

УДК 631.81.095.337:631.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛЕЙ АЛЮМИНИЯ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С.Л. ИГНАТЬЕВА<sup>1</sup>, Л.С. БОЛЬШАКОВА<sup>1</sup>, Н.И. ПАВЛОВА<sup>2</sup>,  
Н.В. ПУХАЛЬСКАЯ<sup>2</sup>, Ю.Р. ЗИАНГИРОВА<sup>1</sup>, Ю.Н. ВЕСЕЛОВА

(<sup>1</sup> Кафедра агрономической, биологической химии и радиологии  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;<sup>2</sup> ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова)

**Кислотность дерново-подзолистых почв и присутствие в них ионов алюминия — основной лимитирующий фактор развития растений в Нечерноземной зоне. Работа посвящена изучению сравнительной токсичности влияния алюминия, входящего в состав различных солей, на рост и развитие растений яровой пшеницы, ячменя различных сортов и тритикале. Сопутствующие алюминию сульфат-ионы оказали наиболее токсичное воздействие на корни растений пшеницы обоих сортов, в то время как невысокие дозы этих же солей способны активировать метаболизм и вызывают компенсаторное повышение продуктивности растений по сравнению с хлоридами и нитратами. Наименее чувствительной к негативному воздействию алюминия зерновой культурой оказалась тритикале.**

**Ключевые слова:** алюминиевая токсичность, сортовая специфика растений, адаптация к эдафическому стрессу, поглощающая способность, сопутствующие ионы.

Кислотность дерново-подзолистых почв и присутствие в них ионов алюминия — основной лимитирующий фактор развития растений и формирования урожая в Нечерноземной зоне.

Механизмы естественной физиологической устойчивости растений к алюминиевой токсичности лежат в основе различных адаптационных стратегий, используемых селекционерами для повышения устойчивости посевов к стрессам, вызванным эдафическими факторами. Важная роль в изучении влияния алюминия на растения принадлежит сортовым особенностям культур. Изучение физиологических основ устойчивости растений к алюминию способствует расширению совокупности приемов и методов борьбы с ионной токсичностью, идентификации наиболее устойчивых форм растений и как следствие селекции продуктивных и устойчивых сортов.

В настоящее время не до конца изученным остается вопрос реакции растений на ионы алюминия в присутствии различных сопутствующих анионов. Механизмы синергизма и антагонизма ионов известны давно, но гипотез, описывающих подобные эффекты для иона алюминия, в настоящее время нет, хотя экспериментальные данные показывают, что в присутствии разных ионов токсичность алюминия меняется [9]. В связи с этим целью наших исследований является изучение сравнительной токсичности влияния алюминия, входящего в состав различных солей (сульфат, нитрат, хлорид), на рост и развитие растений яровой пшеницы, ячменя различных сортов и тритикале.

## Методика

Объектами исследований служили семена яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Кербя и Юго-Восточная 2, ячменя сортов Нур и Эльф и тритикале, устойчивых к алюминию линий.

Проводили несколько серий экспериментов, включающих краткосрочные лабораторные тесты и вегетационные опыты. Для тестирования растений на активацию роста в присутствии алюминия семена растений проращивали в растворах солей  $AlCl_3$ ,  $Al(NO_3)_3$  и  $Al_2(SO_4)_3$  с различными концентрациями алюминия: 0, 0,4, 3, 5, 13, 15 и 40 мг/л. Поглощение из растворов измеряли в расчете на сосуд, в котором присутствовало одинаковое число растений. Использовали метод проращивания растений в рулонах [10] и пророщенных семян в растворах. Повторность опытов 4-кратная. В вегетационных опытах использовали те же соли алюминия в концентрации 1,3 мг/100 г почвы. Повторность опыта 4-кратная. Ионметрически проводили анализ содержания калия в листьях проростков растений [7]. Сущность метода заключается в трехминутном кипячении разрезанной на сантиметровые отрезки навески листьев в 30 мл раствора 0,01М  $CaCl_2$ . В приготовленной таким образом и охлажденной вытяжке определяли содержание калия с помощью калийного электрода (ЭЛИТ-031) на иономере типа Эконике Эксперт 001. Данный прибор позволяет определить содержание калия в мг/л, а также построить модель зависимости ЭДС от концентрации калия по предварительно построенной шкале образцовых растворов в изучаемом диапазоне концентраций ( $10^{-1}$ - $10^{-4}$ М).

