

УДК 631.524.85:581.192.7

## ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Людмила Петровна Воронина<sup>1</sup>, Василий Григорьевич Минеев<sup>2</sup>

Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра агрохимии и биохимии растений; 119991, Российская Федерация, ГСП - 1, Москва, Ленинские горы, 1;

<sup>1</sup> – Доктор биол. наук, старший научный сотрудник,; E-mail: Luydmila.Voronina@gmail.com

<sup>2</sup> – Академик РАСХН, зав. каф. агрохимии и биохимии растений, E-mail: mineev@soil.msu.ru

*Обсуждается уровень оптимальной обеспеченности растений ячменя питательными элементами, на котором проявляется высокая эффективность действия стероидного фитогормона – 24-эпибрассинолида.*

**Ключевые слова:** 24-эпибрассинолид, минеральное питание, ячмень, эффективность действия экзогенного фитогормона

В современных технологиях выращивания сельскохозяйственных культур используют минеральные удобрения (NPK) и регуляторы роста растений (PPR). Действующим веществом (д.в.) последних являются фитогормоны, ответственные за определённые морфофизиологические процессы в растениях. Уровень минерального питания изменяет скорость и направленность физиологических процессов, которые находятся под контролем гормональной системы или эндогенного статуса фитогормонов. Под влиянием экзогенного применения фитогормонов растения адаптируются к условиям роста и развития на сформированном уровне плодородия почвы. При обсуждении этих взаимосвязей иногда отмечают противоречивые зависимости минерального питания и гормональной регуляции, описанные рядом авторов [1, 2]. В литературе обсуждаются вопросы взаимодействия питания и гормонального статуса растений на формирование урожая [2 - 6]. При этом в основном, рассматриваются вопросы взаимосвязи с азотным питанием, и лишь некоторые исследователи касаются фосфора, калия и микроэлементов [5, 7]. Ряд авторов, по результатам экзогенного действия PPR, высказывают мнение о возможной экономии минеральных удобрений, замене или сокращении их использования. В то же время проявляющаяся эффективность действия PPR обусловлена именно комплексом внешних факторов и, в частности, уровнем обеспеченности почвы питательными элементами [8, 9].

Внимание исследователей разных стран в последние годы привлечено к стероидным фитогормонам, и, в частности, к 24-эпибрассинолиду (ЭБЛ), его связи с условиями минерального питания растений, уровнем плодородия почв, влиянием на транспорт питательных веществ в растении. Изучаются и вопросы влияния отдельных элементов питания на эндогенный

статус ЭБЛ и других фитогормонов в растении [5, 8, 10-12].

В ряде случаев отмечается увеличение содержания стимулирующих рост гормонов (ауксина, цитокинина) на высоком уровне плодородия почвы, снижение содержания ростингибирующих фитогормонов (абсцизовой кислоты). Установлено, что цинк увеличивает концентрацию АУК (ауксина) в растении, действие калия на рост и продуктивность растений зависят от его гормонального статуса. Однако существующих экспериментальных данных недостаточно, чтобы управлять процессами регуляции питания растений с помощью изменения их фитогормонального статуса. Менее других изучено действие ЭБЛ в сочетании с уровнем обеспеченности питательными элементами, взаимосвязь ЭБЛ с другими компонентами гормональной системы [13, 14].

Целью данной работы было определить роль и значение применения ЭБЛ в условиях оптимального обеспечения растений питательными элементами.

**Методика.** 24-эпибрассинолид (ЭБЛ, 24-epiBS) – фитогормон стероидного типа, обладающий высокой физиологической активностью, который нашёл широкое применение в практике.

Опыты выполнены в вегетационном домике кафедры агрохимии факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова 2004-2006 гг. Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, со следующей характеристикой: рН<sub>KCl</sub> – 5,8; подвижный K<sub>2</sub>O – 65 мг/кг и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 80 мг/кг, содержание гумуса – 2,0%. Опыт проводили в сосудах Митчерлиха на 2 кг почвы. Культура – ячмень сорта Выбор (*Hordeum vulgare L.*). Для учета урожая в сосудах оставляли 6 растений. Повторность опытов – четырехкратная. Схемы предусматривали использование ЭБЛ на разных уровнях обеспеченности почвы питательными элементами (табл. 1).

