

УДК 581.632.121

## ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА ИВИНА И БАП НА ПОКАЗАТЕЛИ ВОДООБМЕНА ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ И ЯЧМЕНЯ НА ФОНЕ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ

С.Н. КАБУЗЕНКО,<sup>1</sup> М.Н. ЖИЖИНА,<sup>1</sup> С.П. ПОНОМАРЕНКО,<sup>2</sup> И.В. РИВНАЯ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского  
95007 Симферополь, просп. Вернадского, 4

<sup>2</sup>Институт биоорганической химии и нефтехимии Национальной академии наук  
Украины  
02094 Киев, ул. Мурманская, 1

Изучали влияние синтетических регуляторов роста ивина и БАП на показатели водообмена проростков кукурузы и ячменя на фоне хлоридного засоления. Установлено, что засоление увеличивает относительную тургесцентность листьев и резко снижает интенсивность транспирации исследуемых культур. Регуляторы роста на солевом фоне интенсифицируют водообмен, что проявляется в более активном набухании семян, увеличении скорости их прорастания, а также активизации нагнетающей деятельности корня проростков и интенсивности транспирации. Наблюдаемое под действием регуляторов роста на фоне засоления увеличение общего содержания белка может быть одной из причин повышения гидравлической проводимости мембран.

*Ключевые слова:* кукуруза (*Zea mays* L.), ячмень (*Hordeum vulgare* L.), ивин, БАП (6-бензиламинопурин), водообмен.

Одной из сторон негативного влияния засоления на жизнедеятельность культурных растений является нарушение водообмена. Показано, что механизм адаптации гликофитов к действию солей основан на изменении осмотических свойств клеток, влияющих на водообмен [12]. У ряда культур на фоне хлоридного и сульфатного засоления наблюдались изменения анатомо-морфологической структуры листьев (галосуккулентность, галоксеричность), связанные с нарушением функций водообмена и клеточного роста [11].

Таким образом, снижение биологической и хозяйственной продуктивности культурных растений в этих условиях в значительной степени зависит от параметров водообмена, существенно изменяющихся на фоне засоления [2].

Ранее мы показали возможность использования для адаптации к засолению злаковых культур синтетических регуляторов роста ивина и БАП (6-бензиламинопурина), которые способствуют активации роста и нормализации морфометрических показателей в указанных условиях. Установлены физиологически активные концентрации этих препаратов, оказывающих защитное действие на растения в условиях засоления, которые использованы нами в последующих опытах [13]. Однако направленность изменения водообмена растений под влиянием этих препара-

тов не изучена. Установление закономерностей их влияния на водообмен дает возможность прогнозировать использование регуляторов роста в условиях недостатка влаги.

Целью данной работы было изучение параметров водообмена проростков кукурузы и ячменя на фоне засоления и адаптирующего действия препаратов ивина и БАП.

### Методика

В качестве объектов исследования взяты культуры, отличающиеся по степени солеустойчивости — ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Сталкер (высокая солеустойчивость) и кукуруза (*Zea mays* L.) сорта Одесская 10 (средняя степень солеустойчивости). Оба сорта широко районированы в Крыму.

Исследования проводили в условиях лаборатории. Семена культур промывали, протравливали в слабом растворе перманганата калия и помещали по 100 штук в кюветы на фильтровальную бумагу, смоченную растворами по схеме: контроль 1 (отстоянная водопроводная вода); контроль 2 (раствор 100 мМ NaCl — для кукурузы; 200 мМ NaCl — для ячменя); опыт 1 (100 мМ NaCl + БАП (5 мкг/л) — для кукурузы; 200 мМ NaCl + БАП (5 мкг/л) — для ячменя); опыт 2 (100 мМ NaCl + ивин (50 мкг/л) — для кукурузы; 200 мМ NaCl + ивин (50 мкг/л) — для ячменя).

