

География

УДК 58.032

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА НА ФОНЕ СОЛЕВОГО СТРЕССА
НА РАЗВИТИЕ ВОЗБУДИТЕЛЯ МУЧНИСТОЙ РОСЫ ПШЕНИЦЫ

Г. А. АВЕТИСЯН *

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

В работе приведены результаты исследования влияния обработки солевым раствором ($0,1\text{--}1,0 \text{ mM NaCl}$) на развитие конидиального инокулюма возбудителя мучнистой росы *Blumeria graminis* (DC) Speer. на растениях мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. С помощью сканирующего электронного микроскопа было обнаружено, что конидии патогена, попадая на поверхность эпидермальной ткани листьев пшеницы, плохо прорастали при добавлении в почву солевых растворов, но формировали ростковые трубки, которые имели небольшие размеры, и аппрессории не образовывались. Анализируя результаты проведенного исследования можно предположить, что в основе действия различных неблагоприятных факторов существует общий механизм, связанный с повышением уровня активных форм кислорода в тканях растения.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.138>

Keywords: powdery mildew, wheat, water deficiency, salt stress, pathological process, abnormal development.

Введение. Растения в природе подвержены различным стрессам, абиотический стресс является одним из основных факторов, ограничивающих продуктивность и урожайность сельскохозяйственных культур [1]. Среди абиотических стрессов засуха и высокое засоление почвы являются наиболее распространенными угрозами снижения урожайности и, следовательно, величины продовольствия во всем мире [2, 3].

Недостаточное количество осадков приводит к постепенному уменьшению количества доступной воды в почве, длительные периоды засухи вызывают преждевременную гибель растений и полную потерю урожая. Эта проблема может обостриться в ближайшем будущем в засушливых и полузасушливых регионах. И если засуха означает, что для эффективного роста растений необходимо орошение, то длительное орошение создает еще одну серьезную проблему для сельского хозяйства – засоление почвы [4].

Отрицательное влияние как засухи, так и засоления вызывает ряд морфологических, физиологических и молекулярных изменений в растениях [5]. Дефицит воды вызывает снижение водного потенциала, затем наблюдаются

* E-mail: avetisyang@yandex.ru

осмотический стресс и ограниченное поглощение питательных веществ с закрытием устьиц, снижением активности фотосинтеза, окислительным стрессом и ингибированием роста листьев [6]. Повышенное содержание в почве NaCl ведет к ингибированию практически всех жизненно важных функций растений. Скопление даже безвредных солей повышает осмотическое давление почвенного раствора и затрудняет водоснабжение растений [7]. Отрицательное влияние засоления проявляется в ухудшении многих свойств и функций растений и в итоге приводит к задержке роста и снижению продуктивности. Осмотический стресс, вызванный засолением, имеет почти такой же эффект, как засуха с ограничением фотосинтеза, ингибированием роста листьев и накоплением активных форм кислорода [8]. Кроме этого, засоление и засуха влияют и на развитие возбудителей различных заболеваний, среди которых мучнистая роса наносит серьезный вред посевам пшеницы и относится к наиболее распространенным заболеваниям зерновых культур. В связи с этим изучение адаптационных способностей сельскохозяйственных культур с помощью применения провокационных фонов имеет важное значение.

Целью работы было выявление особенностей развития возбудителя мучнистой росы на листьях мягкой пшеницы в условиях постепенного обезвоживания почвы при разном содержании NaCl.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования служили растения мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. и возбудитель мучнистой росы пшеницы *Blumeria graminis* (DC.) Speer. Растения мягкой пшеницы выращивали в горшках при естественном освещении. Недельные проростки растений пшеницы заражали конидиями *B. graminis* f. sp. *tritici* путем стряхивания спор патогена с пораженных листьев на инокулируемые.

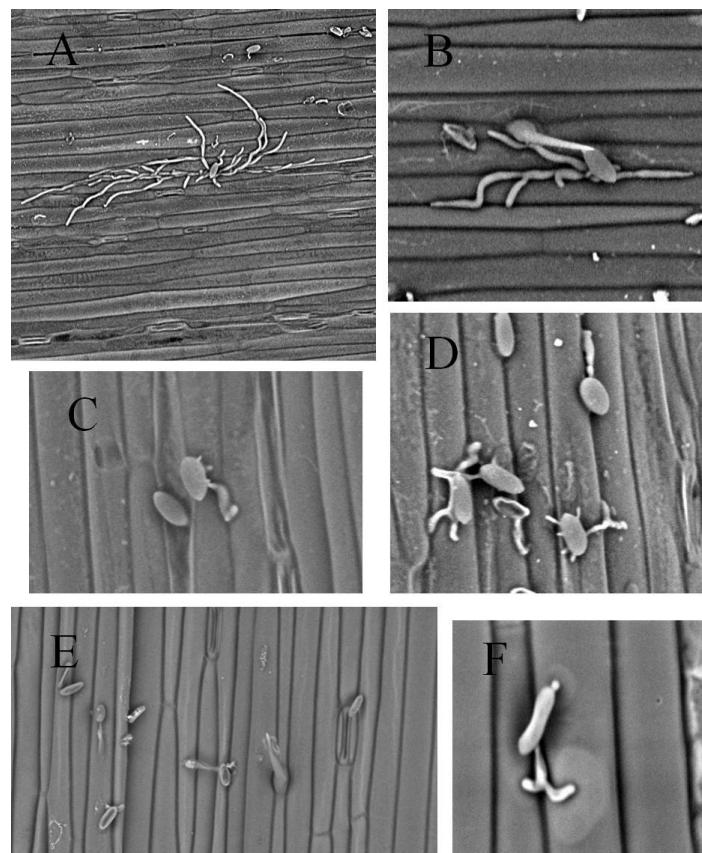
С целью исследования особенностей развития возбудителя мучнистой росы в условиях постепенного обезвоживания почвы при разном содержании NaCl использовали солевые растворы концентраций 0,1–1,0 mM. Концентрации были выбраны с учетом литературных данных [9, 10]. В контроле использовали дистиллиированную воду.

