

## ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ОБРАБОТОК ФИТОРЕГУЛЯТОРАМИ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ NaCl

*Аннотация.* Показана возможность применения экзогенного внесения фиторегуляторов для повышения толерантности растений к засолению. Обработка пшеницы 6-БАП и АБК приводит к компенсации воздействия NaCl. При этом характер физиологического ответа растений зависит от уровня засоления и опосредован направленностью изменений в эндогенном содержании гормонов и их соотношении. Обработка 6-БАП в варианте 213 мМ NaCl оказала протекторное влияние.

*Ключевые слова:* фитогормоны, цитокинины, ауксины, 6-БАП, АБК, солевой стресс.

### Введение

Одной из проблем при изучении гормональной системы в процессах адаптации остаётся исследование возможностей корректировки гормонального баланса для повышения толерантности растений. Несмотря на ряд исследований, указывающих на роль таких фитогормонов, как цитокинин и абсцизовая кислота в повышении устойчивости растений к засухе [1], избытку влаги [2], действию стрессовых температур [3], в отношении солевого стресса имеются лишь отдельные сведения. Такие центральные процессы энергетического обмена, как фотосинтез и дыхание рассматривались в этой связи лишь в отдельных случаях на проростках [4]. Между тем изучение этих вопросов вносит вклад в проблему агроэкологии и представляет практический интерес.

Целью работы служило выяснение характера действия фитогормонов при их экзогенном внесении во взаимосвязи с процессами адаптации к условиям засоления.

### Объект и методы исследования

Исследования проводили в условиях лабораторных и вегетационных (почвенные культуры) опытов на яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.). NaCl вносили в виде раствора с поливными водами при прорастании (лабораторные опыты), и в фазу трех листьев (вегетационные опыты). Опрыскивание раствором 6-БАП ( $4 \times 10^{-5}$ М) и АБК ( $1 \times 10^{-5}$ М) в вегетационных опытах проводили в фазу кущения (III этап органогенеза), в лабораторных опытах – на следующий день после внесения NaCl. Концентрации вносимых гормонов и NaCl устанавливали путем подбора с учетом особенностей выбранного объекта. Контрольные растения опрыскивали водой.

На протяжении онтогенеза определяли интенсивность ростовых процессов (массу органов растений), содержание пигментов [5], хлорофилловый индекс [6], ЧПФ [7]. Интенсивность дыхания и фотосинтеза анализировали манометрическим методом в аппарате Варбурга [8]. Для выяснения специфики действия 6-БАП и АБК при оптимальных условиях и действии засоления проводился анализ динамики фитогормонов [9].

### Результаты и их обсуждение

Обработка 6-БАП как в варианте без внесения NaCl, так и, что особенно важно, в

условиях засоления NaCl повысила содержание ростстимулирующих гормонов (цитокининов и ауксинов) и АБК, при этом отношение 3-ЗР+ИУК/АБК возрастает (табл. 1).

Таблица 1

Влияние обработки 6-БАП на содержание фитогормонов пшеницы при различном уровне засоления (фаза цветения),  $\text{мг}/\text{г}$  сухой массы

Вариант	цитокинины		ИУК		АБК		3-ЗР+ ИУК/АБК
		%		%		%	
контроль	355,5±3,5	100	230,5±3,3	100	298,5±5,4	100	1,9
контроль+ БАП	461,5±4,0	130	333,5±3,6	145	280,1±3,5	94	2,8
213мМ NaCl	295,0±3,2	83	177,5±2,5	77	358,4±2,5	120	1,3
213мМ NaCl+ 6-БАП	377,6±3,7	106	247,8±3,0	108	336,5±2,8	113	1,8
253мМ NaCl	273,7±4,3	58	112,9±3,0	49	405,9±1,5	136	0,9
253мМ NaCl+ 6-БАП	316,7±4,8	89	145,9±2,6	63	417,2±1,5	139	1,1

На фоне таких изменений в гормональном балансе отмечается увеличение темпов роста (табл. 2).