Семена проращивали в термостате при температуре 24 °С, проросшие семена высаживали в вегетационные сосуды, засоление в которых моделировалось внесением хлорида натрия в почву. В качестве контроля служила лугово-черноземная почва без признаков засоления, взятая в долине р. Салгир, в качестве опыта — лугово-черноземная почва с засолением 0,2 % NaCl на единицу массы сухой почвы.

Соль вносили в почву с поливной водой. Влажность почвы в сосудах поддерживалась на уровне 60 % полной влагоемкости (ПВ). Емкость вегетационного сосуда 2 кг. Температура поддерживалась в пределах 24—25 °С, освещенность — 10 клк, продолжительность опыта — 1 мес.

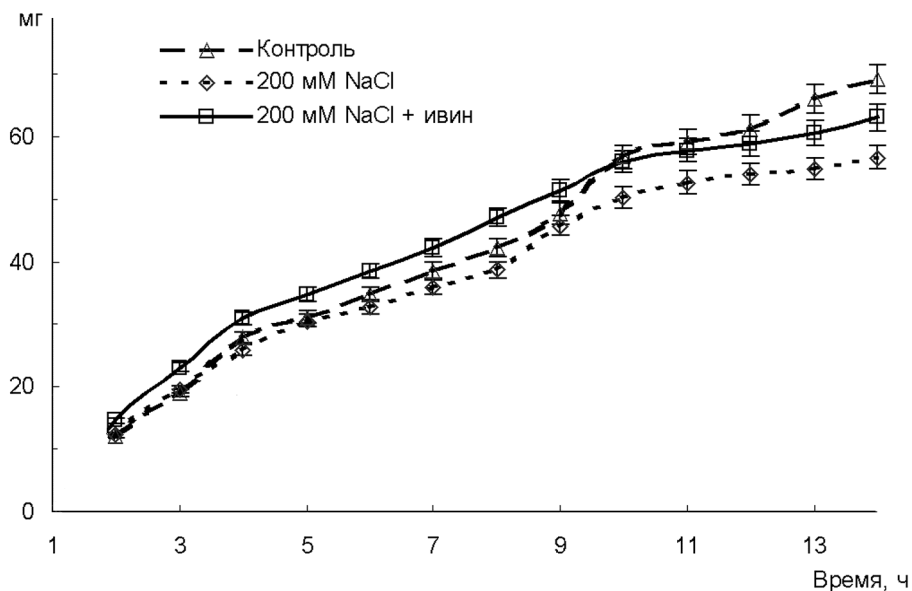
В ходе эксперимента определяли изменение влажности семян в процессе набухания, динамику прорастания и проклевывания семян, интенсивность транспирации проростков гравиметрическим методом, относительную тургесцентность тканей листьев видоизмененным методом Уизерли [17], выделение пасоки из декапитированных растений по оригинальной методике, разработанной в нашей лаборатории [3], и содержание белка по Лоури [9].

### Результаты и обсуждение

По данным литературы, необходимым фактором для прорастания семян является менее отрицательный водный потенциал снаружи, чем в прорастающих семенах [7].

Ранее высказывалось мнение, что главной причиной задержки прорастания семян на фоне засоления является резкое снижение водного потенциала почвы [4, 12].

Проанализировав полученные данные по поглощению воды семенами, набухающими в солевом растворе и в растворе, содержащем регулятор роста ивин, отметим, что в первые 2 ч опыта масса сырого вещества семян ячменя опытного варианта отличалась от контроля в пределах



Изменение массы семян (мг) ячменя сорта Сталкер в процессе поглощения воды при набухании на фоне засоления и применения ивина

ошибки опыта (рисунок). Однако уже по истечении 6 ч в вариантах с добавлением регулятора роста масса семян, поглотивших воду, была на 5—15 % выше, чем на солевом фоне. Через 8 ч от начала набухания наблюдалось отставание варианта с NaCl от контроля, в то время как семена варианта NaCl + ивин имели массу сырого вещества, даже превышающую контроль.

