

УДК 577.175.19:633

ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА И ПРЕПАРАТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

© 2019 г. Л. П. Воронина^{1,2,*}, Н. Н. Малеванная³

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия*

² *Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью Минздрава РФ
119995 Москва Новгород, ул. Погодинская, 10, Россия*

³ *Некоммерческое научно-производственное партнерство “НЭСТ М”
127550 Москва Новгород, ул. Прянишникова. 31а, Россия*

*E-mail: lyudmila.voronina@gmail.com

Поступила в редакцию 22.11.2017 г.

После доработки 22.12.2017 г.

Принята к публикации 10.04.2019 г.

Исследована эффективность и антистрессовое действие 24-эпибрассинолида и препаратов на его основе. Установленное в вегетационных экспериментах положительное влияние эпибрассинолида на показатели качества сельскохозяйственной продукции подтвердилось в полевых опытах на корнеплодах и картофеле.

Ключевые слова: 24-эпибрассинолид, препараты на основе 24-эпибрассинолида, показатели качества, сельскохозяйственные культуры.

DOI: 10.1134/S0002188119010150

ВВЕДЕНИЕ

Брассиностероиды (БС) – растительные фитогормоны, обладающие широким спектром действия в растении. В ряде работ описана сигнальная рецепция, которая не оставляет сомнений в регуляторной роли данного класса соединений. Известен путь синтеза стероидных соединений как продуктов вторичного метаболизма, который зависит и связан с продуктами первичного метаболизма и соединениями терпенового ряда, а также другими фитогормонами [1–3]. Все это, а также его свойства как осмопротектора свидетельствует о значимой роли 24-эпибрассинолида (24-ЭБ) в качестве действующего вещества (д.в.) в препаратах, используемых в практике сельского хозяйства.

На рынке России в настоящее время зарегистрирован и используется в сельскохозяйственном производстве препарат эпин-экстра, в Республике Беларусь – эпин, с этим же д.в. выпускают препарат тьян фан су (“дар небес”) в Китае, витайим – в США, Сербии и других странах Евросоюза [4]. Поэтому при работе с препаратами, имеющими разную формуляцию, всегда целесообразно вводить в качестве дополнительного контрольный вариант с чистым биологически активным веществом – 24-ЭБ. Препараты с 24-ЭБ в качестве д.в. не только оказывают положительное

действие на урожай, но и влияют на качество сельскохозяйственной продукции. Уже в материалах 2-го Всесоюзного совещания по брассиностероидам [5] особое внимание привлекали публикации, касающиеся влияния эпибрассинолида на качество сельскохозяйственных культур: синтез сахарозы в сахарной свекле, накопление нитратов в овощной продукции и другие характеристики. Связь 24-ЭБ с усилением качественных показателей, с одной стороны, явилась хорошей причиной для внедрения данного вещества в сельскохозяйственную практику, а с другой – вызывает теоретический научный интерес, указывая на связь с углеводным и азотным метаболизмом.

Взаимодействие 24-ЭБ с азотным питанием и его роль в азотном обмене исследованы многими авторами [5, 6]. Установлено его влияние на поступление азота из удобрений, содержание белкового азота в зерновых культурах. Имеются данные, свидетельствующие об увеличении синтеза аминокислот при использовании экзогенного 24-ЭБ, во многих работах подчеркивается его участие в регуляции нитратредуктазной активности [7–9]. Ряд авторов подчеркивает снижение содержания нитратов, например в клубнях картофеля, обработанных препаратами эпин, эпин-экстра, авторы предполагают, что их использова-

Таблица 1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв в зонах проведения полевых опытов

Место проведения опыта	Гранулометрический состав почвы	рН _{KCl} , ед. рН	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мг/кг	
Одинцовский р-н	Средний суглинок	6.1	5.6	185	90
Звенигород	Супесчаная	5.8	2.0	110	75
Чашниково	Суглинистая	6.0	2.5	80	143

ние способствует более равномерному поступлению азота в растения [10, 11]. Изучение разных концентраций водных растворов 28-гомобрассинолида (10^{-10} – 10^{-6} М) – одного из представителей стероидных гормонов – одного из представителей стероидных гормонов – с разным сроком обработки семян (4, 8 и 12 ч) сопровождалось увеличением нитратредуктазной активности. В среднем в разные сроки отбора образцов (60, 90 и 120 сут) для самой активной концентрации 10^{-8} М она изменялась с 61 до 111 нМ NO₂/г/ч в контроле и с 87 до 138 – в опытном варианте, способствуя увеличению урожайности чечевицы [12].