Таблица 2

Влияние обработки 6-БАП на рост вегетативных органов пшеницы в условиях засоления NaCl. Сухая масса 10 растений, г

Вариант	кущение			цветение			молочная спелость		
		%	%		%	%		%	%
контроль	2,084 ±0,06	100		31,34 ±0,15	100		40,06 ±0,13	100	
контроль + 6- БАП	2,564 ±0,09	123		37,28 ±0,11	119		45,02 ±0,17	113	
213мМ NaCl	1,661 ±0,04	76	100	27,11 ±0,19	87	100	35,21 ±0,17	88	100
213мМ NaCl + 6-БАП	2,149 ±0,05	103	129	32,03 ±0,15	102	119	40,31 ±0,16	101	115
253мМ NaCl	1,563 ±0,07	75	100	24,85 ±0,13	80	100	32,81 ±0,15	82	100
253мМ NaCl + 6-БАП	1,841 ±0,07	88	118	28,02 ±0,09	89	113	32,08 ±0,13	80	113

Изменения в ростовых процессах большей частью происходят при значительных сдвигах интенсивности и энергетической эффективности дыхания [8]. В ходе эксперимента установлено, что в условиях засоления NaCl под влиянием обработки 6-БАП интенсивность дыхания возрастает. В настоящее время развиваются представления о функциональных составляющих процесса дыхания. Дыхание роста включает энергетические траты, связанные с ростом растений, процессами накопления биомассы. Дыхание поддержания включает энергетические траты, связанные с поддержанием уже существующей биомассы [10]. Полученные данные указывают, что имеется прямая связь между усилением темпов роста пшеницы и увеличением затрат на биосинтетические процессы под влиянием экзогенного внесения 6-БАП на фоне засоления (рис. 1).

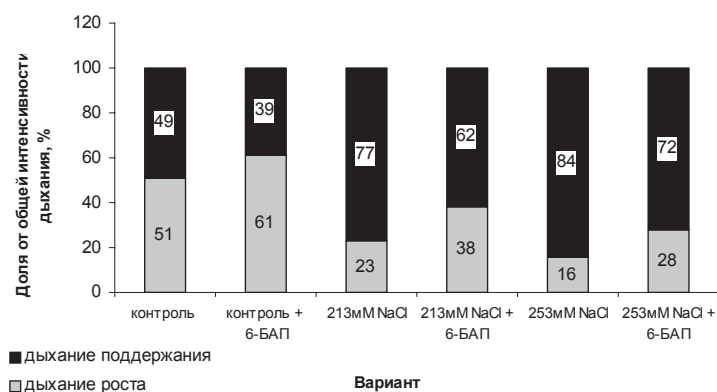


Рис. 1. Влияние NaCl и обработки 6-БАП на функциональные составляющие дыхания

В вариантах с NaCl обработка 6-БАП повышает интенсивность и чистую продуктивность фотосинтеза. Так, если в контрольном варианте в фазу кущения при экзогенном внесении 6-БАП интенсивность фотосинтеза увеличилась на 50%, то в варианте 213 мМ NaCl – на 40%, тогда как при засолении почвы в концентрации 253 мМ – на 25%. Вместе с тем под влиянием обработки 6-БАП у пшеницы на фоне засоления показана нормализация водообмена, при этом водный дефицит снижается.

На фоне изменений физиологических процессов отмечено увеличение продуктивности пшеницы (табл. 3). Важно отметить, что в варианте 213мМ NaCl показатели продуктивности под влиянием экзогенного внесения 6-БАП были доведены до уровня контроля (табл. 3).

Таблица 3

Влияние обработки 6-БАП и различного уровня засоления NaCl на продуктивность пшеницы

Сорт	МИС					Приокская				
	кон- троль	213 мМ NaCl	213 мМ NaCl + 6-БАП	253 мМ NaCl	253 мМ NaCl + 6-БАП	кон- троль	213 мМ NaCl	213мМ NaCl + 6-БАП	253 мМ NaCl	253мМ NaCl + 6-БАП
Масса зер- на г/расте- ние	2,31± 0,03	1,82± 0,01	2,29± 0,02	1,53± 0,03	1,71± 0,05	2,04± 0,05	1,64± 0,01	1,86± 0,03	1,25± 0,01	1,55± 0,04
Масса 1000 зерен, г	45,31± 2,01	38,11± 3,46	45,13± 2,15	32,31± 2,13	35,34± 3,11	37,21± 2,15	32,44± 2,13	34,75± 2,18	28,44± 1,85	30,15± 2,02
Продуктив- ная кустис- тость	3,0	2,6	3,0	2,2	2,4	2,7	2,3	2,5	2,0	2,2

