

Учеными доказано, что сорт будет донором по урожайности, если он обладает высокой ОКС как минимум по трем признакам, ее слагающим, особенно по числу бобов и семян с растения [5, 9, 10]. Наиболее ценным для селекции образцом, включенным в наши исследования, как и в опыте Омелянюк Л.В. [5], является Омский 9, имеющий высокую комбинационную способность по комплексу хозяйственно-ценных признаков.

#### Выводы

Все образцы, включенные в эксперимент, являются ценным исходным материалом для селекции гороха на повышенную семенную продуктивность, технологичность и устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды.

Отбор гомозиготных линий с оптимальной длиной стебля, наибольшим числом бобов на главном стебле и на растении, с высокой массой семян с растения возможен только из более поздних гибридных поколений.

#### Библиографический список

1. Коробова Н.А. Широкое экологическое испытание сортов гороха в условиях северного Кавказа // Роль генетических ресурсов и селекционных достижений в обеспечении динамического развития сельскохозяйственного производства: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Орел: Картуш, 2009. – С. 165-169.
2. Соловьев Т.В., Лихенко И.Е. Особенности формирования урожая зерна гороха посевного различных морфотипов в условиях лесостепи Приобья // Сибирский вест-

ник сельскохозяйственной науки. – 2011. – № 2. – С. 28-36.

3. Цильке Р.А. Комбинационная способность сортов мягкой яровой пшеницы по крупности зерна в условиях Западной Сибири // Генетика, цитогенетика и селекция растений: собрание научных трудов. – Новосибирск, 2003. – С. 290-293.

4. Гуляев Г.В., Мальченко В.В. Словарь терминов по генетике, цитологии, селекции, семеноводству и семеноведению. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 215 с.

5. Омелянюк Л.В. Селекционная ценность сортов гороха // Доклады РАСХН. – 2006. – № 1. – С. 6-9.

6. Кондыков И.В. и др. Современное состояние сорта гороха урожайность и содержание белка // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 5 (11). – С. 17-20.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

8. Цильке Р.А., Присяжная Л.П. Методика оценки исходного материала по комбинационной способности в диаллельных скрещиваниях: метод. реком. – Новосибирск, 1979. – 29 с.

9. Хангильдин В.В., Асфандиярова Р.Р. Генетическое прогнозирование в селекции гороха // Селекция, семеноводство и агротехника зернобобовых культур – Орел, 1980. – С. 147-158.

10. Омелянюк Л.В. Создание и изучение исходного материала в селекции гороха для южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05. – Омск, 1998. – 15 с.



УДК 574.24:546.161

Л.С. Свинолупова,  
С.Ю. Огородникова,  
Т.Я. Ашихмина

## ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ НА ДЕЙСТВИЕ ФТОРИДА НАТРИЯ

**Ключевые слова:** фторид натрия, ячмень, всхожесть, рост, пероксидаза, перекисное окисление липидов, выход электролитов.

В настоящее время актуальной является проблема локального фторидного загрязнения природных сред, непосредственно прилегающим к предприятиям – источникам поступления фтористых соединений. К числу

таких производств относятся: алюминиевые заводы, предприятия по производству фосфорных удобрений, тепловые электростанции, работающие на угле с высоким содержанием фтора [1]. Загрязнение почв фторидами может происходить в ходе работы объектов по уничтожению химического оружия [2].

Известно, что соединения фтора, попадая в почву, частично закрепляются кри-

сталлической решеткой глинистых минералов и химическими соединениями разной степени растворимости, другая их часть переходит в растения [3]. Фториды поглощаются растениями из почвы путем пассивной диффузии, некоторые виды растений накапливают высокие концентрации фторидов, возможно, за счет образования комплекса с алюминием [4]. Известно, что фтор в больших количествах накапливается в зеленой массе многолетних трав и зерне овса [5]. В условиях фторидного загрязнения выявлено нарушение жизнедеятельности растений, угнетение их роста и гибель чувствительных видов [6].