На основании полученных результатов мы сделали вывод, что наблюдаемое в лаг-периоде различие скоростей набухания семян в разных вариантах обусловлено, по-видимому, действием хлорида натрия и ивина на активность ферментов, гидролизующих запасные вещества семян. Через 14 ч после начала опыта наибольшая скорость набухания наблюдалась у семян контрольного варианта, что может быть связано с деятельностью клеток органов зародышевой оси, продуцирующих эндогенные фитогормоны [10].

Эти данные соответствуют результатам, полученным Барановой и соавт. [1], которые отмечали замедление использования запасных липидов прорастающих семян люцерны под влиянием NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Следовательно, можно предположить, что предпосевная обработка семян регуляторами роста стимулирует ускорение их прорастания за счет активации ферментных систем, способствующей утилизации запасных питательных веществ и более активному поглощению воды в процессе набухания, что, в свою очередь, ускоряет проклевывание и прорастание семян.

Из данных табл. 1 следует, что на фоне засоления без добавления регуляторов роста семян проклевывалось меньше, а прорастало — в несколько раз меньше, чем в контроле. Применение на фоне засоления препаратов ивина и БАП способствует увеличению количества как проклюнувшихся, так и проросших семян, приближая процент проклевывания к контрольному значению.

ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА

ТАБЛИЦА 1. Количество проросших и проросших семян кукурузы и ячменя на вторые сутки от начала опыта

Вариант	Количество проросших семян, %	Количество проросших семян, %
Кукуруза сорта Одесская 10		
Контроль (H <sub>2</sub> O)	64,0 ± 3,2	32,0 ± 1,6
100 мМ NaCl	42,0 ± 2,0	12,0 ± 0,1
100 мМ NaCl + БАП	61,3 ± 3,1	29,0 ± 1,4
100 мМ NaCl + ивин	49,0 ± 2,4	16,5 ± 0,8
Ячмень сорта Сталкер		
Контроль (H <sub>2</sub> O)	61,0 ± 3,1	34,0 ± 1,7
200 мМ NaCl	48,0 ± 2,7	17,0 ± 0,9
200 мМ NaCl + БАП	52,0 ± 2,6	26,0 ± 1,3
200 мМ NaCl + ивин	63,0 ± 3,2	35,0 ± 1,8

По данным литературы, этот этап не связан с митотической активностью, а определяется растяжением клеток зародышевого корня или гипокотыля, что зависит от поступления воды в семена [8]. По мнению Удовенко [12], процесс прорастания семян на фоне засоления ингибируется меньше, чем всхожесть. В этих условиях наблюдается как бы «консервация» проросших семян, основной причиной которой является повышение содержания ионов солей в клетках зародыша, а затем и проростка, в котором наблюдается торможение обеих фаз клеточного роста — деления и растяжения. На последнюю существенное влияние оказывает состояние внутриклеточной воды [6].

Показатели водообмена в проростках ячменя и кукурузы до возраста 1 мес определяли в динамике. Установлено, что направление изменения отдельных параметров водообмена на фоне засоления и при действии регуляторов роста у обеих исследуемых культур в целом идентично.

Как следует из данных табл. 2, на фоне засоления интенсивность транспирации проростков кукурузы снижалась в 2 раза и более против контроля, у ячменя наблюдалось аналогичное изменение, но выраженное в меньшей степени. Снижение интенсивности транспирации может быть результатом увеличения содержания абсцизовой кислоты (АБК) в листьях на фоне засоления [5]. Под влиянием экзогенных регуляторов роста интенсивность транспирации возрастала у обеих культур, но более заметно это было выражено у проростков кукурузы. Влияние ивина на этот показатель было более сильным, чем препарата БАП. Известно, что эндогенные гормоны способны регулировать устьичную проводимость [14]. Полученные нами данные подтвердили, что подобными свойствами могут обладать и регуляторы роста растений при их экзогенном применении.

Снижение интенсивности транспирации как реакция на засоление может быть результатом изменения гормонального баланса в листьях в этих условиях. Ранее мы показали, что на фоне хлоридного засоления в растениях кукурузы повышается содержание абсцизовой и индолилуксусной кислоты (ИУК) [5].

