Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-47-50>
УДК 635.64:581.1

Михня Н.И., Лупашку Г.А.,
Кристия Н.И., Кошалык К.В.

Институт генетики, физиологии и защиты растений
Республика Молдова, MD-2002,
Кишинев, ул. Пэдурий, 20
E-mail: mihneanadea@yahoo.com,
nadea.mihnea@yahoo.com,
galinalupascu51@gmail.com

Конфликт интересов: Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Михня Н.И., Лупашку Г.А.,
Кристия Н.И., Кошалык К.В. Вариабельность и
наследуемость устойчивости перспективных
линий томата к высоким температурам. *Овощи
России*. 2020;(6)47-50.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-47-50>

Поступила в редакцию: 08.05.2020

Принята к печати: 07.07.2020

Опубликована: 20.12.2020

Nadejda I. Mihnea, Galina A. Lupashku,
Nicolai I. Cristea, Cristina V. Cosalic

Institute of Genetics, Physiology and Plant
Protection 20, Padurii St., Chisinau, MD-2002,
Republic of Moldova
E-mail: mihneanadea@yahoo.com, nadea.mih-
nea@yahoo.com, galinalupascu51@gmail.com

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

For citations: Mihnea N.I., Lupashku G.A.,
Cristea N.I., Cosalic C.V. Variability and heritage of
the reaction of promising tomato lines to high tem-
peratures. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(6)47-
50. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-47-50>

Received: 08.05.2020

Accepted for publication: 07.07.2020

Accepted: 20.12.2020

Вариабельность и наследуемость устойчивости перспективных линий томата к высоким температурам

Резюме

Актуальность. В Республике Молдова в последние годы во время цветения томата температура воздуха достигает 35°C и выше, что значительно снижает завязываемость плодов, урожайность и качество продукции, поэтому особое значение приобретает создание сортов, устойчивых к температурному стрессу. Актуальность проведенных исследований обусловлена необходимостью идентификации генотипов томата, устойчивых к высоким температурам, выявления генетической природы вариабельности и степени наследуемости органов роста томата при взаимодействии с разными температурными режимами.

Цель исследований – определить влияние стрессовых температур на органы роста и развития растений томата на раннем этапе онтогенеза и на степень генетической, фенотипической изменчивости и наследуемости признаков.

Материалы и методы. Материалом для исследований служили 5 перспективных линий томата с высокими хозяйственно ценными признаками. В качестве стандарта использовали районированный сорт Mary Gratefully. Были использованы четыре уровня температур – оптимальная (25°C) и стрессовые (38, 40 и 42°C). Измеряли длину зародышевого корня и стебелька 7-дневных растений. Опыт закладывали в 3-х повторностях. Были исследованы: генетическая и фенотипическая вариация, коэффициент наследуемости, фенотипический и генотипический коэффициенты вариации, генетический прогресс. Данные были обработаны в пакете программ STATISTICA 7.

Результаты. В результате проведенных исследований выявлена существенная дифференциация реакции генотипов томата на температурный стресс. Установлено значительное влияние температуры на генетические и фенотипические варианты признаков роста и развития растений томата, наследуемость в широком смысле, генотипический и фенотипический коэффициент вариации, генетический прогресс. Большой интерес для дальнейших исследований представляют генотипы Mary Gratefully, L 304, L 306, обладающие высокой устойчивостью по изученным признакам.

Ключевые слова: томат, температура, устойчивость, вариабельность, наследуемость.

Variability and heritage of the reaction of promising tomato lines to high temperatures

Abstract

Relevance. In the Republic of Moldova in recent years, during tomato flowering, air temperature reaches 35°C and higher, which significantly reduces fruit set, yield and product quality, therefore, the creation of varieties resistant to temperature stress is of particular importance. The relevance of the studies is due to the need to identify tomato genotypes resistant to high temperatures, to identify the genetic nature of the variability and degree of inheritance of tomato growth organs when interacting with different temperature conditions.

The purpose of the research is to determine the effect of stress temperatures on the organs of growth and development of tomato plants at an early stage of ontogenesis, the degree of genetic, phenotypic variation and inheritance of characters.

Materials and methods. The research material was 5 promising lines of tomato with high economically valuable traits. As a standard, a homologated variety Mary Gratefully was used. Four temperature levels were used – optimal (25°C) and stress (38, 40 and 42°C). The length of the germinal root and stem of 7-day-old plants was measured. The experiment was made in 3 replicates. The following were studied: genetic and phenotypic variants, heritability coefficient, phenotypic and genotypic coefficients of variation, genetic progress. The data were processed in the STATISTICA 7 software package.

