

## ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ В ЭДАФИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ ЯЧМЕНЯ

Е.М. ЛИСИЦЫН<sup>1,2</sup>, доктор биологических наук

<sup>1</sup>ФГБНУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СЕВЕРО-ВОСТОКА»,  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «ВЯТСКАЯ ГСХА», г. Киров

*Сложный генетический контроль признаков устойчивости растений к абиотическим факторам делает необходимым использование в эдафической селекции комплексных физиологических показателей деятельности корневых систем. Однако в имеющихся на сегодняшний день моделях сортов зерновых культур показатели развития корневых систем практически не используются. В статье на примере изучения 7 сортов и 13 селекционных линий ярового ячменя предлагаются интегральные физиологические показатели экологической устойчивости растений ярового ячменя, позволяющие на ранних этапах развития подбирать перспективный для скрещивания материал в ходе селекции на кислото- или алюмоустойчивость. Эти показатели (относительное массовое соотношение корень/росток, окислительная активность корней и интенсивность транспирации, выраженная на грамм сухой массы корней) имеют широкий размах генотипического варьирования и при этом относительно слабо связаны с интегральным показателем устойчивости – индексом длины корней. Коэффициенты парных корреляций составили, соответственно, -0,228, 0,186 и 0,168, при этом они статистически незначимы на уровне  $p \leq 0,05$ . Показатель относительного соотношения корень/росток варьировал от снижения на 16,5% (линия 177-07) до увеличения на 29% (линия 53-08). Отмечены изменения окислительной активности корней как в сторону снижения (до 69% от контроля, линия 33-11), так и в сторону усиления (до 34% выше контроля, сорт Саншайн). Вариабельность относительного показателя интенсивности транспирации составляет 40% (от 43,76 у линии 484-09 до 198% у линии 52-12 при средней величине 109% от контроля). Использование этих четырех параметров позволяет дать комплексную оценку работы корневых систем в условиях стрессового воздействия.*

**Ключевые слова:** индекс длины корней, соотношение корень/росток, окислительная активность, интенсивность транспирации, алюминий.

Создаваемые селекционерами модели сортов обычно учитывают особенности развития надземных органов растений. В частности, для условий Волго-Вятского района разработаны модели сортов таких зерновых культур, как овес (Баталова Г.А. 2013), ячмень (Щенникова И.Н. 2015), пшеница (Коряковцева Л.А., Волкова Л.В. 2014) и озимая рожь (Уткина Е.И. 2017). Разработано множество показателей развития надземной массы растений, используемой в селекции на устойчивость к стрессовым воздействиям, тогда как развитие корневых систем привлекает пока меньшее внимание исследователей [1, 2, 3]. Однако, в условиях действия различных абиотических стрессовых факторов значительную роль в успешном развитии растения играют корневые системы [4, 5, 6]. При этом первичная корневая система часто оказывается более важной, чем вторичная: в условиях действия почвенной засухи [7], повышенной кислотности почвы [8], недостатка фосфорного питания [9]. Поэтому параметры устойчивости корневых систем могут служить экспрессной информацией о реакции растений на действие подобных стрессоров. Например, морфологические параметры развития первичных (зародышевых) корней успешно используются в селекции зерновых культур на алюмоустойчивость в условиях кислых почв Европейского Нечерноземья [10]. Хотя анатомические и морфологические признаки дают

исследователю интегральную информацию о характере реакции растений на стрессор, для выявления вклада отдельных параметров в этот конечный ответ необходимо оценивать уровень изменений частных физиологических процессов. Этим процессам не так много: дыхание, минеральное питание, поглощение и перемещение воды и растворов (водный режим). Каждый из этих процессов может быть охарактеризован по какому-то своему физиолого-биохимическому показателю. Предлагаемая статья имеет целью показать применимость некоторых параметров для оценки устойчивости работы корневых систем в условиях абиотического стресса.

Перспективные для селекции физиологические показатели развития корневых систем, на наш взгляд, должны отвечать ряду требований: быть связаны с интегральными метаболическими функциями, легко оцениваться в лабораторных или вегетационных условиях, не требуя сложного аппаратного обеспечения. С другой стороны должен наблюдаться межсортовой полиморфизм по уровню проявления используемого параметра. Такими интегральными параметрами могут быть показатели соотношения биомассы корней и надземных частей проростков, относительные уровни перемещения воды из корневых систем в надземные органы; уровень окислительной активности корневых систем.