ТАБЛИЦА 2. Интенсивность транспирации проростков кукурузы и ячменя на фоне хлоридного засоления и регуляторов роста, г/(м<sup>2</sup> · ч)

Вариант	Возраст проростков, сут			
	7	14	21	28
Кукуруза сорта Одесская 10				
Контроль (Н <sub>2</sub> О)	43,0 ± 1,1	40,0 ± 1,0	33,0 ± 0,8	26,0 ± 0,7
100 мМ NaCl	21,0 ± 0,5	19,0 ± 0,5	16,0 ± 0,4	12,0 ± 0,3
100 мМ NaCl + БАП	34,0 ± 0,9	33,0 ± 0,8	26,0 ± 0,6	20,2 ± 0,5
100 мМ NaCl + ивлин	33,0 ± 0,8	31,5 ± 0,7	28,0 ± 0,7	23,0 ± 0,5
Ячмень сорта Сталкер				
Контроль (Н <sub>2</sub> О)	38,7 ± 1,9	38,2 ± 1,7	36,5 ± 1,8	32,2 ± 1,6
200 мМ NaCl	27,3 ± 1,2	26,8 ± 1,3	26,5 ± 1,2	25,05 ± 0,9
200 мМ NaCl + БАП	29,2 ± 1,5	28,7 ± 1,4	27,2 ± 1,3	25,7 ± 1,2
200 мМ NaCl + ивлин	35,3 ± 1,7	34,1 ± 1,7	33,2 ± 1,6	31,7 ± 1,5

Снижение интенсивности транспирации у обеих культур в условиях засоления способствовало повышению обводненности листьев, что подтверждается более высокой относительной тургесцентностью их тканей. Этот показатель в листьях растений опытных вариантов был значительно выше, чем в контроле 1 (у ячменя — в 1,8, у кукурузы — в 1,4 раза).

В работах последних лет показана способность растений в условиях стресса регулировать содержание воды в тканях органов как за счет изменения транспирационного потока, так и за счет гидравлической проводимости корневой системы, при этом увеличение транспирационного «запроса» может повышать гидравлическую проводимость корней [15, 16]. Фитогормоны ИУК и АБК могут изменять гидравлическую проводимость корней и обеспечивать баланс между поглощением воды и ее транспирацией [16].

В работе Лялина [7] показана стимуляция плача растений тыквы после введения в среду корнеобитания кинетина и АБК, что автор объяснил увеличением гидравлической проводимости и потока осмотически активных веществ в пасоке. Автор считает, что на гидравлическую проводимость корня особенно влияет АБК. По-видимому, экзогенные регуляторы роста в нашем эксперименте оказали позитивное действие на динамику воды в растениях ячменя и кукурузы на солевом фоне в результате увеличения гидравлической проводимости корня, что способствовало повышению интенсивности транспирации (см. табл. 2).

Повышение гидравлической проводимости корней подтвердили данные по выделению после полива пасоки из декапитированных растений ячменя (табл. 3).

Как следует из данных табл. 3, у обработанных регуляторами роста растений ячменя выделение пасоки корнем было значительно интенсивнее и даже превышало значения контроля 1 в 1,6 раза в варианте с ивином. На основании литературных данных можно предположить, что повышение гидравлической проводимости тканей корня связано с

ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА

ТАБЛИЦА 3. Объем пасоки, выделенный 21-суточными декапитированными растениями ячменя сорта Сталкер в течение 1 ч

Вариант	Объем пасоки, мм <sup>3</sup>	% к контролю
Контроль (H <sub>2</sub> O)	14,2 ± 3,1	100,0
200 мМ NaCl	7,0 ± 2,6	49,3
200 мМ NaCl + БАП	17,0 ± 3,2	119,7
200 мМ NaCl + ивин	23,4 ± 3,8	164,8