**1. Схема вариантов вегетационных опытов**

Варианты опытов по годам		
2004	2005	2006
Контроль	Контроль	Контроль
N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>
N <sub>1</sub> +ЭБЛ	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + ЭБЛ	N <sub>1</sub> +ЭБЛ
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0,5</sub> K <sub>0,5</sub>
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> + ЭБЛ	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + ЭБЛ	N <sub>1</sub> P <sub>0,5</sub> K <sub>0,5</sub> + ЭБЛ
		N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
		N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + ЭБЛ

**Примечание:** индекс 0,5 соответствует дозе – 50, 1 – 100 и 2 – 200 мг д.в. на 1 кг почвы;  
 N – варианты несбалансированного питания;  
 NPK – варианты сбалансированного питания;  
 ЭБЛ – варианты с фоллиарной обработкой ЭБЛ.

В схеме опыта 2004 года эмитируется сбалансированное (с внесением NPK) и несбалансированное питание (с внесением только азота – N). Вегетационный опыт 2005 года предусматривал изучение действия ЭБЛ на фоне условно оптимального уровня питания (N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>) и высокого уровня (N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>). Формирование разных уровней обеспеченности почвы элементами питания продолжали в экспериментах 2006 года (табл. 1).

В конце вегетации учитывали сырую и сухую биомассу и урожай зерна. Стандартными методами определяли содержание основных питательных элементов – азота, фосфора и калия в соломе и зерне [15].

**Результаты и обсуждение.** В опыте 2004 г. достоверное положительное действие фитогормона установлено по увеличению массы зерна на фоне использования азотного (на 49%) и полного (повышение этого показателя на 32%) удобрений (табл. 2). Использование азотных удобрений увеличило также прирост массы зерна ячменя, а на массу соломы не повлияло.

При несбалансированном режиме питания (когда внесен только N<sub>1</sub>) содержание азота в соломе растений не зависело от применения регуляторов (табл. 3), поэтому вынос элемента изменяется лишь с биомассой соломы. При росте и развитии растений на фоне NPK поступление азота достоверно возрастало, в среднем на 25%. Вынос азота, прежде всего, связан с внесением удобрений и количеством биомассы.

В конце вегетации достоверные изменения в содержании элементов питания от применения ЭБЛ установлены по фосфору в варианте NPK (табл. 3). Содержание фосфора в варианте N+ЭБЛ увеличилось на 0,03% (при НСР<sub>0,05</sub> 0,03), а его вынос на 25%. При внесении NPK содержание фосфора в растениях увеличилось в среднем более чем на 50% по сравнению с вариантом, где вносили только азот.

Содержание калия в варианте NPK+ЭБЛ увеличилось на 0,70%, а вынос его с урожаем – на 22% (табл. 3).

При несбалансированном питании использование фитогормонов повышало содержание азота в зерне по сравнению с контролем в среднем на 30%, а вынос увеличился на 50%. На фоне N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> применение регулятора роста не изменило содержание азота, а вынос его с урожаем существенно возрастал (табл. 4).

**2. Влияние ЭБЛ на биомассу соломы и урожай зерна растений ячменя**

Варианты	Солома	Колос	Зерно	Зерно, %
	г/сосуд			
N <sub>1</sub>	2,87	1,71	1,45	100
N <sub>1</sub> +ЭБЛ	3,08	2,74	2,16	149
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	4,51	1,80	1,46	100
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> +ЭБЛ	4,69	2,24	1,92	132
НСР <sub>0,05</sub>	0,64	0,22	0,18	

**3. Содержание и вынос питательных элементов с соломой ячменя**

Вариант	Азот, %	Вынос азота, мг/сосуд	Фосфор, %	Вынос фосфора, мг/сосуд	Калий, %	Вынос калия, мг/сосуд
N <sub>1</sub>	1,25	35,9	0,18	5,2	1,98	5,7
N <sub>1</sub> +ЭБЛ	1,29	39,7	0,21	6,5	2,06	6,3
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	1,61	72,6	0,33	14,9	4,12	18,6
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> +ЭБЛ	1,59	74,6	0,34	15,9	4,82	22,6
НСР <sub>0,05</sub>	0,12		0,03		0,25	

