можно сделать вывод, что репродуктивные органы томатов проявляют высокую чувствительность к тепловому стрессу, что связано со структурными изменениями белков, приводящими к нарушению их функций и клеточной гибели. В нашем исследовании выявлено необычное увеличение количества цветов на одном соцветии при высоких температурах, что может быть обусловлено различиями в методах выращивания. Влияние высоких температур на степень завязываемости плодов, количество плодов на одном соцветии и урожайность зависит от генотипа, а также от типа плодов, что делает их важными прогностическими показателями устойчивости к тепловому стрессу.

Таким образом, для успешной селекции устойчивых сортов томатов необходимо учитывать не только генетические особенности растений, но и их физиологические реакции на высокие температуры, а также размер плодов, что играет ключевую роль в адаптации к повышенным температурам.

## Литература / References

- Hedhly A., Hormaza J.I., Herrero M. Global warming and sexual plant reproduction. *Trends Plant Sci.* 2009;(14):30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.11.001>
- Zandalinas S.I., Fritsch F.B., Mittler R. Global warming, climate change, and environmental pollution: Recipe for a multifactorial stress combination disaster. *Trends Plant Sci.* 2021;(26):588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011>
- Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor, I.G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Rev. Geophys.* 1999;(37):173–199. <https://doi.org/10.1029/1999RG900002>
- Golan F., Prodan Z.H., Nezhadhamadi A., Rahman M. Heat tolerance in tomato. *Life Sci. J.* 2012;(9):1936–1950.
- Bitá C., Gerats T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front. Plant Sci.* 2013;(4):273. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Zhou R., Kjaer K., Rosenqvist E., et al. Physiological response to heat stress during seedling and anthesis stage in tomato genotypes differing in heat tolerance. *Agron. Crop. Sci.* 2017;(203):68–80. <https://doi.org/10.1111/jac.12166>
- Rajametrov S.N., Lee K., Jeong H.-B., Cho M.-C., Nam C.-W., Yang E.-Y. Physiological Traits of Thirty-Five Tomato Accessions in Response to Low Temperature. *Agriculture.* 2021;(11):792. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080792>
- Rieu I., Twell D., Firon N. Pollen development at high temperature: From acclimation to collapse. *Plant Physiol.* 2017;(173):1967–1976. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01644>
- Sato S., Kamiyama M., Iwata T., Makita N., Furukawa H., Ikeda H. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. *Ann. Bot.* 2006;(97):731–738. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl037>
- Peet M., Sato S., Gardner R. Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. *Plant Cell Environ.* 1998;(21):225–231.
- Sato S., Peet M.M., Gardner R.G. Altered flower retention and developmental patterns in nine tomato cultivars under elevated temperature. *Sci Hortic.* 2004;(101):95–101. [doi:10.1016/j.scienta.2003.10.008](http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.008)
- Xu J., Wolters-Arts M., Mariani C., Huber H., Rieu I. Heat stress affects vegetative and reproductive performance and trait correlations in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Euphytica.* 2017;(213):156. DOI 10.1007/s10681-017-1949-6

- Adams S.R., Cockshull K.E., Cave C.R.J. Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits. *Ann. Bot.* 2001;(88):869–877.
- Stevens M.A., Rudich J. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality of the tomato. *HortScience.* 1978;(13):673–679.
- ElAhmadi A.B., Stevens M.A. Reproductive responses of heat tolerant tomatoes to high temperature. *J Am Soc Hortic Sci.* 1979;(104):686–691.
- Lohar D., Peat W. Floral characteristics of heat-tolerant and heat sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars at high temperature. *Sci Hortic.* 1998;(73):53–60
- Ho L.C. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *J Exp Bot.* 1996;(47):1239–1243. [https://doi.org/10.1093/jxb/47.special\\_issue.1239](https://doi.org/10.1093/jxb/47.special_issue.1239)
- Sato S., Peet M. M., Thomas J. F. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant. Cell Environ.* 2000;(23):719–726. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00589.x>
- Firon N., Shaked R., Peet M., Pharr D., Zamski E., Rosenfeld K., Altham L., Pressman E. Pollen grains of heat tolerant tomato cultivars retain higher carbohydrate concentration under heat stress conditions. *Sci. Hortic.* 2006;(109):212–217.
- Abdul-Baki A.A., Stommel J.R. Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum and high-temperature regimes. *HortScience.* 1995;(30):115–117.
- Srivastava K., Kumar S., Bhandari H., Vaishampayan A. Search for tomato hybrids suited for high temperature stress condition. In: Proceedings of SABRAO 13th congress and international conference, September 14–16, Bogor, Indonesia. 2016. pp 137–150
- Panthee D., Jonathan P., Piotrowski A. Heritability of flower number and fruit set under heat stress in tomato. *HortScience.* 2018;(53):1294–1299. <https://www.doi.org/10.21273/HORTSCI13317-18>
- Giorno F., Wolters-Arts M., Mariani C., Rieu I. Ensuring reproduction at high temperatures: The heat stress response during anther and pollen development. *Plants.* 2013;(2):489–506. <https://doi.org/10.3390/plants2030489>
- Rudich J., Zamski E., Regev Y. Genotype variation for sensitivity to high temperature in the tomato: pollination and fruit set. *Bot Gaz.* 1977;(138):448–452.
- Picken A.J.F. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Hortic. Sci.* 1984;(59):1–13.
- Shelby R.A., Greenleaf W.H., Peterson C.M. Comparative floral fertility in heat tolerant and heat sensitive tomatoes. *J Am Soc Hortic Sci.* 1978;(103):778–780. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.103.6.778>

## Об авторах:

**Шерзод Нигматуллаевич Ражаметов** – кандидат с.-х. наук, исследователь, автор для переписки, [sherzod\\_2004@list.ru](mailto:sherzod_2004@list.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7055-9932>

**Мёнг Чеол Чо** – кандидат с.-х. наук, заведующий лабораторией, [chomc@korea.kr](mailto:chomc@korea.kr), <https://orcid.org/0000-0002-8321-4826>

## About the Authors:

**Sherzod N. Rajametrov** – PhD (Agriculture), Post Doctoral Researcher, Correspondence Author, [sherzod\\_2004@list.ru](mailto:sherzod_2004@list.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7055-9932>

**Myeong-Cheoul Cho** – PhD (Agriculture), Head of Laboratory, [chomc@korea.kr](mailto:chomc@korea.kr), <https://orcid.org/0000-0002-8321-4826>