#### **Материалы и методика исследований**

Исследования проведены на 7 сортах и 13 линий ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) из рабочей коллекции лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, за что автор выражает искреннюю благодарность руководителю подразделения, доктору с.-х. наук. Щенниковой И.Н. В качестве стрессового воздействия использовали ионы алюминия (1мМ сульфата алюминия при pH 4,3) для имитации почвенной алюмокислотности – главного стрессового фактора кислых дерново-подзолистых почв [11]. Работу корневых систем характеризовали по их окислительной активности (показывающей способность корневых систем поглощать питательные вещества из раствора) и интенсивности транспирации листьев, выраженной на сухую массу корней (показатель способности перекачивать растворы из корневой системы к надземным органам). Определение окислительной активности проводили в соответствии с методикой Гусева А.Р. и др. (1975), интенсивность транспирации – весовым методом (Варасова Н.Н., Шустова А.П., 1969) в нашей модификации – конечный показатель рассчитывали не на площадь листьев, а на сухую массу корневых систем.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Под действием стрессового фактора в значительной степени изменяются такие морфологические параметры растений, как длина и масса корней, масса ростка, весовое соотношение корней и ростков (табл. 1).

Соотношение длины корней проростков в опыте и контроле (показатель индекс длины корней, ИДК; root tolerance index, RTI) наиболее часто используется для оценки потенциальной алюмоустойчивости растений. Однако этот параметр не слишком тесно связан с урожайными характеристиками растений в полевых условиях – коэффициент парной корреляции между ним и относительной урожайностью зерновых культур составлял 0,50-0,65. Поэтому в дополнение к этому показателю мы предлагаем использовать еще один – относительное массовое соотношение ростков и корней (root-to-shoot ratio, RSR), который дает информацию о перераспределении пластических веществ между надземными и подземными органами, как показатель стратегии адаптации к условиям роста.

Показатель относительного соотношения RSR (изменение показателя под влиянием стресса) варьирует в широком диапазоне – от снижения на 16,5% (линия 177-07) до увеличения на 29% (линия 53-08). Два использованных показателя относительно слабо связаны друг с другом ( $r = -0,228$ ), поскольку отражают разные метаболические перестройки организма в стрессовых условиях. Это, в свою очередь, позволяет использовать оба показателя для более четкой дифференциации образцов по уровню устойчивости.

Таблица 1

**Влияние ионов алюминия на морфологические параметры проростков ячменя (в пересчете на 1 растение)**

Сорт, селекционная линия	Длина корня, см		ИДК, %	Массовое соотношение корень/ росток (RSR)		Изменение RSR, %
	контроль	стресс		контроль	стресс	
Patricia	11,97±0,34	10,68±0,16	89,2	91,5	85,2	93,1
Maiz	13,11±0,43	10,91±0,42	83,3	95,1	86,4	90,9
Саншайн	11,73±0,45	10,95±0,26	93,4	86,2	84,9	98,5
Sebastian	12,85±0,40	11,88±0,32	92,1	88,4	80,5	91,1
Персей	14,39±0,22	11,61±0,28	80,7	83,6	101,9	121,9
Симфония	12,25±0,23	11,28±0,19	92,1	88,9	85,5	96,2
Одесский 22	13,58±0,20	12,66±0,19	93,2	100,0	103,1	103,1
43-05	12,97±0,05	11,58±0,13	89,2	104,6	132,6	126,8
177-07	13,18±0,05	10,46±0,21	79,4	116,9	97,6	83,5
346-09	13,21±0,27	11,28±0,12	85,4	102,7	91,9	89,5
53-08	13,57±0,30	10,97±0,11	80,8	73,5	94,7	128,9
33-11	13,53±0,29	10,95±0,42	81,0	95,2	94,1	98,9
484-09	12,48±0,11	10,98±0,71	88,0	94,1	79,8	84,8
550-08	13,41±0,17	10,29±0,29	76,8	112,3	102,7	91,5
304-10	12,13±0,67	9,75±0,35	80,4	102,9	95,1	92,5
383-10	13,04±0,48	11,84±0,24	90,8	101,4	92,6	91,3
363-11	13,05±0,28	11,87±0,42	90,9	81,3	85,1	104,7
211-12	12,87±0,15	10,72±0,52	93,0	79,3	76,1	96,0
52-12	11,78±0,22	10,50±0,46	89,2	96,9	93,5	96,4
103-13	7,71±0,22	7,17±0,08	83,2	72,5	62,0	85,5