Препарат эпин-экстра оказывает и антибактериальное действие. Получены результаты антибактериальной активности регулятора роста растений, что является дополнительным подтверждением не только регуляторной, но и защитной роли 24-ЭБ. Причем разные концентрации данного препарата обладали различной степенью активности в отношении некоторых видов бактерий [13].

Цель работы – изучение участия 24-ЭБ и препаратов на его основе (эпин-экстра, эпин) в азотном обмене тест-растений. Представлены результаты полевых экспериментов на овощных культурах с применением препаратов эпин и эпин-экстра, вегетационных опытов с культурой ячменя и лабораторных опытов с тест-культурами (24-ЭБ).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В лабораторных, вегетационных и микрополевых опытах исследовали разные препараты с различным содержанием д.в.: эпин, эпин-экстра, и 24-эпибрасинолид (химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова совместно с ННПП “НЭСТ М”). Полевые опыты были проведены в Московской обл., с разными овощными культурами (морковь сорта Нантская, свекла столовая сорта Бордо-237) на очистных полях Одинцовского р-на и препаратом эпин, а также на полях Звенигородской биостанции МГУ с культурами картофеля сорта Невский и моркови сорта Нантская и препаратом эпин-экстра. 24-Эпибрасинолид использовали в серии опытов с картофелем сорта Невский на полях УОПЭЦ “Чашниково”, с культурой ячменя – в вегетационных опытах и в

серии лабораторных экспериментов. Характеристика почв представлена в табл. 1.

Кроме интегрального показателя – урожая культур (вегетативная масса и репродуктивные органы растений) – определяли содержание общего азота и некоторые показатели качества в зависимости от культуры: концентрацию нитратов, содержание сахара, крахмала и аскорбиновой кислоты. В серии вегетационных опытов оценивали роль 24-ЭБ в регуляции азотного питания, содержания общего и белкового азота (по Кьельдалю с пробоподготовкой образцов методом мокрого озоления по Гинзбург). Выполнена серия лабораторных опытов на тест-культурах редиса и ячменя с 24-ЭБ с целью определения эффективности действия широкого спектра концентраций данного вещества и его связи с азотным обменом в растениях. Проводили определение нитратредуктазной активности (НРА) и содержания белка (по Лоури) в ювенильных растениях ячменя. Повторность экспериментов позволяла провести статистическую обработку результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте с овощами (морковь и свекла столовая), которые активно накапливают в корнеплодах нитратный азот, при применении эпина их содержание снижалось, урожай увеличивался (табл. 2). В контрольном варианте содержание нитратов в моркови сорта Нантская достигал 400 мг/кг, в корнеплодах свеклы сорта Бордо-237 приближался к 2000 мг/кг, что почти соответствовало для моркови ПДК нитратов в овощной продукции и превышало его для свеклы. При применении препарата отмечено существенное снижение уровня нитратов в корнеплодах (ниже установленных нормативов). Однако не всегда это происходило в надземной зеленой массе, что, скорее всего, было связано с высоким содержанием азота в почве (за счет многолетнего внесения осадков сточных вод) и синтезом азотистых соединений в растении, не прекращающемся даже к периоду созревания корнеплодов. Другие качественные показатели корнеплодов, выращенных в вариантах с применением эпина, также улучшились: более активно накапливалась в мор-

Таблица 2. Характеристика урожая и качества овощных культур, выращенных с применением эпина на полях с внесением осадка сточных вод (Московская обл., Одинцовский р-н)