Определение митотического индекса проводили в отрезках корней (5-7 мм) проростков, которые проращивали в течение двух дней, на различных концентрациях хлорида алюминия на влажной фильтровальной бумаге в чашках Петри при температуре 20-25°C. К фиксации приступали по достижении корешками длины 0,8-1,5 см. Использовали фиксатор Карнуа, проводили окрашивание в ацетокармине [8]. Митотический индекс выражали в процентах и рассчитывали по формуле

$$MI = \frac{П + М + А + Т}{(П + М + А + Т) + И} \times 100,$$

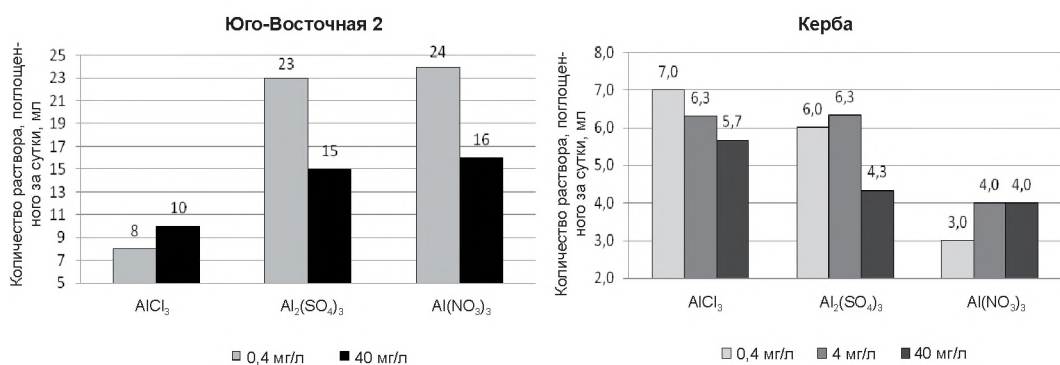
просматривали до 500 клеток (учитывали число клеток, находящихся на определенной фазе деления: П — профазы, М — метафазы, А — анафазы, Т — телофазы, И — интерфазы).

Обработку результатов проводили по методикам Доспехова, Зайцева [3, 4] с использованием компьютерной программы STRAZ и статистических программ пакета Excel.

## Результаты и их обсуждение

С целью определения сравнительного влияния разных анионов, входящих в состав солей алюминия, на поглощение проростками растений воды был поставлен опыт по определению поглощающей способности растений яровой пшеницы из растворов солей алюминия (рис. 1).

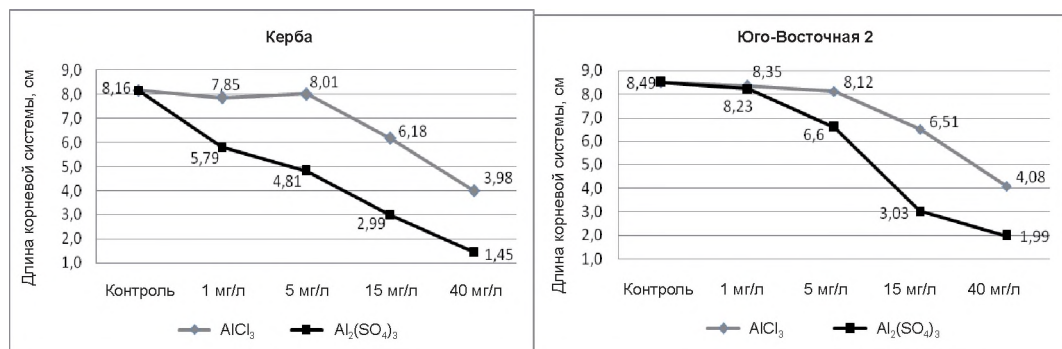
Данные экспериментов показывают, что достоверно зависимость поглощения раствора от дозы солей алюминия проявляется у сорта пшеницы Юго-Восточная на сульфатах и нитратах, хлориды же независимо от дозы резко снижают поглощение. У растений пшеницы сорта Кербя принципиально противоположная реакция: поглощение дифференцированно от доз на хлоридах и сульфатах, нитраты резко снижают поглощение. Снижение поглощения раствора корнями — негативный эффект, опре-



**Рис. 1.** Поглощение растворов солей алюминия растениями яровой пшеницы сортов Юго-Восточная 2 ( $HCP_{05} = 2,3$  мл/сут на сосуд) и Керба ( $HCP_{05} = 1,3$  мл/сут на сосуд)