В лабораторных условиях, после оценки параметра ИДК, отбирались в трехкратной повторности пять усредненных проростков для оценки двух других физиологических показателей – относительной интенсивности транспирации, выраженной на сухую массу корней, и относительной окислительной активности корневых систем (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Окислительная активность корней пятидневных проростков ярового ячменя, мг KMnO4 / г корней**

Сорт, селекционная линия	контроль	опыт	% от контроля
Patricia	10,39±0,55	12,63±0,77	121,58
Maiz	11,28±0,97	13,75±1,11	121,85
Саншайн	10,43±0,83	14,00±0,90	134,16
Sebastian	12,11±0,49	14,41±0,88	119,00
Персей	11,06±0,52	10,34±0,14	93,48
Симфония	11,72±1,19	13,41±0,81	114,63
Одесский 22	10,23±0,41	10,42±0,85	101,83
43-05	8,71±0,95	7,68±0,82	88,24
177-07	7,61±0,53	8,86±0,20	116,49
346-09	10,42±0,44	8,28±0,90	79,41
53-08	9,95±0,16	9,85±0,30	99,04
33-11	11,06±0,54	7,64±0,55	69,10
484-09	12,97±0,97	12,38±1,10	95,43
550-08	9,63±0,54	9,72±0,19	100,86
304-10	10,27±0,48	12,82±0,24	124,87
383-10	12,13±0,75	10,12±0,25	83,49
363-11	14,27±0,75	12,59±0,54	88,21
211-12	9,49±0,13	12,53±0,83	131,95
52-12	11,64±0,41	11,38±0,54	97,75
103-13	12,65±0,02	14,60±1,73	115,38

Как следует из данных таблицы 2, линии ярового ячменя значительно различаются как по величине окислительной активности в контроле и в условиях действия стрессового фактора, так и по относительным параметрам – изменения окислительной активности корней могут быть как в сторону снижения (до 69% от контроля, линия 33-11), так и в сторону усиления (до 34% выше контроля, сорт Саншайн).

Таким образом, высокая генетическая вариабельность показателя может служить аргументом для использования его в качестве информативного интегрального параметра работы корневых систем. Еще одним аргументом в пользу потенциальной возможности использования этого показателя является его независимость от двух предыдущих параметров устойчивости (ИДК и RSR): коэффициент парной корреляции составил, соответственно, 0,186 и -0,222.

Таблица 3

**Интенсивность транспирации пятидневных проростков ярового ячменя, г воды\*час-1 / г корней**

Селекционная линия	контроль	опыт	% от контроля
Patricia	0,401±0,101	0,508±0,076	126,93
Maiz	0,354±0,033	0,562±0,029	159,02
Саншайн	1,611±0,139	1,992±0,010	123,66
Sebastian	1,118±0,255	0,895±0,034	80,07
Персей	0,557±0,014	1,071±0,107	192,39
Симфония	0,645±0,059	0,922±0,251	143,02
Одесский 22	0,938±0,090	0,780±0,050	83,14
43-05	0,954±0,040	0,934±0,074	97,86
177-07	0,704±0,212	0,911±0,126	129,30
346-09	1,551±0,275	0,983±0,134	63,39
53-08	1,220±0,072	0,783±0,013	64,19
33-11	1,036±0,108	0,726±0,019	70,13
484-09	1,722±0,075	0,754±0,175	43,76
550-08	1,139±0,116	1,032±0,341	90,61
304-10	1,704±0,055	1,029±0,389	60,40
383-10	1,132±0,128	1,812±0,292	160,03
363-11	1,390±0,228	1,447±0,283	104,13
211-12	0,764±0,087	0,991±0,116	129,64
52-12	0,399±0,060	0,789±0,041	197,99
103-13	0,593±0,249	0,529±0,187	89,23

Данные таблицы 3 указывают на высокую степень генетической гетерогенности исследуемого набора образцов ярового ячменя по реакции на стрессор в зоне корней, выраженный в изменении интенсивности транспирации. Вариабельность относительного показателя составляет 40% (от 43,76 у линии 484-09 до 198% у линии 52-12 при средней величине показателя 109% от контроля). Такая высокая генетическая вариабельность показателя делает его перспективным интегральным параметром оценки работы корневых систем. Этот параметр также независим от параметра ИДК: коэффициент парной корреляции между этими относительными показателями составил 0,168. Парная корреляция между показателями окислительной активности и интенсивности транспирации еще ниже и составляет 0,143. Связь с параметром RSR несколько выше ( $r = 0,387$ ), однако на уровне  $p \leq 0,05$  она статистически не значима.