Культура	Вариант обработки	Масса корнеплодов, т/га	Содержание нитратов, мг/кг	Содержание аскорбиновой кислоты, мг%	Содержание сахара, %
Морковь					
Ботва	Контроль без обработки	—	91	1.63	1.0
	24-ЭБ	—	94	1.85	1.2
Корнеплоды	Контроль без обработки	23	478	2.37	5.6
	24-ЭБ	33	289	2.50	7.5
<i>HCP</i> ₀₅		11	54	0.36	1.6
Свекла					
Ботва	Контроль без обработки	—	440	—	2.0
	24-ЭБ	—	380	—	2.3
Корнеплоды	Контроль без обработки	39	1880	—	4.7
	24-ЭБ	52	1340	—	5.8
<i>HCP</i> ₀₅		12	210		1.5

Таблица 3. Характеристика урожая и качества моркови и картофеля при обработке культур препаратом эпин-экстра (Одинцовский р-н, Звенигород)

Культура	Вариант обработки	Масса корнеплодов, т/га	Содержание нитратов, мг/кг	Содержание крахмала, мг/100г	Содержание сахара, %
Морковь (корнеплоды)	Контроль без обработки	21.3	228	—	6.45
	24-ЭБ	28.2	174	—	7.95
	<i>HCP</i> ₀₅	2.4	12		0.80
Картофель (клубни)	Контроль без обработки	19.3	352	12.5	—
	24-ЭБ	20.5	311	14.5	—
	<i>HCP</i> ₀₅	0.5	45	1.5	

кови аскорбиновая кислота (2.37 против 2.50 мг%), содержание сахара возросло по сравнению с контролем в моркови с 5.6 до 7.5%, в корнеплодах свеклы — с 4.7 до 5.8%.

На полевых площадках, менее обеспеченных азотом (Одинцовский р-н и г. Звенигород), содержание нитратов в корнеплодах моркови сорта Нантская было более низким, однако и в этих условиях эпин-экстра оказал достоверное влияние на количество нитратов в продукции и содержание сахара. Содержание нитратов снизилось с 228 до 174 мг/кг, а содержание сахаров повысилось с 6.45 до 8.0%. В картофеле сорта Невский под действием препарата эпин-экстра повысилось содержание крахмала (с 12.5 до 14.5 мг/100 г), а содержание нитратов в клубнях практически не

изменилось (контроль — 352, опытный вариант — 311 мг/кг). Масса корнеплодов моркови и клубней картофеля повысилась с 21.3 до 28.2 т/га и с 19.3 до 20.5 т/га соответственно (табл. 3).

В другом полевом опыте на дерново-подзолистых почвах (Солнечногорский р-н, пос. Чашниково) содержание нитратов в клубнях картофеля сорта Невский снизилось с 415 до 321 мг/кг, причем снижение нитратов зафиксировано и в надземной массе (ботве). При этом увеличилась доля сухого вещества (в %), и урожай картофеля повысился на 38% (табл. 4). Эти закономерности, установленные в полевых опытах, свидетельствовали о позитивном влиянии применения 24-ЭБ [13].

Положительное влияние экзогенного примененного фитогормона, по-видимому, связано,

Таблица 4. Влияние препарата эпин-экстра на урожай и качество картофеля (Солнечногорский р-н, УОПЭЦ “Чашниково”)

Органы растения	Вариант обработки	Средняя масса корнеплода, г/% к контролю	Содержание нитратов, мг/кг	Содержание аскорбиновой кислоты, мг%	Сухое вещество, %
Ботва	Контроль	—	121	2.2	—
	без обработки	—	104	2.5	—
<i>HSP</i> _{0.05}	24-ЭБ	—	11	0.5	—
	Клубни	15.5/100	415	10.7	21.0
<i>HSP</i> _{0.5}	Контроль	21.4/138	321	13.2	22.0
	без обработки	3.5	52	1.7	0.5
	24-ЭБ				

Таблица 5. Биохимические показатели тест-культуры ячменя при воздействии разных концентраций 24-ЭБ (лабораторный эксперимент)