**Целью исследования** было изучить ответные реакции растений ячменя на действие фторида натрия.

Изучали эффекты водных растворов фторида натрия на растения ячменя с. Новичок. Главное достоинство этого сорта ячменя – устойчивость к ионам  $Al^{3+}$  на кислых почвах, которые характерны для Кировской области [7].

Опыты проводили на водной культуре, содержащей разные концентрации фторида натрия, и песчаной культуре, загрязненной фторидом натрия.

В опытах на водной культуре изучали влияние разных концентраций фторида натрия (0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,005 моль/л) на всхожесть семян и показатели роста растений в течение 7 дней. Опыты проводили в лабораторных условиях, в трехкратной повторности. Контроль – дистиллированная вода.

Во второй серии опытов растения ячменя с. Новичок выращивали на песчаной культуре в лабораторных условиях. Для опыта была выбрана более высокая концентрация поллютанта (0,01 моль/л), чем в опыте на водной культуре, что обусловлено сорбционными свойствами субстрата. Предварительно семена ячменя обрабатывали водным раствором фторида натрия в течение суток, затем однократно увлажняли субстрат (песок) для выращивания растений (контроль – дистиллированная вода). В дальнейшем субстрат поливали питательным раствором Кнопа. На 14-е сутки опыта определяли влияние фторида натрия (0,01 моль/л) на биохимические показатели растений: активность пероксидазы, перекисное окисление липидов, экзоосмос электролитов из корней растений.

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), образующимся в процессе ПОЛ [8]. Активность пероксидаз оценивали по накоплению продуктов окисления гваякола [9]. Выход электролитов

из тканей корней растений в дистиллированную воду (соотношение навеска/вода – 150/50 мл) за 3 ч определяли на кондуктометре INOLAB. Рассчитывали процент выхода электролитов от полного выхода, который оценивали по электропроводности вытяжки после разрушения мембран кипячением [10].

Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных статистических методов [11]. На рисунках и в таблицах приведены средние арифметические величины и стандартные отклонения. Достоверность различий между средними значениями оценивали по *t*-критерию Стьюдента.

### Результаты и их обсуждение

В опытах на водной культуре было изучено влияние растворов фторида натрия разной концентрации на всхожесть семян и рост проростков ячменя. Выявлена четкая зависимость между дозой токсиканта в водном растворе и всхожестью семян (рис. 1). Фторид натрия даже в самой низкой из исследованных концентраций (0,001 моль/л) приводил к значительному (на 20% по сравнению с контролем) снижению всхожести семян. Полученные результаты по всхожести семян свидетельствуют о том, что пороговой концентрацией фторида натрия для растений ячменя является 0,001 моль/л. Более высокие концентрации фторида натрия (0,002-0,005 моль/л) существенно ингибировали всхожесть семян, она не превышала 37%.

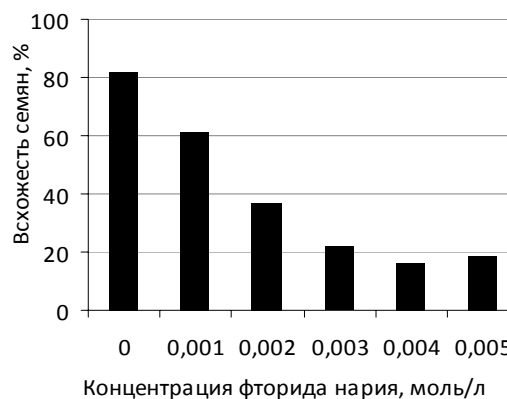


Рис. 1. Влияние водного раствора фторида натрия на всхожесть семян ячменя с. Новичок

Изучено действие фторида натрия на ростовые показатели ячменя. Выявлено, что фторид натрия в концентрации 0,002 моль/л и менее не оказывал существенного влияния на линейный рост листьев растений (рис. 2). Однако корневая система растений была более чувствительна к действию низких концентраций фторида натрия (0,001-0,002 моль/л). При увеличении дозы фторида натрия происходит существенное

угнетение ростовых процессов: уменьшаются длина листьев и корней растений. Выявлена тесная обратная корреляционная связь между концентрацией фторида натрия и ростовыми показателями: для листьев  $r = -0,90$ ; для корней  $r = -0,87$ .

