

УДК 581.821

С.Э. Кароза

канд. биол. наук, доц. каф. зоологии и генетики
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина
e-mail: karoza01@yandex.by

**ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ
НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ
(*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH.)
В ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ (БРЕСТСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Изучено действие брассиностероидов (эпибрассинолида, гомобрассинолида и эпикастастерона) на рост, развитие и урожайность гречихи посевной в Брестском районе в 2017 г. Установлено, что в лабораторных условиях гомобрассинолид оказывает максимальное положительное влияние на энергию прорастания, всхожесть, высоту растений и длину корней гречихи посевной. Оптимальное время обработки семян гречихи в растворах брассиностероидов с концентрацией 10^{-7} % составило 3 часа. В полевых условиях обработка семян раствором гомобрассинолида в концентрации 10^{-7} % повышала массу, высоту растений и их продуктивность. Эпибрассинолид в той же концентрации проявил более выраженное положительное влияние на урожайность и массу 1 000 семян, но слабо влиял на ростовые процессы в полевом опыте.

Введение

Зерновые, зернобобовые и крупяные культуры составляют значительную долю в структуре посевных площадей в Республике Беларусь, хотя она постепенно уменьшается с 46,1 % в 2010 г. до 41,6 % в 2017 г. [1]. Их урожайность не очень стабильна и изменяется по годам в зависимости от погодных условий. Так, в 2017 г. она была немного выше, чем в 2016 г., но значительно ниже, чем в 2014 и 2015 гг. [2]. Поэтому проблема получения стабильных урожаев этих культур остается одной из важнейших в растениеводстве, так как дестабилизирующими факторами являются возбудители заболеваний растений и неблагоприятные погодные условия. Особенно это касается гречихи посевной, так как в последнее время из-за относительно низкой урожайности хозяйства сокращают ее производство, несмотря на необходимость обеспечения продовольственной безопасности республики. Возможности повышения урожайности за счет улучшения питания растений с помощью удобрений и защиты от патогенов пестицидами в определенной мере себя исчерпали, в том числе и в результате своей неэкологичности. Сейчас более перспективным является направление, связанное со стимуляцией роста, развития и иммунитета сельскохозяйственных культур с помощью биорегуляторов, применяемых в очень низких дозах и являющихся синтетическими аналогами естественных гормонов растений.

К таким регуляторам, способным активно влиять на многие физиологические и биохимические процессы растений, относятся брассиностероиды. Они были обнаружены в растениях и выделены в новый класс растительных гормонов сравнительно недавно [3]. Сразу же было начато активное изучение их биологических свойств, и установлено, что они обладают полифункциональным влиянием на растения, в том числе способны повышать их устойчивость к различным стрессовым факторам и могут быть весьма эффективными адаптогенами и перспективными стимуляторами роста и продуктивности нового поколения [4]. Поэтому были разработаны методики синтеза как полных аналогов естественных гормонов, так и соединений с модифицированной структурой, обладающих более высокой биологической активностью и более удобных для практического применения, в том числе и в Институте биоорганической химии НАН Беларуси [5]. Но промышленное производство было освоено только для одного

соединения – эпибрассинолида, выпускаемого под торговыми марками «Эпин» и «Эпин-экстра». Изучение биологической активности других брассиностероидов и их включение в технологию культивирования определенных культур и сортов в конкретных почвенно-климатических зонах требует проведения отдельных исследований.

Целью работы являлось определение в лабораторных и полевых условиях наиболее перспективных для повышения продуктивности гречихи посевной брассиностероидов путем оценки их рострегулирующей активности и влияния на урожайность и качество полученного посевного материала.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench.) сорта «Александрина». Это районированный для всех областей Республики Беларусь тетраплоидный сорт индетерминантного типа (регистрационный № 2003061), включен в реестр сортов в 2006 г., заявитель – РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» [6]. Он отличается дружностью созревания плодов, высокой массой 1 000 зерен и их выровненностью. Период вегетации 90–95 дней. Высота растений 100–105 см. Зерно крупное, масса 1 000 плодов 37–44 г. Высокие технологические качества: выход крупы – 74 %, выход крупной фракции до 99 %. Содержание белка в зерне – 14,1 %. Для данного сорта характерна большая стабильность урожайности за счет снижения размаха ее изменчивости в зависимости от условий.