4. Содержание и вынос питательных элементов с зерном ячменя

Вариант	Азот, %	Вынос азота, мг/сосуд	Фосфор, %	Вынос фосфора, мг/сосуд
N <sub>1</sub>	1,30	18,9	0,42	6,1
N <sub>1</sub> +ЭБЛ	1,41	28,3	0,39	8,4
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	1,61	23,5	0,53	7,7
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> +ЭБЛ	1,59	30,5	0,65	12,5
НСР <sub>0,05</sub>	0,11		0,08	

Содержание фосфора в зерне существенно повысилось при внесении в почву NPK по сравнению с применением только азотных удобрений. Наибольшая же концентрация фосфора была в зерне при фолиарной обработке ЭБЛ, на фоне N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>.

Таким образом, применение фитогормона ЭБЛ в опыте 2004 г. оказало положительное действие на формирование биомассы и зерна ячменя. Фитогормон оказывал более выраженное позитивное действие на формирование зерна, а также на поступление в него азота на фоне несбалансированного питания. Положительное действие ЭБЛ на увеличение массы зерна и накопление в нём фосфора отмечено на фоне N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>.

Некоторые закономерности по изменению биомассы и урожая ячменя от применения фитогормона ЭБЛ получены и в опытах 2005 и 2006 гг. (табл. 5).

В опыте 2005 г. использование ЭБЛ на фоне N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub> привело к увеличению массы зерна на 20% и увеличению его доли в общей биомассе растения на 5%. Устойчивая тенденция позитивного воздействия фитогормона прежде всего на

формирование массы зерна подтверждается результатами всех вегетационных экспериментов. Однако, на фоне повышенного уровня внесения минеральных удобрений (вариант N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) ЭБЛ увеличивал массу зерна только на 11%.

Отмеченные условия эффективного действия ЭБЛ подтверждаются результатами вегетационного эксперимента 2006 г. В варианте N<sub>1</sub> установлен положительный эффект действия ЭБЛ (увеличение биомассы зерна на 10%). В варианте с внесением N<sub>1</sub>P<sub>0,5</sub>K<sub>0,5</sub> применение ЭБЛ также эффективно (9%), но двукратное повышение дозы фосфора и калия (вариант с внесением N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>), не привело к увеличению урожая, и применение ЭБЛ в этом году не было столь эффективным (2%).

В опыте 2006 г. на фоне N<sub>1</sub> и N<sub>1</sub>P<sub>0,5</sub>K<sub>0,5</sub> ЭБЛ существенно увеличил количество зерен в колосе и общую их массу, но при этом масса 1000 зерен была ниже (табл. 6).

Таким образом, существуют потенциальные возможности повышения урожая ячменя с использованием ЭБЛ во взаимосвязи с условиями питания растений.

5. Действие ЭБЛ на структуру урожая и биомассу ячменя (2005 - 2006 гг.)

Вариант	Солома	Зерно	Доля зерна в общей биомассе	Отношение содержания зерна к контролю
	г/сосуд		%	
2005 г.				
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	4,5	5,2	54	100
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> +ЭБЛ	4,4	6,2	59	120
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	5,4	5,5	51	100
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +ЭБЛ	5,6	6,1	53	111
Без удобрений	3,5	3,6	51	
НСР <sub>0,05</sub>	0,6	0,3		
2006 г.				
N <sub>1</sub>	5,06	4,86	49	100
N <sub>1</sub> +ЭБЛ	5,65	5,32	49	110
N <sub>1</sub> P <sub>0,5</sub> K <sub>0,5</sub>	6,11	5,00	45	100
N <sub>1</sub> P <sub>0,5</sub> K <sub>0,5</sub> +ЭБЛ	6,39	5,44	46	109
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	7,85	5,02	39	100
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> +ЭБЛ	7,62	5,08	40	102
НСР <sub>0,05</sub>	0,3	0,3		