Вариант обработки	N, %	Нитратредуктазная активность (<i>HP</i>), нМ NO ₂ ⁻ /г сырой массы/ ч	Содержание общего хлорофилла	Общее содержание каротиноидов
			мг/г сырой массы	
Контроль без обработки	3.01	214	1.21	0.19
24-ЭБ				
10 ⁻⁵ М	3.42	207	1.27	0.20
10 ⁻⁶ М	3.36	216	1.31	0.20
10 ⁻⁷ М	3.96	226	1.53	0.23
10 ⁻⁸ М	3.41	244	1.36	0.22
10 ⁻⁹ М	—	236	1.33	0.21
10 ⁻¹⁰ М	—	221	1.30	0.21
10 ⁻¹¹ М	—	209	1.39	0.23
<i>HSP</i> _{0.5}	0.05	8	0.13	0.02

прежде всего, с его воздействием на основные обменные процессы в растении. Установлено усиление синтеза углеводов, который теснейшим образом связан с фотосинтезом, следовательно и с динамикой пигментов, в частности хлорофилла. Доказана взаимосвязь этого фитогормона и с азотным обменом. Дискуссии по влиянию 24-ЭБ на содержание нитратов в растении продолжают. Результаты экспериментов одних авторов свидетельствуют, что “... применение регулятора роста эпин-экстра приводило к накоплению нитратов в корнеплодах. Однако в случае его сочетания с другими препаратами этот эффект снижался” [14]. Анализ экспериментального растительного материала для оценки действия фитогормона на содержание нитратного азота необходимо проводить с учетом фазы вегетации растения, характера распределения нитратов в разных органах растения и других особенностей растений и условий их

развития. В экспериментах, выполненных другим коллективом авторов, отмечено увеличение концентрации NO₃⁻ в побегах и корнях огурца, но не в плодах [6]. При этом в случае избытка азота, вызванного дополнительным внесением Ca(NO₃)₂ и сопровождавшегося значительным накоплением нитратов в побегах и корневой системе (увеличение в 1.76 и в 1.58 раза), применение 24-ЭБ заблокировало процесс увеличения содержания NO₃⁻ в растениях. Таким образом, в условиях стресса проявилось защитное действие фитогормона, что отмечено и в работах других авторов [15].

Под воздействием негативных факторов уменьшается и активность ферментов. Наблюдаемое снижение активности нитратредуктазы (*HP*) при воздействии кадмия регулируется применением 24-ЭБ, улучшая все атрибуты: активность ферментов, работу протонного насоса плазматической мембра-

ны, приводящие к усилению поглощения растением азота [9].