**Выводы**

Таким образом, все четыре показателя могут быть использованы одновременно для оценки разных сторон метаболизма корневых систем, то есть, для более подробной характеристики общей устойчивости исследованных образцов.

Получив данные по нескольким показателям устойчивости растений к стрессовому воздействию следующим шагом в отборе генотипов для скрещивания будет статистическая обработка результатов методами многомерного анализа, например, кластерным анализом по

методу Варда (Ward's method). Он позволяет объединить в один кластер сорта, схожие по нескольким параметрам физиологической активности. Подобный анализ по признаку алюмоустойчивости был успешно применен нами на примере сортов яровой мягкой пшеницы [12]. В результате были выделены сорта для дальнейшего скрещивания, проведены скрещивания по предложенным схемам и полученные гибридные комбинации в настоящее время проходят лабораторные и вегетационные исследования. В 2018 году они будут испытаны в условиях кислых дерново-подзолистых почв.

Аналогичный подход используется нами в настоящее время в совместных работах с селекционными подразделениями ФАНЦ Северо-Востока, занимающимися экологической селекцией овса, ячменя и пшеницы.

### Литература

1. Araus J.L., Slafer G.A., Royo C., Serret M.D. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals // Critical review in plant science. – 2008. – V. 27. – P. 377-412. DOI: 10.1080/07352680802467736.
2. Manschadi A.M., Christopher J., Devoil P., Hammer G.L. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments // Funct. Plant Biol – 2006. – Vol. 33. – P. 823837. DOI: 10.1071/FP06055.
3. Den Herder G., Van Isterdael G., Beeckman T., De Smet I. The roots of a new green revolution // Trends Plant Sci. – 2010. Vol. 15. – P. 600–607. DOI: 10.1016/j.tplants.2010.08.009.
4. Ehdai B., Layne A.P., Waines J.G. Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat // Euphytica. – 2012. – Vol. 186. – P. 219-232. DOI: 10.1007/s10681-011-0585-9.
5. Palta J.A., Yang J.C. Crop root system behaviour and yield preface // Field Crops Res. – 2014. – Vol. 165. – P. 1-4. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.06.024.
6. Raza A., Imtiaz M., Mohammad W. Wheat root selections for sustainable production // Sustainable Agriculture Reviews. – 2015. - Vol. 18. – P. 295–315. DOI: 10.1007/978-3-319-21629-4\_10
7. Sorrels M.E., Diab A., This D. Drought adaptation in barley // in: Drought adaptation in cereals (ed. J.-M. Ribaut). - New York, London, Oxford: Food Product Press, – 2006. – P.223-258.
8. Haling R.E., Simpson R.J., Culvenor R.A., Lambers H., Richardson A.E. Effect of soil acidity, soil strength and macropores on root growth and morphology of perennial grass species differing in acid-soil resistance // Plant, Cell & Environment. – 2011. – V. 34. – P. 444-456. doi:10.1111/j.1365-3040.2010.02254.x
9. Zhu J., Mickelson S.M., Kaeppler S.M., Lynch J.P. Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels // Theor. Appl. Genet. – 2006. – V. 113 (1). – P. 1-10. DOI: 10.1007/s00122-006-0260-z
10. Амунова О.С. Исходный материал для селекции мягкой яровой пшеницы на устойчивость к неблагоприятным эдафическим факторам волго-вятского региона: дисс. ... канд. биол. наук: 06.01.05 / ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, – 2017. – 157 с.
11. Lisitsyn E.M., Shchennikova I.N., Shupletsova O.N. Cultivation of barley on acid sod-podzolic soils of north-east of Europe // Barley: Production, Cultivation and Uses. Ed. S.B. Elfson. - New York: Nova Science Publishers, – 2011. – P. 49-92.
12. Лисицын Е.М., Амунова О.С. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18. – № 3. – С. 497-505.