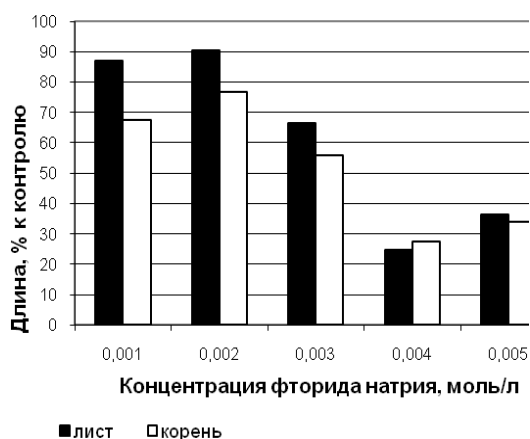


Рис. 2. Изменение показателей линейного роста ячменя с. Новичок под воздействием водных растворов фторида натрия

В ходе эксперимента установлено, что растворы фторида натрия (0,003-0,005 моль/л) вызывают достоверное снижение накопления биомассы проростками ячменя. Минимальную биомассу имели растения, выращенные в присутствии высоких доз фторида натрия (0,004-0,005 моль/л) (табл. 1). Кроме того, фторид натрия вызывал уменьшение оводненности растительных тканей. В вариантах с высокими концентрациями фторида натрия (0,004-0,005 моль/л) содержание сухого вещества в листьях было выше по сравнению с контролем. В корнях четкой закономерности между концентрацией поллютанта и содержанием сухого вещества не выявлено, однако отмечена тенденция к снижению уровня воды в тканях. Снижение оводненности растительных тканей в присутствии фторида натрия свидетельствует о нарушении водного режима растений.

По результатам опытов на водной культуре выявлена четкая зависимость

между концентрацией фторида натрия и его фитотоксическим действием. Наиболее чувствительным показателем к фториду натрия является всхожесть семян (пороговая доза 0,001 моль/л). Полученные нами данные согласуются с имеющимися в литературе. Фторид натрия в концентрации 0,001 моль/л вызывает снижение роста клеток *Arabidopsis thaliana* [12], корней пшеницы [13]. Корневая система растений более чувствительна к фториду натрия, по сравнению с надземной частью.

Модельные опыты были продолжены на песчаном субстрате, увлажненном раствором фторида натрия (0,01 моль/л). Известно, что многие поллютанты индуцируют образование активных форм кислорода, которые вызывают окисление биологически активных молекул и повреждение клеточных структур [14].

Установлено, что в условиях фторидного загрязнения происходит изменение интенсивности окислительных процессов в растительных тканях. В присутствии фторида натрия активность окислительных процессов в большей степени повышалась в корнях растений (табл. 2). Достоверно возрастала активность антиоксидантного фермента – пероксидазы и интенсивность процессов ПОЛ в корнях. Усиление процессов ПОЛ свидетельствует о нарушении про/антиоксидантного равновесия в клетках, которое приводит к окислительному повреждению липидов мембран и угнетению функционирования корней в условиях загрязнения фторидом натрия (0,01 моль/л). Выявлено увеличение выхода электролитов из корней опытных растений, что свидетельствует о снижении барьерной функции клеточных мембран.

В листьях опытных растений в меньшей степени проявлялись изменения биохимических показателей. Отмечали снижение активности пероксидаз и интенсивности процессов ПОЛ в клетках, по сравнению с контрольными растениями. Этот факт свидетельствует о меньшей чувствительности надземных органов к загрязнению субстрата фторидом натрия.

Таблица 1  
Накопление биомассы и содержание сухого вещества растениями ячменя с. Новичок при действии водных растворов фторида натрия

Концентрация фторида натрия, моль/л	Биомасса мг сыр. м/раст.		Содержание сухого вещества, %	
	лист	корень	лист	корень
0 (контроль)	91±2	93±5	9,89	8,60
0,001	76±12	78±9	9,21	7,69
0,002	81±2*	72±8	9,88	11,11
0,003	71±1*	72±1*	9,86	8,33
0,004	23±1*	33±1*	13,04	9,09
0,005	33±1*	38±1*	12,12	10,53

\* Разница между контролем и опытом достоверна при  $P \leq 0,05$ .