Results. As a result of the studies, a significant differentiation of the reaction of tomato genotypes to temperature stress was revealed. A significant effect of temperature on the genetic and phenotypic varieties of signs of growth and development of tomato plants, heritability in the broad sense, genotypic and phenotypic coefficient of variation, and genetic progress have been established. Of a great interest for further studies are the Mary Gratefully, L 304, L 306 genotypes, which are highly resistant to the studied traits.

Keywords: tomato, temperature, stability, variability, heritability.

Введение

В последнее время всё большее значение приобретает воздействие высоких температур на рост и развитие сельскохозяйственных растений, включая и овощные культуры. Поэтому устойчивость их генотипов к жаре стала актуальной темой фундаментальных и прикладных исследований [6, 7, 8, 9, 13].

Большинство сельскохозяйственных культур подвергаются высокотемпературному стрессу на определенных стадиях развития, и в последнее время это явление становится более частым [14]. Благоприятные температуры для выращивания томата (*Solanum lycopersicum* L.) составляют от 25 до 30°C днем и 20°C ночью. Средние глобальные температуры увеличиваются примерно на 0,3°C за десятилетие. Повышение на 2...4°C по сравнению с оптимальной (25°C) температурой отрицательно влияет на рост растений, цветение, развитие гамет, развитие эмбрионов и прорастание семян; подавляет способность опыленных цветов развиваться в плодах; препятствует созреванию плодов и снижает урожайность. Засуха, вызванная недостаточным количеством осадков и/или изменением структуры осадков, является еще одним важным фактором климатического стресса для томатов, часто сопровождаемым относительно высокой температурой, при которой нарушается суммарное испарение и снижается кинетика фотосинтеза и продуктивность сельскохозяйственных культур [15]. Температура выше оптимальной может вызвать серьезные физиологические нарушения у растений томата, что приведет к сокращению вегетационного периода, ускорению цветения и созревания плодов [4] или неравномерному протеканию этих процессов [3, 12].

Селекция на устойчивость к высоким температурам становится приоритетом для Республики Молдова, так как в период цветения томатов часто поддерживаются высокие температуры воздуха (35-42°C), что значительно снижает завязывание плодов и урожайность. Поэтому создание генотипов томатов, устойчивых к экстремальным факторам окружающей среды, наряду с высокими показателями продуктивности и качества плодов, является серьезной проблемой в наших условиях [10, 11].

Известно, что генетические методы во многом ускоряют селекционный процесс. Исследованием генетической изменчивости признаков урожайности и качества у 20 генотипов томата выявлена высокая наследственность данных признаков. Это наблюдалось в характере роста растений, соотношения размеров корней и побегов, количества первичных ветвей на растение, количества цветков на кисть, количества плодов на растение, длины и ширины плода, продуктивности одного растения, содержания аскорбиновой кислоты, ликопина, хлорофилла и др. в сочетании с высоким генетическим прогрессом. Всё это указывает на аддитивное действие генов при формировании признаков. На основании полученных данных сделан вывод о том, что направленный отбор для указанных признаков может быть эффективным для их желаемого генетического улучшения [16].

Целью наших исследований было определить влияние стрессовых температур на органы роста и развития растений томата на раннем этапе онтогенеза, степень генетической, фенотипической изменчивости и наследуемости признаков.

Материалы и методы

Материалом для исследований служили 6 генотипов томата с высокими хозяйственно ценными признаками: линии L 302, L 303, L 304, L 305 и L 306, которые были получены из следующих гибридных комбинаций: F₁₄ Поток x F₁ (Грунтовый грибовский x *L. chilense*), F₇ (Маэстро x Иришка), F₁₂ (Новичок x Юлиана), F₇ (Маэстро x Иришка) x

Маэстро, F₈ (Mihaela x Dwarf Moneymaker), F₄ (Katerina x Дикая роза). В качестве стандарта использовали районированный сорт Mary Gratefully. Опыты проводились в лабораторных условиях. Трехдневные растения подвергали воздействию высоких температур в течение 6 часов. Измеряли длину зародышевого корня, стебелька и проростка у 7-дневных растений [1]. Были использованы четыре уровня температур: оптимальная – 25°C и стрессовые: 38, 40 и 42°C.