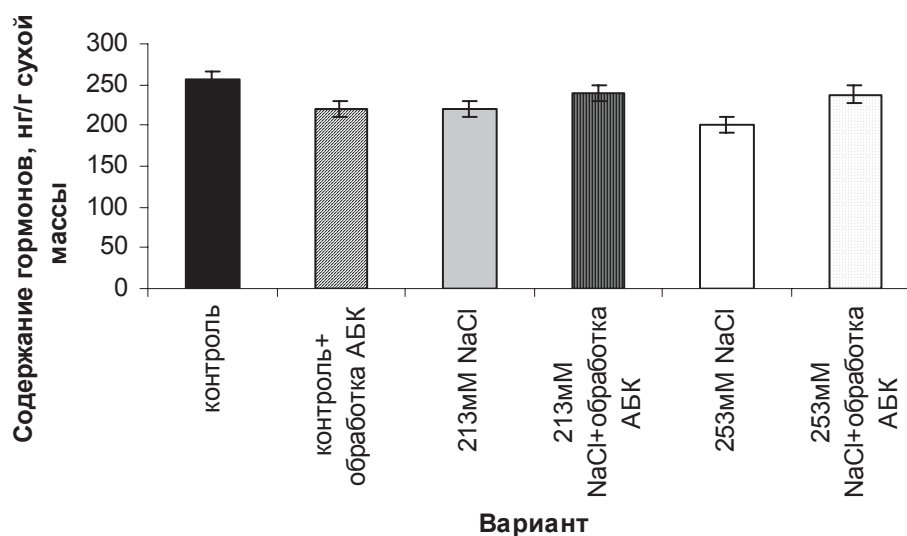
Таким образом, можно считать, что экзогенное внесение цитокининов способствует формированию адаптационных способностей пшеницы к действию солей.

Обработка АБК в вариантах без внесения NaCl и на фоне засоления оказала противоположное влияние на протекание физиологических процессов растений. В литературе подчеркивается антагонистический характер физиологического действия 6-БАП и АБК [11].

В оптимальных условиях выращивания пшеницы при внесении АБК показано уменьшение эндогенного содержания цитокининов и ауксинов, увеличение уровня АБК (рис. 2) и, как следствие, снижение соотношения 3-ЗР+ИУК/АБК. На фоне изменений в гормональном балансе отмечено снижение фотосинтетической активности и интенсивности дыхания растений; уменьшение расходования воды. Темпы роста и продуктивность падают (рис. 5, табл. 4).

В условиях засоления NaCl обработка АБК оказала иное влияние на гормональную систему и протекание физиологических процессов у пшеницы. Экспериментально показано увеличение соотношения 3-ЗР+ИУК/АБК в основном за счет накопления цитокининов и ИУК (рис. 2).