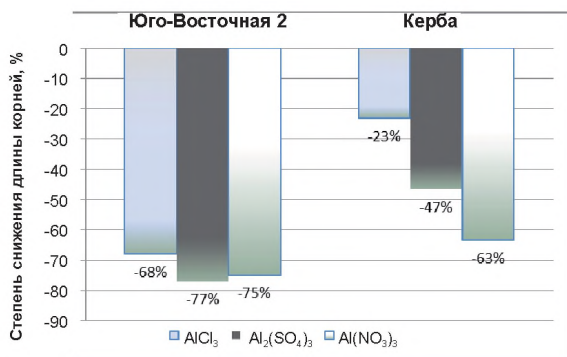
деляемый как ответная реакция на токсичность: нарушается вся система движения воды, но причина нарушения и сортовых различий этими данными не вскрывается.

Опыты по изучению влияния растворов солей алюминия различных концентраций показали, что в присутствии сульфата алюминия рост корней у проростков растений сортов Керба и Юго-Восточная 2 подавляется сильнее, чем в присутствии хлорида алюминия (рис. 2).



**Рис. 2.** Длина корневой системы сортов яровой пшеницы Керба и Юго-Восточная 2 в присутствии различных концентраций солей  $AlCl_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ , см

В лабораторных 8-дневных опытах с проростками пшеницы выявлено, что сульфаты способны более токсично повлиять на рост корневой системы. Опыты на различных сортах, проводимые в лабораторных условиях в разное время года, показали, что угнетение роста корневой системы может и несущественно различаться, однако во многих случаях наибольшая токсичность характерна для сульфатов. Угнетение развития корней прямо пропорционально увеличению концентрации солей. В экспериментах с увеличением концентраций солей с 0 до 4 мг/л также наименее негативным влиянием отличались соли хлорида алюминия (рис. 3).

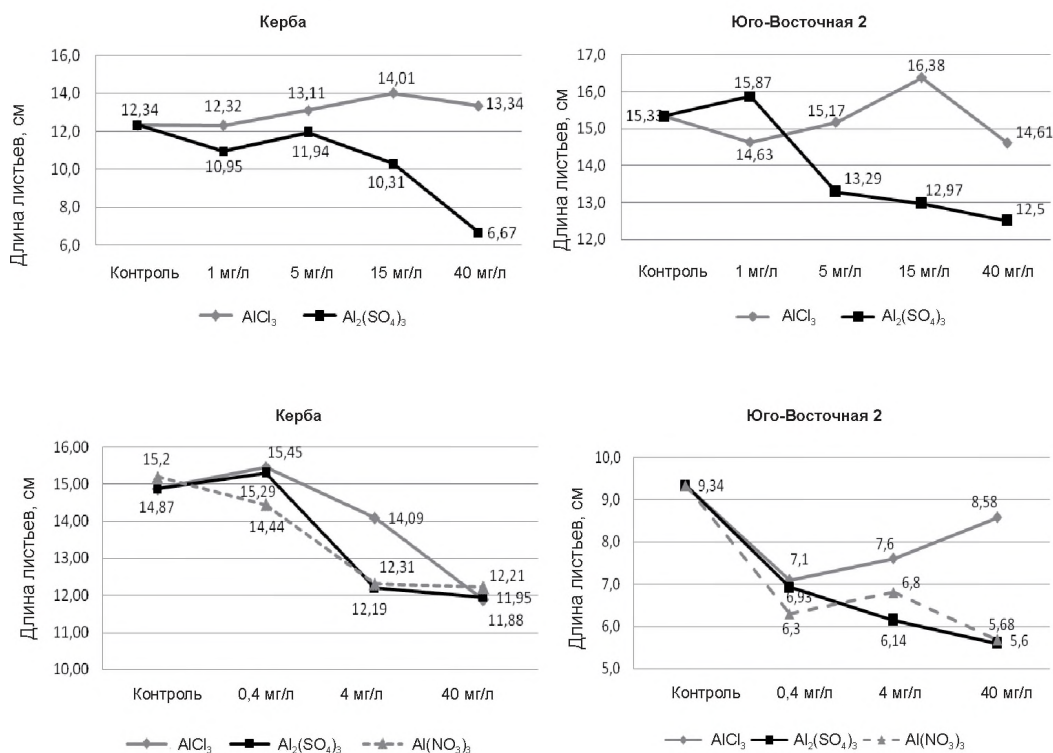


**Рис. 3.** Степень снижения длины корней в растворах солей алюминия у растений пшеницы двух сортов, %

Данные рисунка 3 свидетельствуют, что у растений пшеницы сорта Керба меньше тормозится рост корней на хлоридах, чем на нитратах алюминия. У сорта Юго-Восточная 2 общая реакция корневой системы была более негативной, и рост притормаживался во всех вариантах опыта на 68-77%.