Для анализа наследуемости, варибельности и генетического прогресса количественных признаков роста томата при взаимодействии разных температур применяли следующие формулы:

$$\sigma^2_g = (MSS - MSE)/r;$$

$$\sigma^2_{ph} = \sigma^2_e + \sigma^2_G;$$

$$h^2 = \sigma^2_g / \sigma^2_{ph} \times 100\%;$$

$$PCV = 100 \times \sqrt{\sigma^2_{ph}} / X;$$

$$GCV = 100 \times \sqrt{\sigma^2_g} / X;$$

$$GA = K \times (\sigma_P) \times h^2;$$

$$GA, \% = 100 \times K \times h^2 \times \sigma_{ph} / X, \text{ в которых:}$$

σ^2_g – генетическая вариация (*genetic variance*); σ^2_{ph} – фенотипическая вариация (*phenotypic variance*); σ^2_e – ошибка дисперсии (*error variance*), или $VE = MSE$; MSS – средняя сумма квадратов (*average sum of the squares*); h^2 – коэффициент наследуемости в широком смысле слова (*heritability in broad sense*); $PCV, \%$ – фенотипический коэффициент вариации (*phenotypic coefficients of variation*); $GCV, \%$ – генотипический коэффициент вариации (*genotypic coefficients of variation*); $GA, \%$ – генетический прогресс (*genetic advance*) [2, 5].

Полученные данные обрабатывали в пакете программ STATISTICA 7.

Результаты и их обсуждение

Длина корешка. Установлено, что под влиянием температуры 38°C произошло стимулирование роста зародышевого корешка у сорта Mary Gratefully и линии L 304 и незначительное подавление у остальных форм (рис. 1).

В оптимальных условиях длина корешка варьировала в пределах 26,2...44,8 мм, в то время как при 38°C – 30,4...44,7 мм. Степень подавления роста для изученных линий L 302, L 303, L 305 и L 306 составила соответственно -22,9; -0,7; -12,0; -10,1% (по сравнению с оптимальными условиями). В случае температурного режима 40°C степень подавления роста зародышевого корешка варьировала в пределах -13,0...-27,8%. Стимулирование выявлено у сорта L 303 – на 3,6% и L 304 – на 31,6%. Отмечено незначительное ингибирование у сорта Mary Gratefully и линии L 306, что свидетельствует о генетической детерминированности реакции на стрессовые температуры. Под влиянием температуры 42°C произошло выраженное подавление роста корешка у большинства изученных генотипов за исключением L 304 и L 306, где показатели были на уровне контроля. Степень подавления роста по сравнению с контролем составила, в %: 27,1 (Mary Gratefully); 54,8 (L 302); 47,5 (L 303); 32,5 (L 305); 11,5 (L 306).

Длина стебелька. В контрольном варианте показатель варьировал в пределах 11,6...19,0 мм (рис. 2). Под действием стрессовых температур генотипы проявили довольно дифференцированную реакцию и высокую варибельность признака: в 14 случаях произошло ингибирование (-8,3...-44,7%), а в 4-х – стимуляция роста стебелька (+1,1...+26,7%). По сравнению с оптимальной температурой при режиме 40°C у 5 генотипов рост корешка был существенно ингибирован, особенно это заметно у L 305 и L 306, у которых снижение показателя составило 33,5 и 25,2% соответственно. Наиболее устойчивыми оказались линии L

Рис. 1. Влияние температуры на длину корешка (А), стебелька (Б) и проростка (В) томата, 2020 год

По горизонтали – температуры: 1 – 25°C; 2 – 38°C; 3 – 40°C; 4 – 42°C

Fig. 1. The effect of temperature on the length of the root (A), stem (B) and seedling (B) of tomato, 2020 year

Horizontal – the temperatures: 1 – 25°C; 2 – 38°C; 3 – 40°C; 4 – 42°C

303 и L 304, длина корешка которых была практически на уровне контроля. Выявлено, что стрессовая температура 42°C ингибировала рост стебелька у всех генотипов. Ингибирование стебелька по отношению к контролю варьировала в пределах -13,3...-44,7%. Наиболее сильное влияние температуры на длину стебелька выявили у линий L 302 (-37,5%), L 303 (-44,7%) и L 305 (-40,4%).