### ЦИТОКИНИНЫ



### ИУК

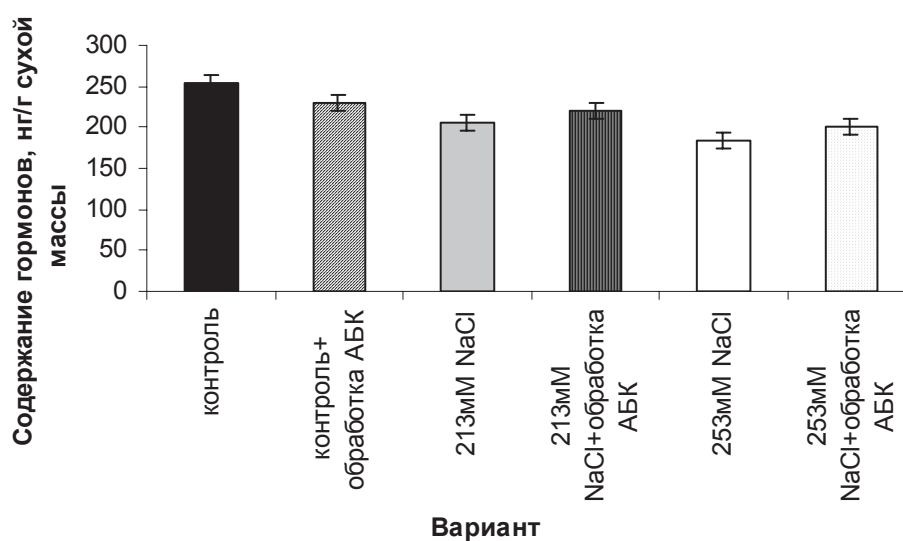


Рис. 2. Влияние обработки АБК на содержание фитогормонов пшеницы при различном уровне засоления (фаза колошения), нг/г сухой массы

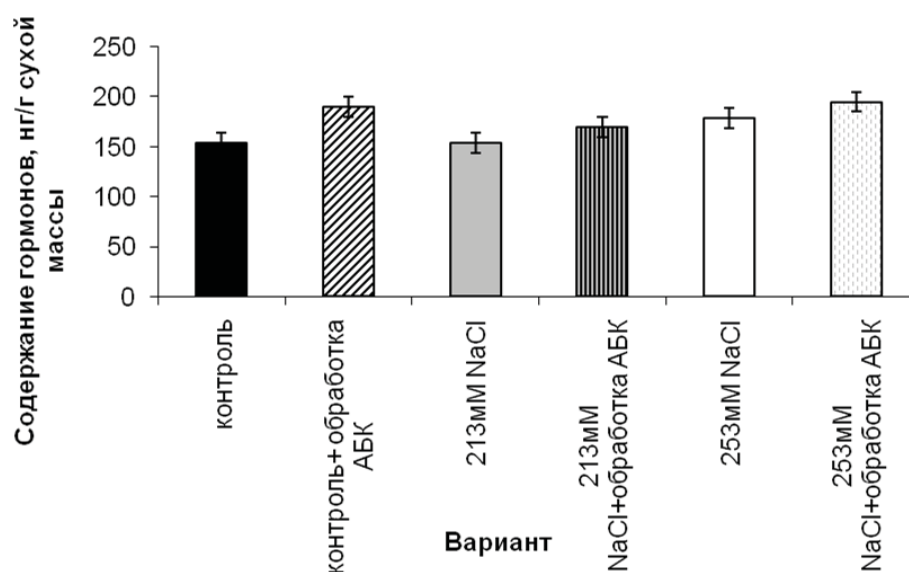


Рис. 2 (продолжение). Влияние обработки АБК на содержание фитогормонов пшеницы при различном уровне засоления (фаза колошения), нг/г сухой массы

