

УДК 633.1:581.522.4

## ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА СИСТЕМУ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ СВЯЗЕЙ РАСТЕНИЙ ОВСА И ЯЧМЕНЯ

О.А. ЗУБКОВА, Е.А. РУССКИХ, Л.Н. ШИХОВА, Е.М. ЛИСИЦЫН

ЗНИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого

*В ходе лабораторных и вегетационных опытов с сортами овса и ячменя, ценными по качеству крупы, выявлено, что ионы тяжелых металлов – железа, марганца, кадмия и свинца приводят к значительному перераспределению потоков пластических веществ в системе донорно-акцепторных связей растений. Характер и направление этих изменений в большой мере определяются генотипом растений.*

**Ключевые слова:** овес, ячмень, тяжелые металлы, донорно-акцепторные связи, стресс.

**Введение.** Повышенный запрос на пластические вещества со стороны какого-либо органа или системы может быть удовлетворен несколькими способами. Самые очевидные из них – это усиление фотосинтетической активности и перераспределение потоков ассимилятов. Оба эти способа могут осуществляться как сами по себе, так и одновременно.

Остановимся более подробно на втором способе, т.е. перераспределении потоков пластических веществ. Система отношений между производящими и потребляющими органами на разных уровнях структурной иерархии процессов носит название "донорно-акцепторные отношения" (ДАО). Каждый орган может входить в несколько разных систем ДАО: например, лист является донором фотоассимилятов и одновременно акцептором воды и элементов минерального питания. Наоборот, корень является акцептором фотоассимилятов и донором воды и минеральных веществ. Процессы метаболизма в целом растении образуют взаимосогласованную систему ДАО, где донором ассимилятов является процесс фотосинтеза, а акцептором – процессы роста, отложения веществ в запас и другие затраты на жизнедеятельность.

При разных видах стрессового воздействия на растения продукционный процесс может ограничиваться как фотосинтетической деятельностью листьев, так и активностью аттрагирующих цен-

тров. В оптимальных условиях между процессом фотосинтеза в зеленых частях растений и оттоком ассимилятов из них в потребляющие органы будет сохраняться определенный баланс (что характерно для растений, имеющих постоянный рост в меняющихся условиях среды – видов-виолентов по терминологии Раменского-Грайма [1]). Если под действием стрессора рост будет подавлен в большей степени, чем фотосинтез, это повлечет за собой изменение системы ДАО в сторону уменьшения эффективности работы электронно-транспортной цепи в тилакоидных мембранах хлоропластов. В конечном итоге произойдет выравнивание соотношения между фотоассимиляцией и оттоком пластических веществ в пределах как отдельно взятого хлоропласта, так и в пределах всего листа и всего фотосинтетического аппарата растения. Подобного рода реакции характерны для растений, имеющих экологическую стратегию *патентности*. Если же в результате стрессового воздействия в большей степени тормозится фотосинтез, то это приведет к усилению эффективности работы электронно-транспортной системы хлоропластов и выравниванию ДАО до уровня нормы [2].

В целом можно сказать, что донорно-акцепторные отношения являются средством эндогенной регуляции метаболизма растений на разных уровнях структурной организации. В стрессовых эдафических условиях они будут направлены на выживание организма (если жесткость стрессового воздействия велика) или на достижение им максимально возможной продуктивности (при средней или низкой величине стрессового воздействия) [3].

**Материалы и методы.** Объекты исследования: сорта овса Аргамак и ячменя Новичок. В лабораторном опыте использовали метод рулонной культуры, продолжительность опыта – 7 дней. Схема опыта включала следующие варианты: кон-

троль (дистиллированная вода); водный раствор  $MnSO_4$  с концентрацией  $Mn$  20, 80 и 160 мг/л; водный раствор солей  $FeSO_4$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$  с концентрацией ионов железа 50 и 100 мг/л.

Во второй серии опытов в условиях песчаной культуры с внесением полной дозы питательной смеси Кнопа было изучено развитие растений овса (сорта Улов, Факир и Кречет) и ячменя (Эльф, Дина и Абава) уже при длительном стрессовом воздействии тяжелых металлов (на примере алюминия, кадмия и свинца) – в ходе 30-35 дневных опытов.