Длина проростка. Установлено, что температура 38°C оказала стимулирующее действие в случае сорта Mary Gratefully (+33,9%) и линии L 304 (+33,8%). У других четырех генотипов показатель был на уровне контроля. Температура 40°C вызвала достоверное снижение длины проростка только у линии L 305 (-29,6%), а температура 42°C – у L 302 (-40,5%), L 303 (-46,7%) и L 305 (-34,9%).

Следовательно, поддержание прорастающих семян томата в течение 6-ти часов при 42°C оказалось наиболее действенным для дифференциации генотипов по степени устойчивости к температурному тепловому стрессу.

На основании оценки генотипов томата по трем тест-параметрам, можно сделать вывод о том, что сорт Mary Gratefully и линии L 304, L 306 проявили устойчивость к тепловому стрессу (38, 40, 42°C).

Установлено, что между органами роста томата на фоне разных температур существует высокая корреляционная зависимость: корешок-стебелек – 0,92*, корешок-длина проростка – 0,97*, стебелек-длина проростка – 0,96* ($p < 0,05$).

Статистическая обработка экспериментальных данных по всем генотипам в 2-х факторном дисперсионном ана-

Таблица 1. Факторный анализ взаимоотношений растение томата x температурный стресс, 2020 год
Table 1. Factor analysis of the relationships between tomato plant and temperature stress, 2020 year

Источник вариальности	Степень свободы	Длина корешка		Длина стебелька		Длина проростка	
		Сумма квадратов	Вклад в источник вариальности, %	Сумма квадратов	Вклад в источник вариальности, %	Сумма квадратов	Вклад в источник вариальности, %
Генотип	5	285,26*	28,3	67,21*	37,3	611,2*	32,6
Температура	3	568,63*	56,5	94,76*	52,5	1021,0*	54,4
Взаимодействие генотип x температура	15	99,51	9,9	10,91	6,1	148,0	7,9
Остаточные эффекты	48	53,39	5,3	7,45	4,1	96,5	5,1

*- $p < 0,05$

лизе позволила определить изменчивость признаков и степень влияния каждого из факторов (генотип, температура) а также их взаимодействия на вариабельность изученных признаков (табл. 1).

Установлено, что вклад генотипа, температуры и их взаимодействия в источник вариабельности признака длины корешка составил 28,3; 56,5; 9,9%, стебелька – 37,3; 52,5; 6,1%, проростка – 32,6; 54,4; 7,9%, соответственно. Таким образом, для роста корешка, стебелька и проростка наибольшее значение имеет фактор температуры (52,5-56,5%). Стоит отметить, что генотип также сыграл довольно важную роль (28,3-37,3%), что свидетельствует о сравнительно разной фенотипической пластичности органов роста растений томата на разных температурных фонах.

Генетическая (σ^2_g) и фенотипическая (σ^2_{ph}) варианты были намного выше у длины проростка, чем у корешка и стебелька (табл. 2).

Таблица 2. Генетическая вариабельность и наследуемость устойчивости к температурному стрессу, оценённые на ранних стадиях развития растений томата, 2020 год
Table 2. Genetic variability and heritability of resistance to temperature stress, evaluated in the early stages of development of tomato plants, 2020 year

Параметр	Длина корешка	Длина стебля	Длина проростка
σ^2_g	77,29	19,92	171,6
σ^2_{ph}	130,68	26,67	268,1
h^2	0,59	0,75	0,64
GCV, %	26,3	33,03	28,1
PCV, %	34,2	38,2	35,1
PCV – GCV, %	7,9	5,2	7,0
GA	12,24	6,2	17,8
GA, %	36,63	45,9	38,2

Высокий коэффициент наследуемости в широком смысле слова ($h^2 = 0,59-0,75$) свидетельствует о хорошей наследуемости изученных признаков при взаимодействии с температурой. Отметим, что генетический коэффициент вариации также был высоким – 26,3-33,03% для изученных признаков, что доказывает генетическую природу их вариабельности. Разница между PCV и GCV составила 5,2-7,9% и отражает влияние температуры на реакцию органов роста.

Выводы

1. Выявлено, что реакция растений томата (рост корешка, стебелька, проростка) на стрессовые температуры была различной и зависела от органа роста, генотипа и уровня температуры.

2. В результате факторного анализа установлено, что вклад температуры в вариабельность формирующихся органов растения томата существенно выше вклада генотипа.