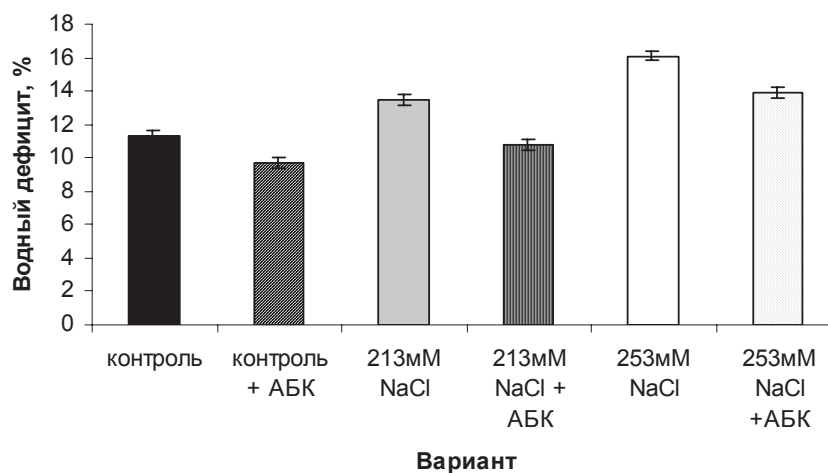


Рис. 3. Водный дефицит в условиях засоления NaCl и обработке АБК, %

Анализ полученных данных показал, что экзогенное внесение АБК на фоне засоления NaCl позволяет снизить стрессовую нагрузку на растение. Это проявляется в повышении интенсивности фотосинтеза, увеличении доли дыхания роста (рис. 4), снижении водного дефицита (рис. 3). Внесение АБК повышает интенсивность ростовых процессов и продуктивность пшеницы, выращенной в условиях засоления почвы NaCl (рис. 5, табл. 4). Таким образом, можно считать, что в условиях действия стресс-фактора обработка АБК оказала защитное влияние.

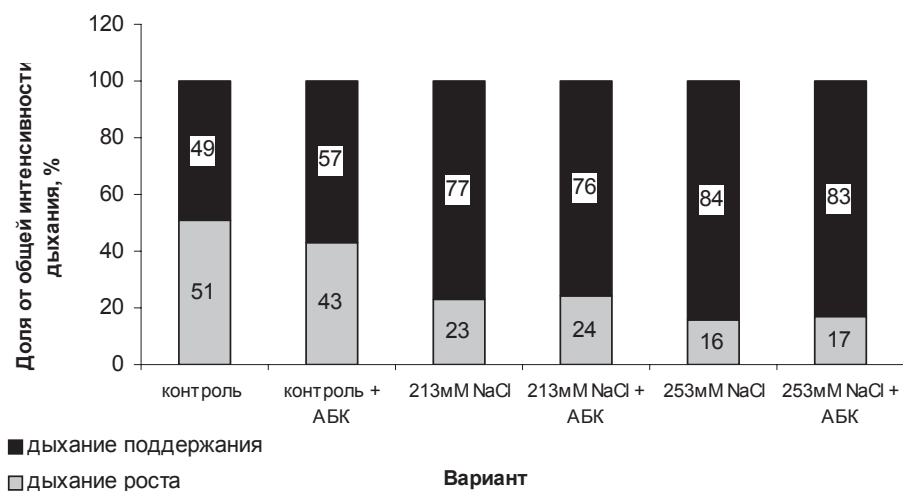


Рис. 4. Влияние NaCl и обработки АБК на функциональные составляющие дыхания

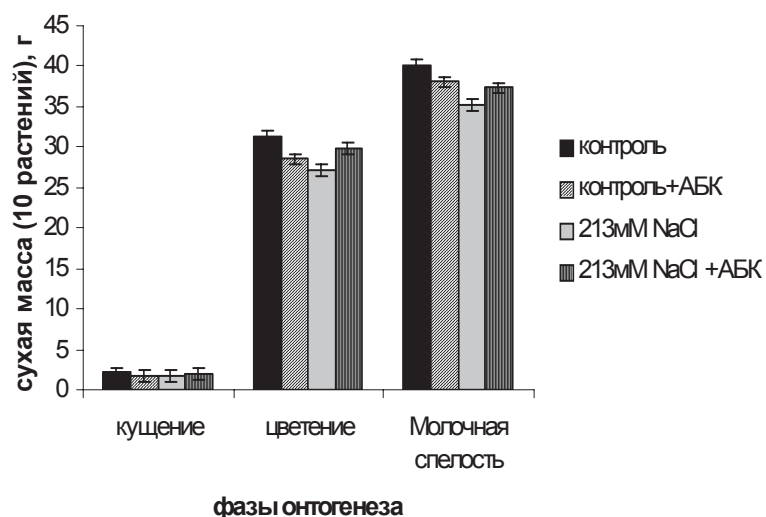


Рис. 5. Влияние обработки АБК на рост вегетативных органов пшеницы в условиях засоления NaCl. Сухая масса 10 растений, г

Таблица 4.