Предметом исследования стало влияние брассиностероидов на рост, развитие и продуктивность гречихи посевной. Для этой цели использовали три препарата: эпибрассинолид ($C_{28}H_{48}O_6$), гомобрассинолид ($C_{29}H_{50}O_6$), эпикастастерон ($C_{28}H_{48}O_5$). Соединения были синтезированы и предоставлены сотрудниками лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси в кристаллическом виде. Из них готовили спиртовые маточные растворы в концентрации 10^{-2} %, а затем путем поэтапного разбавления дистиллированной водой – растворы необходимых концентраций.

Методика проведения лабораторного эксперимента включала в себя определение показателей (энергия прорастания, всхожесть, высота проростков и длина корешков), характеризующих рост и развитие гречихи посевной. Проращивание семян производилось в рулонах фильтровальной бумаги в термостате согласно СТБ 1073–97 [7]. Предварительно для определения оптимального времени обработки проводили их замачивание на один, три и шесть часов в растворах испытываемых соединений в концентрации 10^{-7} %, так как в ранее проведенных нами исследованиях на других зерновых культурах и гречихе было установлено ростстимулирующее, в том числе и гормоноподобное ауксинового и цитокининового типа действие брассиностероидов в данной концентрации [8–10].

Полевой эксперимент проводили на опытном поле агробиологического Центра БрГУ имени А.С. Пушкина в вегетационный период 2017 г. Почва участка была легкая, дерново-подзолистая, $pH = 7,1$, содержание гумуса – 3,61 %, азота – $0,531 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$, фосфора – $0,067 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$. При весенней обработке вносили расчетную дозу удобрений. Посев был после достижения благоприятных температурных условий. Семена гречихи перед посевом замачивались в растворах исследуемых веществ в концентрации 10^{-7} % на три часа. В схему опыта были включены 16 участков с четырьмя вариантами (эпибрассинолид, гомобрассинолид, эпикастастерон и контроль), распределенные рендомизированно [11]. Норма высева составляла 250 семян на 1 делянку площадью 1 м^2 , что соответствует норме высева при рядовом посеве для тетраплоидных сортов [12]. В процессе исследования оценивали влияние БС на полевую всхожесть, высоту проростка, длину корешка и массу растений. Для определения морфометрических показателей использовали 80 растений одного варианта – по 20 с каждой повторности. Позже

определяли урожайность. Определение массы 1 000 семян проводили по общепринятой методике (СТБ 1123–98) [7]. Статистическая обработка результатов лабораторного и полевого экспериментов осуществлялась по стандартной методике с помощью составленных нами шаблонов таблиц Excel с определением степени достоверности по критерию Стьюдента [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные исследования по определению оптимального времени предварительной обработки семян растворами brassinosteroidов в концентрации 10^{-7} % показали, что при замачивании в течении одного часа эпибрасинолид и эпикастастерон недостоверно понижали энергию прорастания, а гомобрасинолид – повышал почти на 10 % по сравнению с контролем, но в связи с четырехкратной повторностью опыта и достаточно большим разбросом данных различия были также недостоверными (таблица 1). При трехчасовой обработке лучшие результаты также были получены при применении гомобрасинолида, который достоверно увеличивал энергию прорастания почти на 30 %, менее значимые положительные отличия были установлены для эпикастастерона и эпибрасинолида. При шестичасовом замачивании результаты оказались достаточно неожиданными: эпибрасинолид и эпикастастерон оказали не положительное, а заметное отрицательное влияние на энергию прорастания, снизив ее на несколько процентов, и только обработка гомобрасинолидом улучшила показатели, но намного слабее, чем при трехчасовом замачивании. Таким образом, для повышения энергии прорастания гречихи при обработке растворами brassinosteroidов в концентрации 10^{-7} % более перспективным биологически активным веществом является гомобрасинолид, а наиболее оптимальным временем замачивания – три часа.