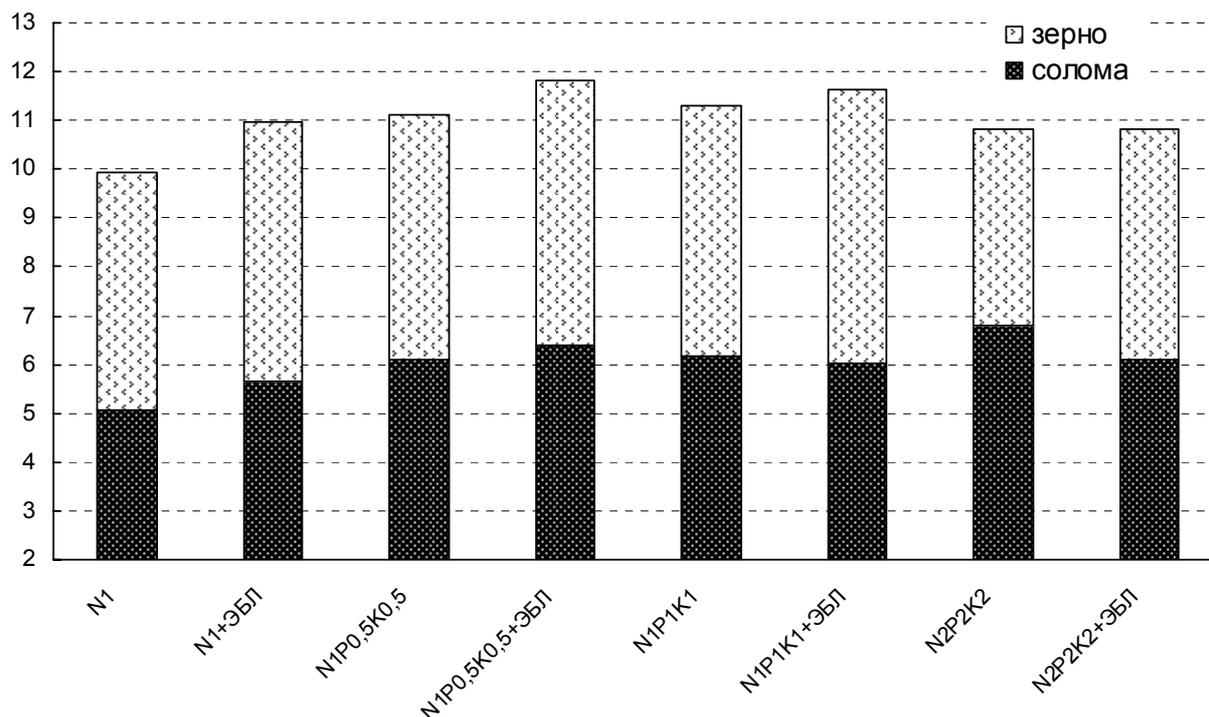


Рис. 1. Действие ЭБЛ на биомассу ячменя (г) с учетом внесения минеральных удобрений

**6. Действие ЭБЛ на формирование урожая ячменя в зависимости от условий минерального питания (2006 г.)**

Вариант	Кол-во зерен, штук на сосуд	Масса зерна, г на сосуд	Масса 1000 зерен, г
N <sub>1</sub>	114,8	4,9	42,3
N <sub>1</sub> +ЭБЛ	130,0	5,3	40,9
N <sub>1</sub> P <sub>0.5</sub> K <sub>0.5</sub>	114,8	5,0	43,7
N <sub>1</sub> P <sub>0.5</sub> K <sub>0.5</sub> +ЭБЛ	133,3	5,4	40,8
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	114,0	5,0	44,0
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> +ЭБЛ	110,8	5,1	46,2
НСР <sub>0.05</sub>	14	0,3	

Эффективность использования ЭБЛ повышалась в условиях стресса на несбалансированном уровне питания (N<sub>1</sub>) и на фоне N<sub>1</sub>P<sub>0.5</sub>K<sub>0.5</sub>, и именно этот уровень обеспечивал для растений оптимум в почве элементов питания, если судить по урожаю зерна (рис. 1).