Влияние обработки АБК на продуктивность пшеницы в условиях засоления NaCl

Вариант	контроль	контроль+АБК	213 мМ NaCl	213 мМ NaCl +АБК	253 мМ NaCl	253 мМ NaCl +АБК
Элементы продуктивности						
Масса зерна г/растение	2,51± 0,46	2,31± 0,35	1,51± 0,51	2,02± 0,43	1,23± 0,43	1,53± 0,34
Продуктивная кустистость	2,3	2,0	2,0	2,1	1,8	2,0
Число колосков в колосе, шт	16±2	13±1	13±2	15±2	8±2	10±2
Масса 1000 зерен, г	43,31± 2,01	38,34± 4,31	34,31± 1,53	38,34± 2,01	20,43	25,34± 3,31

### Заключение

Таким образом, экзогенное внесение фиторегуляторов ослабляет вредное влияние засоление. При этом наблюдается нормализация водного обмена, повышается фотосинтетическая активность, увеличивается доля дыхания роста. Повышается интенсивность ростовых процессов и продуктивность. Характер физиологического ответа зависит от напряженности стресс-фактора и тесно связан с изменением содержания и соотношения компонентов гормональной регуляции. Несмотря на сходство в реакции растений на обработку 6-БАП и АБК в условиях засоления, между веществами проявляются различия. Опрыскивание пшеницы 6-БАП оказывает больший стимулирующий эффект по сравнению с АБК. Показано протекторное влияние на пшеницу экзогенной обработки 6-БАП при засолении почвы в концентрации 213 мМ NaCl, тогда как АБК – лишь нивелировала действие солей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пустовойтова Т.Н., Дроздова И.С., Жданова Н.Е., Жолкевич В.Н. Рост листьев, интенсивность фотосинтеза и содержание фитогормонов у *Cucumis sativus* при прогрессирующей почвенной засухе// Физиология растений. - 2003, Т. 50, № 4, - С. 496 – 498.
2. Бахтенко Е.Ю., Платонов А.В. Динамика цитокининов пшеницы при почвенном затоплении// Агрехимия. - 2004, № 6, - С. 51 – 55.
3. Четверикова Е.П. Роль абсцизовой кислоты в морозостойкости растений и криоконсервации культур *in vitro*// Физиология растений. - 1999, Т. 46, № 6, - С. 823 – 829.
4. Кун И., Чжоу Г., Би Ю., Лян Х. Физиологические характеристики и альтернативный путь дыхания у двух сортов пшеницы, различающихся по солеустойчивости// Физиология растений. - 2001, Т. 48, № 5, - С. 692 – 698.
5. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.Н. Малый практикум по физиологии растений, - М.: Высшая школа. - 1975, - 392с.
6. Андриянова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений// М.: Наука, 2000, С. 135.
7. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности// Теоретические основы фотосинтетической продуктивности, М.: Наука, 1972, С. 511 – 527.
8. Семихатова О.А. Оценка адаптационной способности растения на основании исследований темнового дыхания// Физиология растений, 1998, Т. 45, № 1, С. 142 – 148.
9. Кудоярова Г.Р., Веселов С.Ю., Каравайко Н.Н., Голи-Заде В.З., Чередова Е.П., Мустафина А.Р., Мошков Н.Е., Кулаева О.Н. Иммуноферментная тест-система для определения цитокининов// Физиология растений, 1990, Т. 37, С.193 – 199.
10. Иванова Т.И., Шерстнева О.А. Темновое дыхание пестрых листьев растений разных жизненных форм// Физиология растений, 2000, Т. 46, № 5, С. 763 – 771.
11. Kefeli V., Kalevitch M., Borsari B. Phenolic cycle in plants and environment// journal of Cell and Molecular Biology 2: 13 – 18, 2003.

S. Kuznetsova, D. Klimachev

### INFLUENCE OF TREATMENTS OF PHYTOHORMONES ON THE PHYSIOLOGICAL DURING OF WHEAT IN CONDITIONS OF SALT STRESS

*Abstract.* Changes in the content and proportions of endogenous phytohormones in the course of the ontogenesis of wheat were studied at different levels of salinity and treatment 6-BAP and ABA. The treatment of 6-BAP and 213 mM NaCl increased the level of cytokinins and IAA and the (cytokine+IAA)/ABA ratio. The resistance of plants to the salt stress increased.

*Key words:* phytohormones, cytokine, 6-BAP, ABA, IAA, salt stress.