## INDEXES OF ROOT SYSTEM DEVELOPMENT FOR BARLEY EDAPHIC BREEDING

E.M. Lisitsyn<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>FEDERAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER OF NORTH-EAST

<sup>2</sup>VYATKA STATE AGRICULTURAL ACADEMY

**Abstract:** *Complex genetic control of parameters of plant resistance to abiotic stressors make it necessary to use integral physiological indexes of root system activity during plant edaphic breeding. However, until now available models of cereal varieties do not contain any parameters of development of root systems. In the given article, integral physiological indexes of spring barley ecological resistance are proposed which one allows to select perspective genotypes for crossing during breeding for acid- or aluminum-resistance on the example of seven varieties and 13 selection lines of spring barley. These indexes (relative mass ratio root/shoot; oxidizing activity of roots; transpiration intensity expressed per gram of dry root weight) have wide genotypic variation but relatively weak link with integral resistance parameter – root tolerance index. Coefficients of pair correlation were correspondly -0.228; 0.186 and 0.168, at the same time they are not significant statistically at level  $p \leq 0.05$ . Index of relative ratio root-to-shoot varied from 16.5% decreasing (selection line 177-07) up to 29% increasing (selection line 53-08). Change in oxidizing*

activity of roots are marked both in lowering direction (up to 69% of control mean, selection line 33-11), and in rising direction (up to 34% higher than control mean, variety Sunshine). Variability of relative index of transpiration intensity was 40% (from 43.76% for selection line 484-09 up to 198% for selection line 52-12 at average value 109% from control mean). Use of these four indexes allows to make complex estimation of activity of root systems under condition of stress impact.

**Keywords:** root tolerance index, root-to-shoot ratio, oxidizing activity, transpiration intensity, aluminum.

**DOI:** 10.24411/2309-348X-2018-10020

**УДК** 633.16:631.5:632.9

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИМИДАКЛОПРИДА В ЗАЩИТЕ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ**

**Н. В. КУЗЬМЕНКО**, кандидат биологических наук  
ИНСТИТУТ РАСТЕНИЕВОДСТВА ИМ. В.Я. ЮРЬЕВА НААН (УКРАИНА, ХАРЬКОВ)

*Предпосевная обработка семян инсектицидным веществом имидаклоприд с нормами расхода действующего вещества от 0,25 кг на 1 тонну семян до 0,35 кг/т или 0,27 кг имидаклоприда на 1 тонну семян в смеси с клотианидином, 0,27 кг/т снижала повреждённость листа в фазе всходов (два-три листа) жуками полосатой хлебной блохи от 48,0% до 50,6-54,0 % соответственно. Отмечено повышение эффективности имидаклоприда в защите побегов ячменя от внутрискосовых вредителей, а именно личинок стеблевых блох, в фазе кущения–трубкования с увеличением нормы расхода препарата: при 0,20 кг действующего вещества на 1 тонну семян – 35,5%; 0,25 кг/т – 70,8%; 0,35 кг/т – 94,6%; эффективность комбинации имидаклоприда с клотианидином, 0,27 кг/т + 0,27 кг/т соответственно, составила 77,0%. Техническая эффективность имидаклоприда в защите растений от ячменной тли в фазе молочной спелости зерна также повышалась с увеличением нормы расхода препарата: при 0,25 кг/т составила 24,0%; при 0,35 кг/т – 56,9%; эффективность смеси имидаклоприда с клотианидином, 0,27 кг/т + 0,27 кг/т соответственно, составила 62,1%.*

**Ключевые слова:** ячмень яровой, вредители, имидаклоприд, клотианидин, техническая эффективность, урожайность.

Ячмень яровой – ценная продовольственная, кормовая и техническая культура. Однако, одним из факторов, снижающих урожай зерна являются вредные организмы, в частности, насекомые. С целью снижения пестицидной нагрузки на агроценоз ячменного поля, а также на окружающую среду, в регулировании численности и снижении вредоносности вредителей особое место занимает предпосевная обработка семян [1]. Среди ассортимента препаратов в последнее время широкое применение находят инсектицидные протравители на основе неоникотиноидов [2, 3].

**Цель исследований.** Изучить влияние предпосевной обработки семян ячменя ярового инсектицидным действующим веществом имидаклоприд на численность вредителей и урожайность культуры.

### **Материалы и методика исследований**

Исследования проведены в девятипольном паро-зерно-пропашном стационаре отдела растениеводства и сортоизучения Института растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН Украины (Восточная Лесостепь Украины) в 2011-2017 гг.

Почва – типичный чернозем среднегумусный на лёссе с содержанием гумуса в пахотном горизонте около 5,3%.

Семена ячменя ярового за 1-12 дней перед посевом обрабатывали инсектицидными протравителями: Табу с нормами расхода препарата 0,4; 0,5 и 0,7 л/т (действующее вещество