Таблица 1. – Влияние времени обработки растворами brassinosteroidов на энергию прорастания гречихи посевной сорта «Александрина»

Соединение	Время обработки					
	1 час		3 часа		6 часов	
	%	% к контролю	%	% к контролю	%	% к контролю
Контроль	$36,5 \pm 5,51$	100	$38,5 \pm 5,51$	100	$36 \pm 3,51$	100
Эпибрасинолид	$35 \pm 3,92$	95,89	$41,5 \pm 0,92$	107,79	$32,5 \pm 4,92^*$	90,28
Гомобрасинолид	$40 \pm 9,33$	109,59	$50,5 \pm 9,33^{***}$	129,87	$39,5 \pm 5,33^*$	109,72
Эпикастастерон	$36 \pm 7,29$	98,63	$42,5 \pm 7,29$	110,39	$35 \pm 3,29$	97,22

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

На всхожесть все brassinosteroidы оказали также различное, но менее выраженное влияние, что является вполне логичным, так как биорегуляторы стероидной природы обычно ускоряют процессы роста и развития, а на всхожесть влияют более слабо. При предварительной обработке низкоконтрированными растворами в течении одного часа все три используемых препарата очень незначительно и недостоверно повысили анализируемый показатель (таблица 2). При замачивании на три часа гомобрасинолид достоверно увеличивал всхожесть на 16 %, (на 24 % по отношению к контролю), эпибрасинолид – на 8 % по отношению к контролю, а эпикастастерон практически не повлиял на этот показатель. Но при замачивании на протяжении шести часов только эпибрасинолид повысил всхожесть, но всего на 1 %, а гомобрасинолид и эпикастастерон – снизили результат на 6 и 3 % соответственно.

Таблица 2. – Влияние времени обработки растворами brassinosteroidов на всхожесть гречихи посевной сорта «Александрина»

Соединение	Время обработки					
	1 час		3 часа		6 часов	
	%	% к контролю	%	% к контролю	%	% к контролю
Контроль	67,5 ± 6,88	100	68,5 ± 6,88	100	66,5 ± 6,88	100
Эпибрассинолид	69,5 ± 1,53	105,19	74 ± 1,53	108,03	67,5 ± 1,55	101,50
Гомобрассинолид	71 ± 1,86	106,67	85 ± 1,86*	124,09	60,5 ± 1,86*	90,98
Эпикастастерон	72 ± 1,53	102,96	69 ± 1,53	100,73	63,5 ± 1,53	95,49

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

На высоту проростка при замачивании в течении одного часа brassinosteroidы оказали в основном ингибирующее влияние: эпибрассинолид практически не повлиял на него, а гомобрассинолид и эпикастастерон достоверно снижали результат (таблица 3). Для его увеличения при трехчасовой обработке наиболее перспективными препаратами оказались эпибрассинолид (прибавка 18 % к контролю) и гомобрассинолид (8 %).

При замачивании в растворах на шесть часов действие эпибрассинолида и гомобрассинолида было неэффективным, а применение эпикастастерона уменьшило анализируемый признак на 8 %.

Таким образом, и влияние на высоту проростков растворов brassinosteroidов в целом оказалось более эффективным при замачивании на три часа.

Таблица 3. – Влияние времени обработки растворами brassinosteroidов на высоту проростков гречихи посевной сорта «Александрина»

Соединение	Время обработки					
	1 час		3 часа		6 часов	
	мм	% к контролю	мм	% к контролю	мм	% к контролю
Контроль	151,7 ± 7,41	100	123,2 ± 2,47	100	118,3 ± 3,93	100
Эпибрассинолид	153,1 ± 4,65	100,90	145,4 ± 3,74***	118,02	117,3 ± 2,35	99,18
Гомобрассинолид	143,5 ± 5,95*	94,57	133,1 ± 4,25**	108,04	121,8 ± 2,37	102,94
Эпикастастерон	138,5 ± 4,63**	91,26	117,3 ± 3,23	95,22	108,7 ± 2,02**	91,93

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

При оценке влияния на длину корешка было установлено, что при одном часе замачивания только обработка эпикастастероном незначительно увеличила ее в положительную сторону (таблица 4), а под влиянием остальных препаратов она достоверно уменьшилось.

При периоде в три часа максимальную положительную активность проявил гомобрассинолид, и увеличение показателя составило примерно 17 % относительно контроля, и несколько слабее действовали эпибрассинолид (13 %) и эпикастастерон (5 %).

При шести часах замачивания все три препарата оказали ингибирующее влияние на процессы развития корешков гречихи, особенно значительное эпикастастерон: средняя длина корешков составила 93,6 % относительно контроля, менее активным был гомобрассинолид (96,1 %), а при действии эпибрассинолида значение этого показателя было несколько меньше контрольного, но различия были недостоверными.