Влияние фторида натрия на биохимические показатели растений ячменя с. Новичок, выращенных на песчаной культуре

Вариант	H <sub>2</sub> O (контроль)	ФН (0,01 моль/л)	% к контролю
Активность пероксидаз, ед/г сырой массы			
Лист	470,07 ± 14,78	315,47 ± 10,20*	67
Корень	172,97 ± 7,29	302,84 ± 9,83*	175
Содержание МДА, нмоль/г сырой массы			
Лист	6,68 ± 0,13	3,75 ± 0,14*	56
Корень	4,77 ± 0,13	6,50 ± 0,67	136
Выход электролитов, % от полного выхода			
Корень	10,25 ± 0,52	14,49 ± 0,29*	141

В опытах на песчаной культуре было изучено действие раствора фторида натрия (0,01 моль/л) на биохимические реакции растений. Установлено, что при внесении фторида натрия в субстрат происходит активация пероксидаз и интенсификация процессов ПОЛ в корнях растений. В листьях подобных реакций не отмечали. О развитии серьезных нарушений жизнедеятельности растений свидетельствует наблюдаемая «утечка» электролитов из корней растений.

#### Выводы

1. Водные растворы фторида натрия в диапазоне концентраций 0,001-0,005 моль/л вызывали снижение всхожести семян, ингибировали рост и накопления биомассы проростками ячменя. Наиболее чувствительным показателем к действию фторида натрия является всхожесть семян.

2. Корневая система растений более чувствительна к действию фторида натрия, о чем свидетельствуют активация пероксидаз и интенсификация процессов ПОЛ. Окислительные повреждения липидов мембран приводят к возрастанию выхода электролитов, снижению оводненности тканей и клеток, что вызывает нарушение водного режима. Результатом биохимических изменений являются угнетение роста корней и снижение темпов накопления биомассы.

#### Библиографический список

1. Щербаков С.В., Плотко Э.Г., Любашевский Н.М. Гигиенические и экологические аспекты защиты биосферы от промышленных фторсодержащих выбросов // Вестник АМН СССР. – 1991. – С. 54-59.  
 2. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. – Киров: Вятка, 2002. – 544 с.  
 3. Алексеев Ю.В., Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Смирнов И.П. Фтор в сероземах вблизи химических предприятий // Хи-

мизация сельского хозяйства. – 1990. – № 11. – С. 63-64.

4. Фтор и фториды. – М.: Медицина, 1989. – 113 с. (Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 36).

5. Косицина А.А. Влияние водорастворимого фтора на загрязнение почв и растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 2009. – 19 с.

6. Смит У.Х. Поглощение загрязняющих веществ растениями // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат. 1988. – С. 461-499.

7. Головки Т.К., Родина Н.А., Куренкова С.В., Табаленкова Г.Н. Ячмень на севере (селекционно-генетические и физиолого-биохимические основы продуктивности). – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 156.

8. Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. – Саранск: Изд-во Мордов. унта, 2002. – 208 с.

9. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

10. Коваль С.Ф. Исследования свойств клеточных мембран и устойчивости растений по вымываемости электролитов // Известия Сибирского отделения АН СССР. – Сер. Биол. науки. – 1974. – № 15. – Вып. 3. – С. 161-167.

11. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.

12. Фторид натрия подавляет синтез БТШ в культуре клеток *Arabidopsis thaliana*, подвергнутых воздействию теплового стресса // Физиология растений. – 2011. – Т. 58. – № 4. – С. 533-541.

13. Влияние фтористого натрия на пограничные клетки корневого апекса однодневных проростков пшеницы // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – № 4. – С. 530-538.

14. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода: учебное пособие / Под ред. И.П. Ермакова. – М.: КДУ, 2007. – 140 с.