Таблица 1. Влияние различных солей и концентраций марганца на рост проростков овса и ячменя

Вариант	Длина корней, см	Сухая масса, г	
		корней	ростков
<b>Овес Аргмак</b>			
Контроль (вода)	9,55 de*	0,06 b	0,12 bc
$MnSO_4$ , 20 мг/л	8,27 b	0,04 ab	0,07 a
$MnSO_4$ , 80 мг/л	9,30 cd	0,05 b	0,12 c
$MnSO_4$ , 160 мг/л	8,40 b	0,03 a	0,06 a
<b>Ячмень Новичок</b>			
Контроль (вода)	9,28 e	0,08 c	0,117 a
$MnSO_4$ , 20 мг/л	7,56 c	0,05 a	0,069 b
$MnSO_4$ , 80 мг/л	5,91 ab	0,04 a	0,117 a
$MnSO_4$ , 160 мг/л	6,07 ab	0,08 c	0,058 b

Примечание: в каждом столбце данные, сопровождаемые одинаковыми буквами, не отличаются достоверно по критерию Дункана,  $P < 0,05$

Данные табл. 1 также показывают, что растения овса в ответ на стрессовое воздействие в одинаковой мере снизили рост и корневых систем и ростков, т.е. сохранили относительный уровень донорно-акцепторных отношений между фотосинтезирующими и потребляющими органами (о чем свидетельствует практически равные доли корней в общей массе растений). Это может указывать на переход метаболизма растений овса на пониженный уровень (т.к. абсолютная масса растений снизилась) без нарушения системы внутриорганизменных связей.

У ячменя Новичок высокая концентрация марганца (160 мг/л) привела к значительному угнетению роста ростков, т.е. основная масса пластических веществ была направлена в корни для их нормального функционирования. В то же время

**Результаты и обсуждения.** В результате первой серии опытов было установлено (таблица 1), что сухая масса корней овса Аргмак статистически достоверно уменьшалась под влиянием ионов  $Mn$  в концентрации 160 мг/л (по сравнению с контролем). У ячменя Новичок уменьшение массы корней наблюдалось при концентрациях ионов  $Mn$  20 и 80 мг/л, снижение массы ростков – при концентрациях 20 и 160 мг/л.

при более низких концентрациях марганца система донорно-акцепторных отношений была перестроена в сторону листового аппарата. И в том и в другом случае мы наблюдаем значительную перестройку системы донорно-акцепторных связей.

Ионы  $Fe$  (таблица 2) в концентрации 50 и 100 мг/л вне зависимости от вида использованной соли (и соответственно валентности ионов железа) приводили к статистически значимому снижению сухой массы корней овса при неизменной массе ростков. Это указывает на перераспределение потоков пластических веществ под действием ионов железа: запросы со стороны корня не удовлетворяются в полной мере, а запасные вещества используются для поддержания роста надземных органов.

Таблица 2. Влияние различных солей и концентраций железа на рост проростков овса и ячменя.

Вариант	Длина корней, см	Сухая масса, г	
		корней	ростков
<b>Овес Аргмак</b>			
Контроль	9,55 ef*	0,06 b	0,12 a
FeSO <sub>4</sub> , 50 мг/л	4,33 c	0,04 a	0,11 a
FeSO <sub>4</sub> , 100 мг/л	3,70 bc	0,04 a	0,13 a
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , 50 мг/л	3,02 ab	0,03 a	0,11 a
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , 100 мг/л	2,63 a	0,02 a	0,14 a
FeCl <sub>3</sub> , 50 мг/л	3,06 ab	0,03 a	0,08 a
FeCl <sub>3</sub> , 100 мг/л	3,24 ab	0,03 a	0,13 a
<b>Ячмень Новичок</b>			
Контроль	9,28 c	0,08 b	0,13 c
FeSO <sub>4</sub> , 50 мг/л	3,22 b	0,05 a	0,07 a
FeSO <sub>4</sub> , 100 мг/л	3,82 a	0,05 a	0,11 c
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , 50 мг/л	4,00 b	0,07 ab	0,12 c
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , 100 мг/л	2,09 a	0,04 a	0,11 c
FeCl <sub>3</sub> , 50 мг/л	3,58 b	0,06 ab	0,16 d
FeCl <sub>3</sub> , 100 мг/л	2,66 a	0,05 a	0,09 b

Примечание: в каждом столбце данные, сопровождаемые одинаковыми буквами, не отличаются достоверно по критерию Дункана,  $P < 0,05$ .

То же справедливо в отношении действия на растения ячменя соли FeSO<sub>4</sub>, и высоких концентраций солей Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> и FeCl<sub>3</sub>. При этом разные концентрации хлорида и сульфата железа по-разному повлияли на рост ростков. Но в большинстве случаев перераспределение запасных веществ зерновки (основного источника – донора пластических веществ на ранних этапах роста) происходило в сторону надземной массы (доля корней в общей массе растений снижалась).