В меньшей степени токсическое действие солей алюминия проявляется на линейном развитии проростков (рис. 4). Компенсаторное повышение линейного роста наблюдается на фоне некоторых концентраций солей. У растений пшеницы сорта Юго-Восточная 2 активация

роста на сульфатах наблюдается при концентрации  $Al$  1 мг/л, на хлоридах — при 15 мг/л, на нитратах — при 40 мг/л. У сорта Керба также можно выявить тенденцию



**Рис. 4.** Длина листьев (сумма длин 1-го и 2-го листа) у проростков яровой пшеницы сортов Керба и Юго-Восточная 2 в присутствии солей  $AlCl_3$  и  $Al_2(SO_4)_3$  и  $Al(NO_3)_3$  различных концентраций, см

к некоторому изменению интенсивности роста листьев, однако эти закономерности не всегда достоверны.

Влияние стрессовых факторов на растения зависит от ряда сопутствующих условий: длительности воздействия, напряженности стресса (концентрации), активности основных физиологических процессов (фотосинтез, дыхание). Каждый фактор имеет свою область влияния на организм и способен вызывать как подавление роста, так и стимуляцию, влияя на гормональный баланс [6].

Аналогичное влияние солей алюминия на рост проростков наблюдали и у растений тритикале. Исследования полного периода вегетации у растений двух изученных сортов показали, что степень снижения роста корня на начальных этапах коррелировало со способностью растений эффективно адаптироваться к эдафическому стрессу. Именно в вариантах, в которых наблюдались наиболее активные и характерные нарушения роста у проростков, были получены более высокие показатели при формировании урожая. Компенсаторный механизм формирования растений в условиях данного стрессового фактора является условием запуска процессов реализации адаптационных перестроек.

Линейные размеры конуса нарастания более чувствительны к присутствию солей алюминия, чем число закладывающихся колосков (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

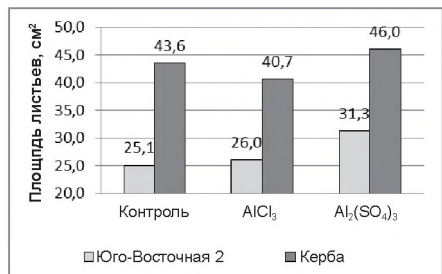
**Показатели потенциальной продуктивности на VI этапе органогенеза (по Куперман [5])**

Вариант	Длина конуса нарастания, мм	Число колосков на конусе нарастания, шт.
<i>Сорт Юго-Восточная</i>		
1 — Контроль	5,7	14
2 — $AlCl_3$	10,5	14
3 — $Al_2(SO_4)_3$	7,8	14
<i>Сорт Керба</i>		
1 — Контроль	17,8	17
2 — $AlCl_3$	12,3	16
3 — $Al_2(SO_4)_3$	16,0	17
	$HCP_{05} = 0,3$	$HCP_{05} = 0,7$

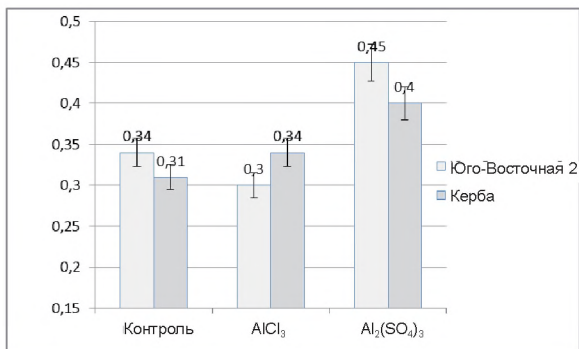
В течение вегетации также прослеживалась чувствительность к низким концентрациям сульфата алюминия у растений яровой пшеницы сортов Юго-Восточная 2 и Керба, выражающаяся в активации роста площади ассимиляционной поверхности. Как видно из рисунка 5, у сортов Керба и Юго-Восточная 2 к концу вегетации прослеживается тенденция к увеличению площади листьев растений в варианте с сульфатом алюминия, особенно у сорта Юго-Восточная 2 — порог превысил значения контроля, но не достиг статистической значимости и составил 24,7%.