Таблица 4. – Влияние времени обработки растворами brassinosteroidов на длину корешков гречихи посевной сорта «Александрина»

Соединение	Время обработки					
	1 час		3 часа		6 часов	
	мм	% к контролю	мм	% к контролю	мм	% к контролю
Контроль	97,1 ± 2,78	100	93,1 ± 2,34	100	94 ± 4,14	100
Эпибрасинолид	91,2 ± 2,61**	93,9	105,3 ± 2,31**	113,03	92,3 ± 2,76	98,14
Гомобрасинолид	93,12 ± 2,59*	95,88	109,0 ± 2,35***	117,06	90,3 ± 3,09*	96,10
Эпикастастерон	102,7 ± 3,01**	105,72	97,3 ± 2,36*	104,51	88,1 ± 2,93**	93,62

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

По результатам лабораторного эксперимента было решено использовать для полевого опыта все три препарата при обработке семян гречихи посевной методом замачивания в их растворах с концентрацией 10^{-7} % на три часа.

Анализ влияния brassinosteroidов на полевую всхожесть показал, что она составила от 83 до 86 %, что в целом является хорошим показателем для гречихи (таблица 5). Максимальную положительную активность проявил эпибрасинолид, остальные соединения оказали очень слабое положительное влияние. Из-за четырехкратной повторности мелкоделяночного опыта разница была недостоверной, поэтому можно говорить лишь о тенденции к повышению полевой всхожести для двух препаратов. Влияние стероидов на длину корешка оказалось противоположным: гомобрасинолид и эпибрасинолид снижали ее по сравнению с контролем, а эпикастастерон незначительно повышал, но все различия были также недостоверными. На высоту растений оказал влияние только гомобрасинолид, незначительно увеличивший ее (на 2,1 % по сравнению с контролем). Средняя масса растений также была выше (но недостоверно) в варианте с обработкой гомобрасинолидом (107,4 %); остальные варианты имели очень незначительные отличия от контроля в большую (эпикастастерон) или меньшую сторону (эпибрасинолид).

Таблица 5. – Влияние brassinosteroidов в концентрации 10^{-7} % на начальные этапы роста гречихи посевной сорта «Александрина» в полевом опыте 2017 г.

Соединение	Показатель							
	Всхожесть		Длина корешка		Высота проростка		Масса растения	
	%	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю	г	% к контролю
Контроль	83,0 ± 1,68	100,0	7,94 ± 0,48	100,0	35,26 ± 0,50	100,0	6,01 ± 0,26	100,0
Эпибрасинолид	86,8 ± 1,60	104,5	7,63 ± 0,73	96,2	35,20 ± 0,46	99,8	6,06 ± 0,23	100,9
Гомобрасинолид	85,0 ± 0,70	102,4	7,59 ± 0,93	95,7	35,99 ± 0,50	102,1	6,45 ± 0,22	107,5
Эпикастастерон	84,0 ± 1,83	101,2	7,99 ± 0,77	100,7	35,45 ± 0,52	100,5	6,08 ± 0,26	101,2

Анализ массы плодов показал, что урожайность в целом была выше, чем в среднем по Республике Беларусь, где, по данным ЦСУ, она не превышает 11,6 ц/га, но ниже, чем максимальная для данного сорта за годы испытания (32,7 ц/га). Но более высокую стимулирующую активность в концентрации 10^{-7} % проявил не гомобрасинолид, как следовало ожидать из анализа роста растений, а эпибрасинолид (109,2 % к контролю), но и в этом случае разница была недостоверной (таблица 6).

Вариант с обработкой эпикастастероном незначительно отличался от контроля в худшую сторону. Масса 1 000 семян колебалась вокруг 35 г, что вполне удовлетвори-

тельно (таблица 6). Все препараты положительно повлияли на нее, но только для эпибрасинолида различия были достоверными, хотя и для гомобрасинолид значения были достаточно близкими.

Таблица 6. – Влияние брасиностероидов в концентрации 10^{-7} % на продуктивность сорта «Александрина» в полевом опыте 2017 г.