Таким образом, на ранних стадиях развития, когда основным донором пластических веществ для роста растения являются запасные вещества зерновки, действие марганца и железа в разных формах и концентрациях проявляется в перераспределении потоков этих веществ между органами-акцепторами – корнями и ростками. В целом, несмотря на некоторые различия в действии конкретных солей и их концентраций, биомасса перераспределяется в пользу ростков, т.е. способствует скорейшему переходу растений на автотрофное питание (фотосинтез).

Депрессия практически всех параметров оценки сортов имела достоверный характер во второй серии опытов. В вариантах с добавлением ТМ отмечалась задержка всходов на 2-3 дня, листовая пластинка была более узкой, чем в контрольных вариантах. К 5-й неделе произрастания нижние листья, особенно в варианте с внесением свинца, стали засыхать и отмирать.

Такие показатели как сухая масса листьев, стеблей, корней и всего растения в целом слабо информативны при использовании метода песчаной культуры и выбранных концентраций ТМ. Так, небольшое, но достоверное снижение сухой массы листьев в опытах наблюдалось лишь у овса сорта Улов при свинцовом стрессе (в среднем на 5,7 %). Сухая масса стеблей изменилась лишь у сорта ячменя Абава под воздействием ионов свинца – выросла в среднем на 40%. Сухая масса корней под воздействием металлического стресса может как уменьшаться (у сорта Дина при свинцовом стрессе), так и увеличиваться (у сортов ячменя Дина и Абава при кадмиевом стрессе и у сорта овса Факир при свинцовом стрессе) (табл. 3 и 4).

Изменение таких показателей как доля листьев, стеблей и корней в растении также наблюдается лишь в отдельных случаях. Исключением является изменение этих показателей у сорта ячменя Абава, когда при свинцовом стрессе доля листьев и стеблей в растении достоверно увеличилась в среднем на 15 и 19,3% соответственно, а доля корней – снизилась соответственно на 35,6%, при этом масса всего растения осталась неизменной.

Кадмиевый и свинцовый стрессы не оказали влияния на перераспределение биомассы растений овса сорта Кречет, они поддерживали реакции метаболизма на уровне контроля. У сортов овса Улов и Факир кадмий привел к небольшому увеличению доли корней в растении за счет доли стеблей, при этом доля листьев осталась постоянной. Можно предположить, что запрос на ассимилянты со стороны корня превысил запрос на построение

стеблей. Но при этом доля ассимилятов, идущая на собственные нужды растущего листового аппарата, осталась прежней. Об этом свидетельствует и увеличение площади листьев (при небольшом снижении толщины листовой пластинки).

Несколько иной была реакция на свинец: у сорта Факир снижение доли листьев привело к увеличению доли корневой системы, а у сорта Улов – к увеличению доли стеблей. При этом растения сорта Улов увеличили площадь ассимиляционной поверхности (в значительной степени за счет уменьшения толщины листа), а растения сорта Факир – значительно снизили ее (при неизменной толщине листовых пластинок).

Что касается реакции растений ячменя, то наблюдалось следующее. Действие ионов кадмия заметно проявилось только на растениях сорта Абава, где доля корней в растении увеличилась от действия стрессора за счет снижения доли стебля.

Таблица 3. Изменение морфологических показателей растений овса под влиянием тяжелых металлов