Стимуляция роста, проявляющаяся на листовой поверхности в присутствии сульфата алюминия в вегетационном опыте, прослеживается до сбора урожая (рис. 6).

Оценка продуктивности сортов в присутствии солей алюминия показала, что в варианте с хлоридом алюминия продуктивность пшеницы сорта Керба превышает фоновые значения на 7,4% в отличие от сорта Юго-Восточная 2. Но в варианте



**Рис. 5.** Площадь листовой поверхности растений яровой пшеницы сортов Юго-Восточная 2 и Керба в присутствии хлоридов и сульфатов алюминия, см<sup>2</sup>

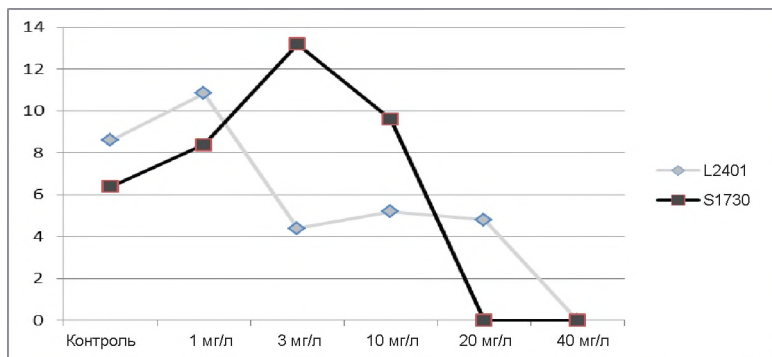


**Рис. 6.** Продуктивность растений яровой пшеницы сортов Юго-Восточная 2 и Керба, мг/раст.

с сульфатом алюминия продуктивность пшеницы сорта Керба на 24,8%, а сорта Юго-Восточная 2 на 25,6% выше фона соответственно. Продуктивность же сорта Юго-Восточная 2 в варианте Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> также на 36,6% выше, чем в варианте AlCl<sub>3</sub>.

При подборе концентрации растворов алюминия важно выбирать концентрации соответственно задачам исследования. В экспериментах, ставящих целью получить сравнение толерантности растений и оценку степени их выживаемости в экстремальных условиях, могут испытываться высокие концентрации — до 35-40 мг Ал/л [1]. Однако в этом случае следует говорить о способности к адаптации в среде посредством специфических толерантных адаптационных механизмов и нельзя говорить о чувствительности и о ранней чувствительности к ионам алюминия, которая проявляется при низких концентрациях алюминия в среде. Исследования ряда культур позволили выбрать наименее чувствительные к негативному воздействию ионов алюминия зерновые культуры, слабо снижающие рост корневой системы на растворах солей алюминия. Таковой явилась культура тритикале. Выбор двух линий, по-разному растущих на растворах алюминия, позволяет отобрать две линии с изначальными характеристиками наименее чувствительных сортов. Предполагалось определить максимальную концентрацию с активными делениями. Тестировали корни растений двух линий L2401 и S1730 на нарушение митотической активности в растворах разных концентраций хлорида алюминия, критерием служил показатель митотического индекса (рис. 7).

На рисунке 7 показана общая динамика изменений параметра с учетом наличия активации — характерная картина отклика на слабые дозы токси-



**Рис. 7.** Митотический индекс у двух сортов тритикале на разных концентрациях хлорида алюминия



канта, так называемый эффект гормезнса [6]. Видно, что у обеих линий наблюдается всплеск активности перед снижением митотической активности. Концентрация  $Al\ 10\ \text{мг/л}$  является для растений данной линии критической, после которой адаптационные перестройки не наблюдаются — митотический индекс резко снижен. У пшеницы митотический индекс по данным авторов [9, 10] снижался на более ранних дозах хлорида алюминия, показано также более негативное влияние сульфатов в сравнении с нитратами на процессы деления клеток. В то же время имеются данные о полном отсутствии токсичности сульфатов алюминия [14].