**Заключение.** Таким образом, влияние ЭБЛ проявляется на продукционном процессе растений, а фитогормональная стимулирующая его эффективность особенно выражена по воздействию на урожай. Эффективность действия ЭБЛ тесно связана с условиями произрастания растений, в частности, с обеспеченностью почвы питательными элементами. Установленная специфичность действия ЭБЛ отражается на потреблении, накоплении и распределении азота,

фосфора и калия по органам растения, а, следовательно, участвует в массопереносе этих элементов из почвы в растение.

Результаты исследований свидетельствуют о необходимости дальнейшего более обстоятельного изучения закономерностей действия ЭБЛ и уровня минерального питания для совершенствования технологий выращивания злаковых культур.

**Литература:**

1. Michael J., Beringer H. The role of hormones in yield formation //Physiol. Aspects. Crop. Prod. – Berlin: Worbflanfen, 1980 – P. 85-116.
2. Кудоярова Г.Р., Усманов И.Ю. Гормоны и минеральное питание // Физиология и биохимия культурных растений. – 1991.– Т. 23, №3. – С. 232-244
3. Кефели В.И. Природные ингибиторы роста и фитогормоны. – М.: Наука, 1984. – 260 с.
4. Фархутдинова Р.Г., Кудоярова Г.Р. Сравнение действия нитратной и аммонийной форм азота на рост корней проростков пшеницы и содержание в них ауксинов при различных температурных режимах // Агрохимия. – 1997– №3. – С. 41-43.
5. Якушкина Н.И., Климачев Д.А., Макарова Т.С. Влияние азотного и фосфорного питания на содержание фитогормонов в растениях пшеницы // Агрохимия. – 2000. – №4. – С. 23-26.
6. Якушкина Н.И., Климачев Д.А., Тарасенко А.А., Старикова В.Т. Взаимосвязь гормональной и трофической систем регуляции у растений / В сб. Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов. – Воронеж: ВГУ, 1998. – С. 6-11.

7. Пузина Т.И. Влияние сернокислого цинка и борной кислоты на гормональный статус растения картофеля в связи с клубнеобразованием. // Физиология растений. – 2004. – Т. 51, № 2. – С. 234-240.
8. Анисимов А.А., Булатова Т.А., Содержание ауксинов и ингибиторов роста при разных условиях минерального питания // Физиология растений. – 1982. – Т. 29, Вып. 5. – С. 908-913.
9. Mercier H., Kerbany G.B. Effect of Nitrogen Source on Growth Rates and Levels of Endogenous Cytokinins and Chlorophyll in Protocorms of *Epidendrum conopseum* // Plant Physiol.– 1991. – V. 138, Is.2. – P. 195-199.
10. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. – Boston: Academic Press, 1995. – 455 p.
11. Климачев Д.А., Якушкина Н.И. Влияние азотного питания на эффективность обработки яровой пшеницы цитокинином (6-БАВ) // Агрохимия. – 1997. – №12. – С. 47-49.
12. Кораблева Н.П., Платонова Т.А. Биохимические аспекты гормональной регуляции покоя и иммунитета растений (Обзор) // Прикл. биохимия и микробиол., 1995. – Т. 31. № 1. – С. 103-116.
13. Leubner-Merger, Leubner-Metzger G. Brassinosteroids and gibberellins promote tobacco seed germination by distinct pathways // Planta.– 2001. – V. 213, №5 – P.758-763.
14. Каранчук Р.А., Головацкая И.Ф., Ефимова М.В., Хрунач В.А. Действие эпибрасинолида на морфогенез и соотношение гормонов у проростков *Arabidopsis* на зелёном свету // Физиология растений, 2002. – Т. 49. №4. – С. 591-595.
15. Практикум по агрохимии: Учеб. пос. [под ред. В.Г. Минеева]. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

L.P. Voronina, V.G. Mineev

**FEATURES OF THE 24-EPIBRASSINOLIDE ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF BARLEY DEPENDING ON THE CONDITIONS OF MINERAL NUTRITION**

*The optimal level of security is discussed. Proved that the effectiveness of steroid phytohormone 24-epibrassinolide depends on the content of the soil of mineral nutrition elements.*

**Keywords:** 24-epibrassinolide, mineral nutrition, barley, plant growth regulators.