ТАБЛИЦА 4. Влияние экзогенных регуляторов роста и засоления на содержание белка в листьях кукурузы сорта Одесская 10

Вариант	Количество белка, мг/г сырого вещества					
	7-е сутки	%	14-е сутки	%	21-е сутки	%
Контроль (H <sub>2</sub> O)	10,65 ± 0,16	100,0	12,52 ± 0,02	100,0	12,87 ± 0,05	100,0
100 мМ NaCl	6,34 ± 0,09	59,5	8,00 ± 0,01	63,9	8,49 ± 0,01	66,0
100 мМ NaCl + БАП	7,88 ± 0,01	74,0	8,24 ± 0,01	65,8	12,21 ± 0,04	94,9
100 мМ NaCl + ивин	7,13 ± 0,01	67,0	9,06 ± 0,03	72,4	12,38 ± 0,08	96,2

функциями аквапоринов — трансмембранных белков, синтез которых может экспрессироваться фитогормонами [15].

Отмечено значительное увеличение содержания белка в тканях проростков кукурузы. Полученные нами данные свидетельствуют, что повышение этого показателя на фоне засоления при воздействии препаратов ивина и БАП отмечалось уже в первый срок определения — на 7-е сутки (табл. 4). К 21-м суткам наблюдения содержание белка в листьях растений кукурузы в вариантах с предварительной обработкой их регуляторами роста на фоне засоления приближалось к контрольному варианту и составляло для препарата ивин 96,2 %, для БАП — 94,9 %.

Следовательно, можно предположить, что одной из причин повышения интенсивности транспирации под влиянием ивина на фоне засоления у растений ячменя и кукурузы, наблюдаемого в наших опытах, является увеличение гидравлической проводимости растительных тканей.

Таким образом, в результате исследований установлено, что действие экзогенных синтетических регуляторов роста — ивина и БАП в физиологически активных концентрациях на показатели водообмена растений кукурузы и ячменя в целом идентично, но для некоторых параметров имеются различия в количественном проявлении у отдельных культур. Направленность изменений показателей водообмена под влиянием препаратов состоит в повышении интенсивности передвижения воды в системе почва — растение — атмосфера, что, по-видимому, способствует интенсификации физиологических процессов в условиях солевого стресса.

1. Баранова Е.Н., Гулевич А.А., Поляков Ю.В. Эффекты NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и маннита на утилизацию запасного крахмала и формирование пластид в семядолях и корнях проростков люцерны // Физиология растений. — 2007. — 54, № 1. — С. 59—67.
2. Захарин А.А. Быстрые реакции водообмена растений при воздействии на корни растворов солей различных концентраций // Там же. — 2001. — 48, № 2. — С. 291—297.