Растения тритикале интересны следующей особенностью — они не проявляют сильных адаптационных реакций в среде, в которой встречаются с ионами алюминия (в дополнение к линиям тестировались сорта Legalo, Укро, Ярило). Корневая система растений тритикале реагирует снижением длины и утончением корня, однако не наблюдается усиления и активации ростовых процессов таких вегетативных органов, как листья и стебли, что встречается у растений пшеницы и ячменя. В результате у тритикале может наблюдаться существенное снижение продуктивности, которое и было отмечено в вегетационных экспериментах на растениях тритикале (снижение продуктивности до 25%). У растений пшеницы и ячменя (чувствительных и способных адаптивно реагировать на ионы алюминия) ранняя чувствительность растений позволяет им запускать ряд адаптационных метаболических перестроек и активация роста листьев — одна из них. Отсутствие существенной активации роста листьев в начальный период времени у растений тритикале чаще всего коррелирует с потерей продуктивности и неадаптивности генотипа к стрессовому фактору [2, 12]. В работах других авторов [14] на таких культурах, как рис, кукуруза чувствительность роста в стрессовых условиях алюминиевой токсичности также рассматривается как критерий адаптационных реакций. Варьирование калийного питания позволяет делать выводы о реакции корневой системы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Длина корней 8-дневных растений тритикале сорта Ярило (см/раст.)  
в зависимости от дозы калия (мг/л) в растворе (в среднем из серии 3 опытов)**

Вариант	Без алюминия в среде	С алюминием в среде (1мгAl/л)
Без K	40,7	12,6
+ K 0,5	37,1	14,5
+ K 1,0	41,2	13,9
+ K 2,0	36,7	12,3
+ K2,5	36,1	15,3
HCP <sub>05</sub>	6,2	2,8

Из данных таблицы 2 видно, что недостаток калия в растворе способствует усилению роста корневой системы, направленного на поиск питательных веществ. Эта закономерность в присутствии алюминия не проявляется на 8-й день роста, наоборот, активность роста усиливается с повышением уровня минерального питания. В нормальных условиях длина корневой системы уменьшилась на 11,3%, тогда как в присутствии алюминия в растворе длина корней увеличилась с повышением доз калия с 0,5 до 2,5 мг/л (на 21,4%). Это может быть лишь результатом снижения чувствительности к алюминию корней при увеличении массовой доли калия в растворе. Без внесения калия (контроль) алюминий вызвал снижение длины корней на 69%, на фоне калия 0,5 мг/л — на 60,9%, в варианте 2,5 мг/л — на 57,6%.

Исследование чувствительности к ионам алюминия проводили на сортах ярового ячменя Эльф и Нур. Эксперименты с растениями ячменя на сульфатах и хлоридах проводили в вегетационном опыте и в лабораторных опытах. У ячменя наблюдается начальный всплеск активации роста листьев растений в вариантах с ионами алюминия. Начальная активация роста листьев достигала 35%, с течением вегетации различия между контролем и вариантом с ионами алюминия уменьшались, однако у сорта Нур наблюдалось сохранение ростовых преимуществ варианта с небольшими количествами алюминия в почве, что дало в вегетационных опытах повышение продуктивности на 25,5%. Это можно рассматривать как адаптационную реакцию на эдафический стресс на ранних этапах развития.

Опыты с ячменем указанных сортов позволили показать, что существенных различий у испытанных сортов к сульфатам и хлоридам не наблюдалось. Сорт ячменя Эльф показал одинаковое торможение роста корневой системы на хлоридах и сульфатах при концентрации  $Al\ 3\text{ мг/л}$  (на 10-й день — на 53 и 57%). Обеспеченность листьев корнями резко падает в таких вариантах по сравнению с контролем (без алюминия). Добавление солей калия ( $KCl$  и  $K_2SO_4$ ) в расчете  $10^{-3}$  моль/л не сняло торможение ростовых процессов: снижение обеспеченности проростков корнями при добавлении калия к хлориду алюминия составило 12,4%, к сульфату алюминия — 10,0% за счет активации роста листовой части. Различий по обеспеченности

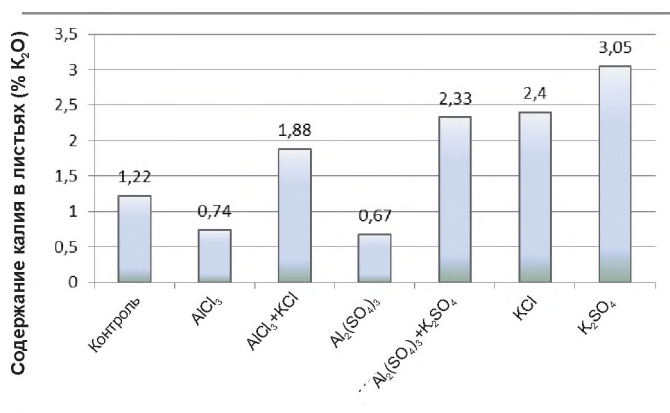


Рис. 8. Содержание калия в листьях 10-дневных проростков ячменя сорта Эльф, % K<sub>2</sub>O

корнями проростков в вариантах сульфата и хлорида калия без ионов алюминия в растворе не наблюдали.