Соединение	Показатель			
	Урожайность		Масса 1 000 семян	
	ц/га	% к контролю	г	% к контролю
Контроль	20,93 ± 1,39	100,0	35,03 ± 0,34	100,0
Эпибрасинолид	22,86 ± 1,29	109,2	36,00 ± 0,56*	102,8
Гомобрасинолид	22,17 ± 2,66	102,4	35,90 ± 0,18	102,5
Эпикастастерон	20,18 ± 1,63	96,4	35,63 ± 0,51	101,7

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

Заклучение

По комплексу морфометрических показателей оптимальное время обработки методом замачивания семян гречихи посевной сорта «Александрина» в растворах брасиностероидов в лабораторных условиях составило три часа.

В лабораторном эксперименте наиболее перспективным из трех изученных брасиностероидов оказался гомобрасинолид, определенно положительно повлиявший на различные показатели, характеризующие процессы роста и развития гречихи посевной.

В полевых условиях при обработке этим препаратом в концентрации 10^{-7} % повышалась масса растений и их продуктивность, но эпибрасинолид в той же концентрации проявил достоверное положительное влияние на массу 1 000 семян, хоть и не влиял на ростовые процессы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структура посевов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/graficheskii-material-grafiki-diagrammy-_3/struktura-posevov/. – Дата доступа: 10.02.2018.
2. Валовой сбор и урожайность зерновых и зернобобовых культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/graficheskii-material-grafiki-diagrammy-_3/valovoi-sbor-i-urozhainost-zernovyh-i-zernobobovyh-kultur/. – Дата доступа: 10.02.2018.
3. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
4. Хрипач, В. А. Брасиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 287 с.
5. Лахвич, Ф. А. Синтез брасиностероидов – нового класса растительных гормонов / Ф. А. Лахвич, В. А. Хрипач, В. Н. Жабинский // Успехи химии. – 1991. – Т. 60, вып. 6. – С. 1299–1333.
6. Государственный реестр сортов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2018>. – Дата доступа: 29.05.2018.
7. Семена зерновых культур. Сортовые и посевные качества. Технические условия: СТБ 1073–97. – Введ. 01.10.97. – Минск, 1986. – 18 с.

8. Воробьева, О. С. Анализ влияния стероидных гликозидов и брассиностероидов на всхожесть, рост и урожайность ячменя и пшеницы / О. С. Воробьева, Ю. С. Себрукович // XV Респ. науч.-метод. конф. молодых ученых, Брест, 17 мая 2013 г. : сб. материалов : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. В. В. Здановича. – Брест : БрГУ, 2013. – Ч. 2. – С. 3–4.

9. Резанович, О. И. Анализ влияния стероидных гликозидов и брассиностероидов на всхожесть и рост гречихи / О. И. Резанович, Е. В. Зиновчик // Устойчивое развитие: экологические проблемы : сб. материалов V регион. науч.-практ. конф., Брест, 21 нояб. 2013 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: И. В. Абрамова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2014. – С. 86.

10. Кароза, С. Э. Рострегулирующая активность стероидных гликозидов и брассиностероидов в лабораторном и полевом эксперименте / С. Э. Кароза // Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : материалы Респ. науч.-практ. экол. конф., Брест, 23 нояб. 2017 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. В. Шкуратова [и др.]. – Брест, 2017. – С. 216–220.

11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1965. – 423 с.

12. Рекомендации по возделыванию гречихи на зерно в 2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mshp.gov.by/information/materials/zem/agriculture/a2a79b4c2e716d60.html>. – Дата доступа: 10.03.2018.

13. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 27.06.2018

Karozs S.E. Effect of Brassinosteroids on the Morphometric Parameters of Buckwheat (*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH.) in the Laboratory and Field Conditions (Brest Oblast)

The effect of brassinosteroids (epibrassinolide, homobassinolide and epicastasterone) on the growth, development, and productivity of buckwheat in Brest region in 2017 is determined. In laboratory conditions, homobassinolide has a maximum positive effect on germination energy, germination, plant height and buckwheat root length sowing. The optimal treatment time for buckwheat seeds in the solutions of brassinosteroids with a concentration of 10^{-7} % was 3 hours. In the field, the treatment of seeds with a solution of homobassinolide in a concentration of 10^{-7} % increased the weight, height of plants and their productivity. Epibrassinolide at the same concentration showed a more positive effect on yield and weight of 1 000 seeds, but had little effect on growth processes in the field experiment.