Параметры	Улов			Факир			Кречет		
	Контроль	Cd 100 мкМ	Pb 500 мкМ	Контроль	Cd 100 мкМ	Pb 500 мкМ	Контроль	Cd 100 мкМ	Pb 500 мкМ
Высота растений, см	34,6±1,1	32,5±1,3	30,4±1,6	29,8±1,6	29,2±2,1	25,5±0,8	32,9±1,0	31,5±1,2	32,6±1,2
Сух. масса листьев, г	0,35±0,01	0,35±0,01	0,33±0,00	0,31±0,04	0,31±0,05	0,29±0,03	0,32±0,05	0,32±0,03	0,3±0,01
Сух. масса стеблей, г	0,30±0,03	0,27±0,03	0,27±0,04	0,25±0,03	0,25±0,05	0,24±0,03	0,27±0,02	0,28±0,04	0,24±0,02
Сух. масса корней, г	0,12±0,00	0,16±0,06	0,11±0,02	0,11±0,00	0,12±0,01	0,13±0,00	0,14±0,01	0,14±0,02	0,13±0,00
Сух. масса растения, г	0,77±0,03	0,77±0,10	0,72±0,09	0,67±0,07	0,68±0,11	0,66±0,05	0,73±0,09	0,74±0,09	0,66±0,03
Доля листьев в растении, %	45,9±1,0	45,6±3,7	43,2±3,9	46,7±1,4	46,0±0,8	43,5±1,0	43,6±1,6	43,8±1,3	45,0±0,8
Доля стеблей в растении, %	38,9±1,9	34,9±1,8	41,3±4,5	37,0±1,8	35,6±2,5	36,7±1,2	37,0±0,8	37,4±1,1	36,1±1,3
Доля корней в растении, %	15,2±0,9	19,5±5,1	15,4±0,8	16,4±2,5	18,5±2,3	19,7±2,0	19,4±0,8	18,8±0,2	18,9±0,6
Объем корней, мл	1,8±0,2	2,9±0,4	2,2±0,5	2,0±0,4	2,4±0,4	1,9±0,2	1,9±0,6	1,8±0,4	1,1±0,1
КОЕ, мг-экв./100 г	16,5±2,1	13,6±4,0	15,8±1,3	15,7±0,9	13,8±1,1	12,4±0,5	11,8±1,3	13,1±1,2	27,5±2,3
ППЛ, мг/см <sup>2</sup>	2,1±0,1	2,0±0,1	1,8±0,2	2,0±0,1	1,8±0,3	2,0±0,1	2,1±0,2	2,0±0,3	1,8±0,1
Площадь лист., см <sup>2</sup>	168,0±9,0	177,1±6,5	180,1±17,5	157,4±9,5	170,5±21,9	147,1±10,6	164,6±14,6	163,3±10,7	165,3±5,7

Влияние же ионов свинца было более значительным и сортоспецифичным. Растения сорта Эльф увеличили доли листьев и, в несколько меньшей степени, корней за счет снижения доли стеблей в растении. Листовая поверхность значительно увеличилась при одновременном уменьшении толщины листьев. Растения сорта Дина увеличили долю надземных органов за счет значительного снижения доли корней. При этом произошло небольшое утолщение листьев при практически неизменной площади. Вероятно, повысились собственные нужды листа в ассимилятах, что и привело к снижению их оттока в растущую корневую систему.

Еще более значительной была потеря доли корней в растениях сорта Абава. У них также доля листьев увеличилась в большей мере, чем доля стеблей, но, в отличие от сорта Дина, произошло увеличение ассимиляционной поверхности. Дру-

гими словами, снижение роста корневой системы (а следовательно, и поступление необходимых для роста минеральных веществ) привело к компенсаторному увеличению доли фотосинтетически активной поверхности растения. Такое изменение может на последующих стадиях привести к увеличению потока синтезированного вещества в корни и возобновить скорость их роста.

**Таким образом,** ионы тяжелых металлов приводят к значительному перераспределению потоков пластических веществ в системе донорно-акцепторных связей растений овса и ячменя. Характер и направление этих изменений в большой мере определяются генотипом растений. Интересно отметить, что сорта, более устойчивые к действию алюминия, и в случае воздействия ионов тяжелых металлов имели более высокий уровень поддержания донорно-акцепторных связей между органами растения.

Таблица 4. Изменение морфологических показателей растений ячменя под влиянием тяжелых металлов.