Морфологию гриба изучали под световым и сканирующим электронным микроскопом. Материал для световой микроскопии окрашивали 1%-м амидочерным в 7%-й уксусной кислоте. Для сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) использовали срезы листовой ткани без химической фиксации, препараты просматривали в условиях высокого вакуума при температуре –30°C с применением замораживающей приставки.

Результаты исследований и их обсуждение. Известно, что конидии возбудителя мучнистой росы, попадая на поверхность эпидермальной клетки растений, прорастают первичной ростковой трубкой, а еще через 2 ч аппрессориальной ростковой трубкой, которая в дальнейшем формирует аппрессорий. Первичная ростковая трубка служит для закрепления конидиального инокулума на поверхности растения, тогда как на лопастях сформированного аппрессория формируется инфекционный вырост, который прободает клеточную стенку растения и формирует гаусторию для активного транспорта питательных веществ из клетки растения. После образования первичных инфекционных

структур начинается образование гиф эктофитного мицелия. При совместимой комбинации у патогена наблюдается активный рост мицелия с формированием гиф с многочисленными гифальными лопастями. Но при несовместимости грибного патогена и растения-хозяина у прорастающих конидий наблюдаются нарушения в дифференциации и различные аномалии [11].

С помощью СЭМ было обнаружено, что конидии мучнисторосянного патогена, попадая на поверхность эпидермальной ткани листьев пшеницы, плохо прорастали при обработке солевыми растворами (см. рисунок, С–F), но формировали ростковые трубки, которые имели небольшие размеры, или множество ростковых трубок, не функционирующих в дальнейшем, аппресории не образовывались. Наиболее значительное появление аномалий мы наблюдали при концентрации солевого раствора 0,4 и 0,6 mM NaCl, а наиболее значительное подавление гриба – при 1 mM NaCl.



Развитие возбудителя мучнистой росы на листьях пшеницы (СЭМ, 48–72 ч после инфицирования): А, В) контроль; С) 0,3 mM NaCl; Д) 0,4 mM NaCl; Е) 0,6 mM NaCl; Ф) 1 mM NaCl.

Известно, что характер взаимоотношений между растением-хозяином и патогеном устанавливается в период развития первичных инфекционных

структур гриба, т.е. первичной ростковой трубки и аппрессориальной ростковой трубки. В предыдущих работах мы исследовали влияние окислительного стресса на взаимоотношения возбудителя мучнистой росы и пшеницы. Было показано, что обработка прооксидантами приводила к появлению аномальных инфекционных структур и в высоких концентрациях практически полностью подавляла развитие мучнисторосяного гриба [12]. Особенностью солевого стресса для растения является общее обезвоживание организма, которое впоследствии приводит к гормональному дисбалансу и изменяет ферментную активность, снижается фотосинтетическая активность. Активные формы кислорода, такие как супероксидный радикал, перекись водорода и гидроксильный радикал, также производятся во время стресса от засоления и отвечают за повреждение мембран. Таким образом, анализируя результаты проведенного исследования и сопоставляя их с полученными ранее, можно предположить, что в основе действия различных неблагоприятных факторов существует общий механизм, связанный с повышением уровня активных форм кислорода в тканях растения.

Заключение. Изменения при прорастании конидий являются важными симптомами нарушения патологического процесса. Это вызывает интерес к изучению особенностей ранних стадий развития возбудителя мучнистой росы пшеницы на поверхности ткани листьев растений. Также определение физиологических признаков, связанных с устойчивостью к стрессу, может быть использовано в качестве критерия отбора для улучшения адаптации пшеницы к стрессовым условиям. А поиск соединений, направляющих развитие возбудителя по аномальному пути, имеет важное значение, так как позволяет снизить частоту инфицирования листьев пшеницы.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 122042700002-6.