Изучение процесса поглощения калия в этих условиях поможет ответить на вопрос о функциях корневой системы под влиянием эдафических стрессоров. Анализ содержания калия в листьях растений ячменя ионометрическим методом проводили во всей массе растений на 10-й день роста (рис. 8).

Содержание калия в листьях проростков ячменя, выращенного в водной культуре, определяется поглощением калия из растворов: активностью корневой системы, наличием ионов-токсикантов и способностью ассимиляционного аппарата активировать перемещение водного потока к листьям в стрессовых условиях. Показано (см. рис. 8), что минимальное содержание калия в листьях наблюдалось в тех вариантах, в которых калий не может поступать из раствора (контроль — дист. вода, растворы хлорида и сульфата алюминия). В этих вариантах обеспеченность семенами алюминием определяет содержание калия в листе. Видно, что раствор сульфата алюминия обуславливает минимальные значения содержания калия в листьях — калий либо затрачивается на процессы роста корней, либо затруднен его отток в листья.

При сравнении хлорида и сульфата калия показано, что активнее транспортная и поглощающая система работали у проростков, поглощавших раствор сульфата ка-



лия, как в присутствии ионов алюминия, так и без них. Роль ионов алюминия была негативной — хлорид алюминия снижал поглощение калия на 21%, сульфат алюминия — на 24%. Существенной разницы между солями алюминия по этому критерию у растений ячменя на ранних этапах не показано. Установлено, что поглощение калия активнее в присутствии сульфата, нежели хлорида алюминия. Остается открытым вопрос о том, поглощается ли ион алюминия корнями в большей степени, нежели в растворе хлоридов, ибо активация роста зеленой части проростков может быть следствием как активации поглощения алюминия (как гормональная компенсаторная регуляция на стресс), так и следствием меньшего поглощения.

### Заключение

1. Выявлена сортовая специфика поглощения растениями растворов солей различных концентраций алюминия растениями пшеницы. У сорта Юго-Восточная 2 независимо от дозы хлориды резко снижается интенсивность поглощения растворов, в то время как у растений пшеницы сорта Керба аналогичная направленность воздействия наблюдается по нитратам. Установлено, что в присутствии сульфата алюминия рост корней у проростков растений сортов Керба и Юго-Восточная 2 подавляется сильнее, чем в присутствии хлорида алюминия.

2. Растения пшеницы и ячменя могут давать компенсаторную активацию ростовых процессов, вызывающую активацию роста ассимиляционной поверхности листьев. Такие растения обладают ранней чувствительностью к ионам алюминия в составе любых катионов. Чувствительность к катионам алюминия в составе сульфатов может проявляться у самых чувствительных растений раньше, чем в составе хлоридов. По-видимому, это объясняется активным поглощением ионов (в т.ч. и алюминия) в присутствии сульфат-ионов и более ранней активацией компенсаторных адаптивных механизмов, противодействующих развитию стресса. У изученных нами сортов пшеницы наблюдается повышение продуктивности растений обоих сортов пшеницы в присутствии сульфата алюминия (сорт Керба — на 24,8%, сорт Юго-Восточная 2 — на 25,6%), т.е. стимуляция роста, проявляющаяся в увеличении площади листовой поверхности, прослеживается до сбора урожая.

3. Наименее чувствительной к негативному воздействию ионов алюминия зерновой культурой оказалась культура тритикале. Такие растения оказались не только наименее чувствительными, но и наименее устойчивыми к действию стрессора. Изученные нами генотипы растений тритикале не показали стимуляции ростовой активности листьев в ответ на изученные концентрации солей алюминия, несмотря на то, что наблюдалось снижение митотического индекса в корнях и негативное влияние ионов алюминия на длину корней. Ранняя чувствительность растений к низким дозам токсичных элементов позволяет формировать адаптационные реакции, направленные на приспособляемость или активацию компенсаторных механизмов, за счет чего появляется возможность получать компенсации, способные привести к повышению продуктивности растений. Отсутствие ранней чувствительности и системы адаптационных перестроек способствует снижению итоговой продуктивности. Описанные физиологические реакции могут быть элементами системы адаптации растений к эдафическим стрессам.