Результаты лабораторного эксперимента авторов по оценке действия разных концентраций 24-ЭБ на ряд показателей растений ячменя (содержание азота, содержание хлорофилла и каротиноидов, определение нитратредуктазной активности) подтвердили важную роль 24-ЭБ в азотном метаболизме растений (табл. 5). Применение 24-ЭБ сопровождалось увеличением содержания азота в диапазоне всех испытуемых концентраций, достоверные изменения активности нитрат-редуктазы находились в интервале концентраций 24-ЭБ от 10^{-7} М до 10^{-9} М. Общее содержание хлорофиллов и каротиноидов увеличивалось при концентрации 24-ЭБ 10^{-8} М и 10^{-9} М, а также при более низкой концентрации – 10^{-11} М.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экзогенный 24-эпибрассинолид (в концентрации 10^{-8} М) обладал высокой биологической активностью. На практике использование препаратов на основе 24-эпибрассинолида (эпин, эпин-экстра) приводило к повышению урожая культур и улучшению качества сельскохозяйственной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллагулова Ч.Р., Юлдашев Р.А., Шакирова Ф.М. Структура дегидрин-подобного гена TADHN мягкой пшеницы и участие АБК и 24-эпибрассинолида в активации его экспрессии // Физиология растений. 2007. Т. 54. № 1. С. 131–136.
2. Janeczko A., Swaczynová J. Endogenous brassinosteroids in wheat treated with 24-epibrassinolide // Biol. Plant. 2010. V. 54(3). P. 477–482.
3. Авальбаев А.М., Сафутдинова Ю.В., Шакирова Ф.М. Влияние 24-эпибрассинолида на гормональный статус растений пшеницы при действии хлорида натрия // Прикл. биохим. и микробиол. 2010. Т. 46. №. 1. С. 109–112.
4. Малеванная Н.Н. Брассиностероиды – новый класс фитогормонов плейотропного действия // Сб. научн. тр. “Полифункциональность действия брассиностероидов”. М.: “НЭСТ М”, 2007. С. 155–164.
5. Мат-лы 2-го Всесоюз. совещ. по брассиностероидам: Тез. докл. Минск, 1991. 55 с.
6. Lingyun Yuan, Yinghui Yuan, Jing Du, Jin Sun, Shirong Guo. Effects of 24-epibrassinolide on nitrogen metabolism in cucumber seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress // Plant Physiol. Biochem. 2012. V. 61. P. 29–35.
7. Воронина Л.П. Экологические функции комплекса агрохимических средств и регуляторов роста растений в агроценозе: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008. 40 с.
8. Hayat S., Ahmad A. Soaking seeds of *Lens culinaris* with 28-homobrassinolide increased nitratereductase activity and grain yield in the field in India // Ann. Appl. Biol. 2003. V. 143. P. 121–124.
9. Hasan S.A., Wani A.Sh., Irfan M., Hayat Sh. Brassinosteroids root drenching as an effective method of cadmium induced oxidative stress amelioration in *Solanum Lycopersicum* // Internat. J. Chem. Environ. Biol. Sci. (IJCEBS). 2013. V. 1. Iss. 3. P. 484–487.
10. Засорина Э.В. Реакция сортов картофеля на применение регуляторов роста в Центральном Черноземье // Вестн. КурскГСХА. 2010. Вып. 5. С. 50–51.
11. Гаврилец Н.В. Биоресурсный потенциал сортов картофеля в Новосибирском Приобье // Вестн. НГАУ. Научн. журн. январь–март 2014. № 1(30). С. 7–12
12. Астафьева О.В., Вилкова Д.Д., Батаева Ю.В., Магзанова Д.К., Егоров М.А. Исследование антибактериальных свойств стимулятора роста растений эпин-экстра с целью получения экологически чистой продукции // Вестн. АлтайГАУ. 2015. № 8(130). С. 81–85.
13. Воронина Л.П., Малеванная Н.Н., Батурина Л.К., Хуснетдинова Т.И., Фролова А.М. Защитное действие 24-эпибрассинолида в комплексе с пестицидами // Агрохимия. 2015. № 6. С. 54–62.
14. Зольникова Е.В., Постников А.Н. Влияние регуляторов роста на урожайность кормовой свеклы // Земледелие. 2015. № 5. С. 25–27.
15. Будыкина Н.П., Шибеева Т.Г., Титов А.Ф. Влияние эпина-экстра – синтетического аналога 24-эпибрассинолида – на стрессоустойчивость и продуктивность растений огурца (*Cucumis sativus* L.) // Тр. Карел. НЦ РАН. 2012. № 2. С. 47–55.

Effect of 24-Epibrassinolide (EBR) and EBR-Based Preparations on Crop Quality Indicators

L. P. Voronina^{a,b,#} and N. N. Malevannaya^c

^a Moscow state University. M.V. Lomonosov 119991 Moscow, Leninskie Gory, 1, p. 12, Russia

^b Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, ul. Pogodinskaya 10, bld. 1, Moscow 119992, Russia

^c Nonprofit Scientific Production Partnership NEST M, ul. Pryanishnikova 31a, Nizhny Moscow 127550, Russia

#E-mail: luydmila.voronina@gmail.com

The efficiency and anti-stress effect of EBR were investigated. The positive effect of EBR on the quality of agricultural products was established in field experiments on root crops and potatoes.

Key words: 24-epibrassinolide, EBR-based preparations, quality, agricultural crops.