Параметры	Эльф			Дина			Абава		
	Контроль	Cd 50 мкМ	Pb 500 мкМ	Контроль	Cd 50 мкМ	Pb 500 мкМ	Контроль	Cd 50 мкМ	Pb 500 мкМ
Высота растений, см	27,8±1,6	27,8±2,4	29,2±1,8	31,9±1,6	28,9±1,5	27,1±1,4	33,3±2,5	34,1±2,2	34,7±2,1
Сух. масса листьев, г	0,40±0,02	0,39±0,03	0,41±0,01	0,36±0,02	0,36±0,01	0,37±0,04	0,30±0,09	0,40±0,03	0,41±0,03
Сух. масса стеблей, г	0,22±0,02	0,22±0,03	0,20±0,03	0,24±0,03	0,23±0,02	0,27±0,02	0,20±0,04	0,25±0,04	0,28±0,02
Сух. масса корней, г	0,17±0,01	0,18±0,00	0,18±0,04	0,18±0,01	0,20±0,00	0,14±0,02	0,23±0,04	0,34±0,01	0,18±0,01
Сух. масса растения, г	0,79±0,03	0,79±0,06	0,80±0,05	0,78±0,05	0,79±0,03	0,78±0,03	0,72±0,18	0,99±0,07	0,86±0,05
Доля листьев в растении, %	50,3±2,4	49,4±0,5	51,8±4,9	46,3±0,2	45,5±0,8	47,5±3,3	40,8±3,5	40,1±0,7	46,9±1,7
Доля стеблей в растении, %	27,9±2,0	27,6±1,3	25,3±2,4	30,2±2,3	29,2±1,8	34,6±2,5	27,4±2,1	25,4±2,7	32,7±0,3
Доля корней в растении, %	21,8±0,8	23,0±1,7	22,9±3,9	23,6±2,3	25,4±0,9	17,9±1,3	31,7±1,7	34,5±2,7	20,4±1,9
Объем корней, мл	1,8±0,3	1,6±0,3	1,3±0,2	1,27±0,22	1,13±0,08	1,03±0,11	1,10±0,12	1,53±0,32	1,77±0,29
КОЕ, мг-экв./100 г	31,6±1,8	32,2±4,4	36,5±6,7	26,6±4,8	26,1±0,7	34,5±6,0	13,4±0,8	14,6±1,2	30,3±3,0
ППЛ, мг/см <sup>2</sup>	2,3±0,2	2,3±0,2	2,1±0,2	2,1±0,1	2,2±0,0	2,2±0,0	2,0±0,1	2,0±0,3	2,0±0,1
Площадь лист., см <sup>2</sup>	171,0±21,1	173,6±22,7	201,3±22,3	170,6±12,3	162,6±1,8	167,2±14,2	172,6±23,2	196,5±14,8	203,6±17,9

### Литература

1. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Краткий курс общей экологии. Часть I: Экология видов и популяций: Учебник. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2011. – 206 с.
2. Климов С.В., Трунова Т.И., Мокроносов А.Т. Механизм адаптации растений к неблагоприятным условиям окружающей среды через изменение донорно-акцепторных отношений // Физиология растений. 1990 Т. 37. № 5. С. 1024-1035.
3. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений. Учебник. – М.: Логос, 2001. 224 с.

### INFLUENCE OF IONS OF HEAVY METALS ON SYSTEM OF SINK-SOURCE LINKS OF OATS AND BARLEY PLANTS

O.A. Zubkova, E.A. Russkih,  
L.N. Shihova, E.M. Lisitsyn

The Northeast ZNIISH of N.V. Rudnitsky  
E-mail: edaphic@mail.ru

*During laboratory and vegetative experiments with different varieties of oats and barley, valuable by groats quality, it is revealed, that, ions of heavy metals – iron, manganese, cadmium and lead lead to significant redistribution of streams of plastic substances in system of donor-acceptor relations of plants. Character and a direction of these changes are defined by a genotype of plants to a great extent.*

**Key words:** oats, barley, heavy metals, donor-acceptor relations, stress.

УДК 633.174

### ПРОСО КАК ПРОМЕЖУТОЧНАЯ КУЛЬТУРА

Л.Х. СОКУРОВА, кандидат с.-х. наук  
Кабардино-Балкарский НИИСХ

*Одним из наиболее важных моментов при использовании промежуточных культур является защита почвы от эрозионных процессов. Осуществляется она за счет развития достаточно мощной надземной и подземной растительной массы, обеспечивающей защиту поверхности почвы от ударного воздействия капель дождя при выпадении ливневых осадков, улучшающей свойства почвы за счет корневых систем и т.д.*

**Ключевые слова:** просо, экологическое земледелие, промежуточная культура, поукосные и пожнивные посевы, защита почвы, высокая продуктивность

#### Введение.

Выращивание промежуточных культур - одно из важных мероприятий в экологическом земледелии. В промежуточных посевах просо можно использовать как подсевную, поукосную и пожнивную культуру на корм и зеленое удобрение. Они не занимают самостоятельной площади, а используют остаток теплого времени, после уборки

основной культуры, а с экологической стороны поле не находится без растений в течение всего теплого периода. Промежуточные посевы не только обеспечивают дополнительное получение зерна и кормов, но и имеют большое агротехническое значение. Многие сорняки после уборки ранних культур успевают завершить свое развитие и дать семена, что приводит к накоплению в почве вегетативных и семенных источников засорения. Особенно сильно при этом засоряются орошаемые земли. При выращивании двух урожаев за вегетационный период подавляется сорная растительность, почва лучше очищается от сорняков. Одновременно с этим в ней увеличивается содержание свежего органического вещества. Растения повторных посевов предохраняют от вымывания питательные вещества, улучшают водно-физические свойства почвы и защищают ее от водной и ветровой эрозии. Высокая продуктивность проса в поукосных и пожнивных посевах обуславливается тем, что при достаточной влажности это растение