### Библиографический список

1. Баталова Г.А., Лисицын Е.М. О селекции овса на устойчивость к эдафическому стрессу // Селекция и семеноводство, 2002. № 2. С. 17-19.
2. Большакова Л. С. Яковлев П.А. Пухальская Н.В. Исследование устойчивости к алюминиевой токсичности у тритикале. Материалы докладов. Ч. II. VII Съезд общества физиологов растений России: «Физиология растений — фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий» 4-10 июля 2011, Нижний Новгород. С. 100-101.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агрпромпиздат, 1985. 351 с.
4. Зайцев Г.Н. Методика биометрических методов. М.: Наука, 1973. 256 с.

5. *Купермст Ф.М.* Морфофизиология растений. М.: Высшая школа, 1997. 288 с.
6. *Нефедьева Е. Э., Хрятт В.Н.* Особенности стрессовой реакции растений гречихи на ударно-волновое воздействие // Доклады Академии наук, 1999. №2. С. 286-288.
7. *Пухальская Н.В., Кудрина А.А., Большакова Л.С., Пуховский А.В., Сычев В.Г.* Экспресс-способ ионометрического определения содержания калия в листьях и распределения его по физиологическим пулам. Заявка на патент № 2010138275.
8. *Пксальский В.А., Соловьев А.А., Юрцев В.Н.* Цитология и цитогенетика растений. М.: Изд-во МСХА, 2004. 118 с.
9. *Сынзыныс Б.П., Буланова Н.В., Козин Г.В.* О фито- и генотоксическом действии алюминия на проростки пшеницы // С.-х. биология, 2002, № 1. С. 104-109.
10. *Сынзыныс Б.П., Никольская О.Т., Буланова Н.В., Харламова О.В.* О действии алюминия на проростки пшеницы при разных значениях pH среды культивирования // С.-х. биология, 2004. № 3. С. 80-84.
11. *Фирсова М.К.* Метод определения всхожести семян прорастиванием их в рулонах//Достижение науки и передового опыта в сельском хозяйстве: Ежемес. научно-производственный бюллетень, 1953. № 12. С. 43-45.
12. *Adam N., Famoso A.N., Clark R.T., Shaff J.E., Craft E., McCouch S.R., Kochian L.V.* Development of a Novel Aluminum Tolerance Phenotyping Platform Used for Comparisons of Cereal Aluminum Tolerance and Investigations into Rice Aluminum Tolerance Mechanisms/ZPlant Physiology, 2010. Vol. 153. № 4. P. 1678-1691.
13. *Ignatyeva S.L., Poukhalskaya N. V., Kudrina A.A.* Research of the potassium maintenance in leaves of triticale seedlings in the presence of aluminum toxicity by means of ion-selective electrodes // Annual Wheat Newsletter-Kansas Agricultural Experiment Station, 2011. Vol. 57. P. 264-265.
14. *Kinraide T.B., Parker D.R.* Non-phytotoxicity of aluminum sulfate ion,  $AlSO_4^+$  // Physiol. Plant., 1987. Vol. 71. P. 207-212.

*Рецензент* — д. б. н. Я.В. Осипова

#### SUMMARY

The acidity of soddy-podzolic soils and the presence of aluminium ions in them are the main limiting factor of plant growth in non-black soil area. The article is a study of comparative aluminium toxicity effects, a component of various salts, on both plant growth and development of spring wheat, barley and triticale of various varieties. Related to aluminium sulphate ions had the most toxic influence on wheat roots of both varieties, whereas low doses of the same salts are able to activate metabolism and cause compensatory increase in plant productivity, compared with both chlorides and nitrates. The least sensitive to adverse effects of aluminium proved to be triticale.

**Key words:** aluminium toxicity, varietal specificity of plant adaptation to edaphic stress absorption capacity, concomitant ions.

**Игнатьева Светлана Леонидовна** — к. с.-х. н., доцент кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ignatevas(@.li.ru).

**Большакова Людмила Семеновна** — к. б. н., доцент кафедры генетики и биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. E-mail: bolsh3@yandex.ru.

**Павлова Надежда Ивановна** — асп. лаборатории калия и фосфора ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова (127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 А).

**Пухальская Нина Витальевна** — д. б. н., сотрудник ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова. E-mail: sco f/ scomax.ru.

**Зиангирова Юлия Руслановна** — соискатель ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова.

**Веселова Юлия Николаевна** — студентка факультета ПАЭ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. E-mail: veselova347(@mail.ra).