Поступила 04.04.2025
Получена с рецензии 17.06.2025
Утверждена 15.08.2025

ЛИТЕРАТУРА

1. de Oliveira A.B., Alencar N.L.M., Gomes-Filho E. Comparison between the Water and Salt Stress Effects on Plant Growth and Developmen. *Responses of Organisms to Water Stress* **4** (2013), 67–94.
<https://doi.org/10.5772/54223>
2. Dai A. Drought under Global Warming: A Review. *Wiley Interdisciplinary Revie Climate Change* **2** (2011), 45–65.
<https://doi.org/10.1002/wcc.81>
3. Shrivastava P., Kumar R. Soil Salinity: A Serious Environmental Issue and Plant Growth Promoting Bacteria as one of the Tools for its Alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences* **22** (2015), 123–131.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>

4. Gil R., Boscaiu M., et al. Are Soluble Carbohydrates Ecologically Relevant for Salt Tolerance in Halophytes? *Functional Plant Biology* **40** (2013), 805–818.
<https://doi.org/10.1071/FP12359>
5. Zhu J.K. Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants. *Annual Review of Plant Biology* **53** (2002), 247–273.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>
6. Munns R., James R.A. Screening Methods for Salinity Tolerance: A Case Study with Tetraploid Wheat. *Plant and Soil* **253** (2003), 201–218.
<https://doi.org/10.1023/A:1024553303144>
7. Avsian-Kretchmer O., Gueta-Dahan Y., et al. The Salt-Stress Signal Transduction Pathway that Activates the Gpx1 Promoter is Mediated by Intracellular H₂O₂, Different from the Pathway Induced by Extracellular H₂O₂. *Plant Physiology* **135** (2004), 1685–1696.
<https://doi.org/10.1104/pp.104.041921>
8. Diouf I.A., Derivot L., et al. Water Deficit and Salinity Stress Reveal Many Specific QTL for Plant Growth and Fruit Quality Traits in Tomato. *Frontiers in Plant Science* **9** (2018), 279.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00279>
9. Белова Т.А., Кравченко А.С. Физиологические основы адаптации растений к воздействию солевого стресса. *Auditorium* **1** (2018), 6.
10. Weggler K., McLaughlin M.J., Graham R.D. Effect of Chloride in Soil Solution on the Plant Availability of Biosolid-Borne Cadmium. *Journal of Environmental Quality* **33** (2004), 496–504.
<https://doi.org/10.2134/jeq2004.4960>
11. Андреев Л.Н., Талиева М.Н. *Физиологические аспекты иммунитета растений. Облигатный паразитизм*. Цитофизиологические аспекты: сб. науч. статей (1991), 5–11.
12. Аветисян Г.А., Аветисян Т.В. Аномалии ранних стадий развития *Erysiphe graminis tritici* при окислительном стрессе. *Вестник Московского университета. Биология* **2** (2017), 70–74.

գ. Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

**ԱՂԱՅԻՆ ՍԹՐԵՍԻ ՖՈՆԻ ՎՐԱ ԶՐԱՅԻՆ ՊԱԿԱՍՈՐԴԻ
ԱՉԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՑՈՐԵՆԻ ՓՈՇՈՏ ԲՈՐԲՈՍԻ ՀԱՐՈՒՑԻՉԻ
ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՎՐԱ**

Ամփոփում

Հողվածում թերված են *Triticum aestivum* L. փափուկ ցորենի բույսերի վրա փոշոտ բորբոսի հարուցիչ *Blumeria graminis* (DC) Speer.-ի կոնիդիային ինոկուլումի զարգացման վրա աղային լուծույթով (0,1–1,0 մՄ NaCl) մշակման ազդեցության ուսումնասիրության արդյունքները: Ականավորող էլեկտրոնային մանրադիտակի օգնությամբ հայտնաբերվեց, որ պաթոզեն կոնիդիաները, հայտնվելով ցորենի տերևների էպիթերմալ հյուսվածքի մակերևույթի վրա, վատ էին աճում հողում աղային լուծույթների ավելացումից հետո, բայց ձևավորում էին աճի խողովակներ, որոնք ունեին փոքր չափեր և ապրեսորիաներ չեին առաջանում: Վերլուծելով կատարված հետազոտության արդյունքները, կարելի է ենթադրել, որ տարրեր անբարենպաստ գործոնների ազդեցության հիմքում գոյություն ունի ընդհանուր մեխանիզմ՝ կապված բույսի հյուսվածքներում թթվածնի ակտիվ ձևերի մակարդակի բարձրացման հետ:

G. A. AVETISYAN

INFLUENCE OF WATER DEFICIENCY AGAINST THE BACKGROUND
OF SALT STRESS ON THE WHEAT POWDERY MILDEW
DEVELOPMENT

Summary

In this study we investigated the effect of saline solution in different concentration (0.1–1.0 mM NaCl) on the development of conidial inoculum of powdery mildew pathogen *Blumeria graminis* (DC) Speer. on soft wheat *Triticum aestivum* L. Dynamics of development and of differentiation of infesting structures of the powdery mildew was investigated using scanning electronic microscopes. After the salt solutions were added, the conidial germination of powdery mildew fungi was slow, but germ tubes were formed, appressoria were not formed. It is assumed that the action of various unfavorable factors is based on a common mechanism associated with an increase in the level of active oxygen forms in plant tissues.