3. Кабузенко С.М. Вплив засолення і екзогенних фітогормонів на ріст та деякі фізіолого-біохімічні функції рослин на ранніх етапах онтогенезу: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. — К., 1997. — 46 с.
4. Кабузенко С.Н., Пономарева С.А. Влияние засоления субстрата на набухание семян и состояние воды в растениях томатов на ранних этапах онтогенеза // Физиология и биохимия культ. растений. — 1976. — 8, № 6. — С. 632—635.
5. Калинина Н.А., Драгатов И.В., Яворская В.К. Фитогормональный баланс корней кукурузы на фоне действия хлоридного засоления и 6-БАП // Уч. зап. Таврич. ун-та им. В.И. Вернадского. — 2001. — № 14 (53), ч. 1. — С. 84—87.
6. Луценко Э.К., Ляхова Н.Ф., Пахомова Г.А. Влияние засоления на анатомо-цитологическую характеристику корней при прорастании семян // Современные проблемы экологии анатомии растений: Материалы 2-го Всесоюз. совещания. — Владивосток, 1990. — С. 93—94.
7. Лялин О.О., Лукьянова С.А. Влияние кинетина и АБК на параметры корневой экссудации // Физиология растений. — 1993. — 40, № 3. — С. 406—414.
8. Обручева Н.В. Физиология начальных этапов прорастания семян двудольных растений: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М., 1991. — 46 с.
9. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. — М.: Колос, 1985. — 255 с.
10. Полевой В.В., Шипарев С.М., Москалева О.В. Гормональная регуляция прорастания семян. Физиология семян. — Душанбе: Дониш, 1990. — С. 119—123.
11. Строгонов Б.П. Метаболизм растений в условиях засоления // XXXIII Тимирязевское чтение. — М.: Наука, 1973. — С. 10.
12. Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. — Л.: Колос, 1997. — 213 с.
13. А.с. 51370 А Україна, 7 А01С1/00. Спосіб передпосівної обробки насіння зернових культур / С.М. Кабузенко, С.П. Пономаренко, М.М. Жижина. — Опубл. 15.11.2002; Бюл. № 11.
14. Blackman P.G., Davies W.J. Root and shoot communication in maize plants // Planta. — 1983. — 34, N 149. — P. 1619—1626.
15. Clareson D.T., Carvajal M., Henzler T. et al. Calcium localization in root cells, phosphorylation and water transport of root system influenced by low root temperature // Exp. Bot. — 2000. — 51, N 342. — P. 61—70.
16. Zimmermann H.M., Hartmann K., Schreiber L., Steudie E. Chemical composition of apoplastic transport barriers in relation to radial hydraulic conductivity of corn roots (*Zea mays* L.) // Planta. — 2000. — 210. — P. 302—311.
17. Wheaterly P.E. Studies in the water relations of the cotton plant // The New Physiologist. — 1950. — 49, N 1. — P.

Получено 03.06.2008

#### ВПЛИВ СИНТЕТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ ІВІНУ ТА БАП НА ПОКАЗНИКИ ВОДООБМІНУ ПРОРОСТКІВ КУКУРУДЗИ І ЯЧМЕНЮ НА ФОНІ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕННЯ

С.М. Кабузенко,<sup>1</sup> М.М. Жижина,<sup>1</sup> С.П. Пономаренко,<sup>2</sup> І.В. Рівняя<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, Сімферополь

<sup>2</sup>Інститут біоорганічної хімії і нафтохімії Національної академії наук України, Київ

Вивчали вплив синтетичних регуляторів росту івіну та БАП на показники водообміну проростків кукурудзи і ячменю на фоні хлоридного засолення. Встановлено, що засолення збільшує відносну тургесцентність листків і різко знижує інтенсивність транспірації досліджуваних культур. Регулятори росту на сольовому фоні інтенсифікують водообмін, що виявляється в активнішому набуханні насіння, збільшенні швидкості його проростання, а також активізації нагнітальної дії коренів проростків та інтенсивності транспірації. Спостережуване під дією регуляторів росту на фоні засолення підвищення загального вмісту білка може бути однією з причин збільшення гідравлічної провідності мембран.

SYNTHETIC GROWTH REGULATORS IVIN AND BAP INFLUENCE ON WATER EXCHANGE VALUES IN CORN AND BARELY GERMS IN SALT SOIL

*S.N. Kabuzenko,<sup>1</sup> M.N. Zhizhina,<sup>1</sup> S.P. Ponomarenko,<sup>2</sup> I.V. Rivnaya<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>V.I. Vernadsky Taurian National University  
4 Vernadsky's avenue, Simferopol, 95007, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine

1 Murmanska St., Kyiv, 02094, Ukraine

The effect of synthetic growth regulators ivin and BAP on water exchange of corn and barely seedlings under salinity was investigated. Salinity increased relative turgescence of leaves and critically reduce transpiration of seedlings. Growth regulators on salinity background raise water exchange rate that was shown in more active swelling of seeds, increase of their germination speed and activation of hydraulic activity of roots and transpiration rate. Observed under the influence of growth regulators on salinity background the increase of the general protein content can be one of the reasons of increase of hydraulic conductivity of membranes.

*Key words:* corn (*Zea mays* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.), ivin, 6-BAP, water exchange.