3. Сорт Mary Gratefully и линия Л 306 показали пониженную чувствительность к действию высоких температур, в связи с чем они представляют интерес в селекционной работе в качестве возможных геноисточников жароустойчивости.

4. Установлено, что взаимодействие растений томата с температурой в сильной степени влияет на генотипическую и фенотипическую вариабельности, а также на наследуемость органов роста и развития.

5. Высокие значения коэффициентов наследуемости и генетического прогресса для органов роста томата на раннем этапе онтогенеза при взаимодействии с различными уровнями температуры указывают на то, что эти признаки контролируются аддитивными генами, что свидетельствует о перспективности использования идентифицированных устойчивых генотипов в качестве доноров резистентности к высокой температуре.

Об авторах:

Михня Надежда Ильинична – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаб. прикладной генетики
Лупашку Галина Алексеевна – доктор биологических наук, профессор, зав. лаб. прикладной генетики
Кристья Николай Иванович – младший научный сотрудник
Кошалык Кристина Валерьевна – младший научный сотрудник

About the authors:

Nadejda I. Mihnea – Doc.Sci.(Biology), professor, Leader Researcher of laboratory applied genetics
Galina A. Lupashku – Doc.Sci.(Biology), professor, head of laboratory applied genetics
Nicolai I. Cristea – Junior Researcher
Cristina V. Cosalic – Junior Researcher

+ Литература / References

- Ивакин А. Определение жаростойкости овощных культур по ростовой реакции проростков после прогревания их при высокой температуре (томаты). Методические указания. Ленинград, 1979. 9 с. [Ivakin A. Determination of heat resistance of vegetable crops by the growth reaction of seedlings after heating them at high temperature (tomatoes). Methodical instructions. Leningrad, 1979. 9 p. (In Russ.)]
- Adeniji O.T. Genetic variation and heritability for foliage yield and yield component traits in edible *Amaranthus cruentus* [L.] genotypes. *Bangladesh J. Agril. Res.* 2018;43(3):513-524.
- Adams S.R., Valdes V.M. The effect of periods of high temperature and manipulating fruit load on the pattern of tomato yields. *J. of Hortic. Sci. and Biotech.* 2002;(77):461-466.
- Ansary S.H. Breeding Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tolerant to high temperature stress. PhD Thesis, Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya, West Bengal, India. 2006; 147.
- Balkan A. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in M2-4 generations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Turkish J. of Field Crops.* 2018;(23):173-179.
- Bitá C.E. et al. Temperature stress differentially modulates transcription in meiotic anthers of heat-tolerant and heat-sensitive tomato plants. *BMC Genomics.* 2011;(12):384. 10.1186/1471-2164-12-384.
- Bowen J. et al. The heat shock response is involved in thermotolerance in suspension-cultured apple fruit cells. *J. of Plant Physiol.* 2002;(159):599-606.
- Harndahl U., Sundby C. Does the chloroplast small heat shock protein

protect photosystem II during heat stress *in vitro*? *Physiol. Plantarum.* 2001;(111):273-275.

9. Hazra P. et al. Breeding Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Resistant to High Temperature Stress. *Int. J. of Plant Breed.* 2007;1(1):31-40.

10. Mihnea N., Lupaşcu G. Heritability of the tomato genotypes resistance to the high temperatures of air. *International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture". Horticulture Bucureşti.* 2018;(LXII):339-343.

11. Mihnea N., Botnari V., Lupaşcu G. Tomato Varieties with High Indices of Productivity and Resistance to Environmental Factors. *Ekin J. of Crop Breed. and Genet.* 2016;2(1):15-22.

12. Mulholland B.J. et al. Effects of high temperature on tomato summer fruit quality. *J. of Hort. Sci. and Biotechn.* 2003;(78):365-374.

13. Park S.M., Hong C.B. Class I small heat-shock protein gives thermotolerance in tobacco. *J. of Plant Physiol.* 2002;(159):25-30.

14. 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 and Env.* 2000;(23):719-726.

15. Solankey S.S., Singh R.K., Baranwal D.K., Singh D.K. Genetic Expression of Tomato for Heat and Drought Stress Tolerance: An Overview. *International Journal of Vegetable Science.* 2015;21(5):496-515.

16. Somraj B., Reddy RVSK, Reddy R., Saidaiyah P., Reddy M.T. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality attributes in heat tolerant exotic lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.* 2017;6(4):1956-1960.