

Сергей Эдвардович Кароза¹, Анастасия Валентиновна Швайко²

¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²лаборант каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Sergey Karoza¹, Anastasia Shvaiko²

¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

²Laboratory Assistant of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹karoza01@yandex.by; ²verytsarenat@gmail.com

ВЛИЯНИЕ КОНЬЮГАТОВ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА С ОРГАНИЧЕСКИМИ КИСЛОТАМИ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ (FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH.) СОРТА ВЛАДА*

Изучено влияние конъюгатов 24-эпикастастерона с индолилуксусной, салициловой и янтарной кислотами на начальные этапы роста гречихи посевной сорта Влада и содержание фотосинтетических пигментов в ее листьях в лабораторном эксперименте. Установлено положительное влияние конъюгатов на морфометрические показатели в дозах 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М, более выраженное при выращивании рулонным методом, чем в вегетационном эксперименте с использованием почвогрунта. Влияние на содержание хлорофилла и каротиноидов было сходно с действием эпикастастерона, но отличалось у разных конъюгатов.

Ключевые слова: гречиха, 24-эпикастастерон, конъюгаты 24-эпикастастерона, рострегулирующая активность, энергия прорастания, всхожесть, хлорофилл, каротиноиды.

The Effect of Conjugates with Organic Acids 24-Epicasterone on Morphometric and Biochemical Indicators in Buckwheat (Fagopyrum Esculentum Moench.) of Vlada Variety

The effect of conjugates of 24-epicasterone with indolylacetic, salicylic, and succinic acids on the initial stages of growth of buckwheat of the Vlada variety and the content of photosynthetic pigments in its leaves was studied in a laboratory experiment. The positive effect of conjugates on morphometric parameters at doses of 10^{-10} , 10^{-9} and 10^{-8} M has been established, which is more pronounced when grown by the roll method than in the vegetative experiment using soil. The effect on the content of chlorophyll and carotenoids was similar to the effect of epicasterone, but it differed for each conjugates.

Key words: buckwheat, 24-epicasterone, conjugates 24-epicasterone, growth-regulating activity, germination energy, germination tin, chlorophyll, carotenoids.

Введение

Приоритетными задачами сельскохозяйственного производства являются обеспечение потребности населения продукцией растениеводства и животноводства, а также улучшение ее потребительских свойств за счет увеличения содержания полезных для здоровья компонентов и снижения количества потенциально опасных веществ. Первая задача может быть реализована путем увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур, в т. ч. за счет повышения их устойчивости к неблаго-

*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных брассиностероидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биоорхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» на 2021– 2025 гг. (№ госрегистрации 20211450 от 20.05.2021).

приятным экологическим факторам различной природы, как абиотическим (климатическим, загрязнение среды потенциально токсичными химическими элементами), так и биотическим (грибковым, бактериальным и вирусным патогенам, вредителям различных таксонов).

Экстенсивный путь решения этой задачи, основанный на усиленном применении удобрений, гербицидов, инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и т. д., в настоящее время неактуален прежде всего из-за своей неэкологичности, т. к. он может привести к ухудшению качества продукции. С помощью селекции можно решить как первую, так и вторую задачу, но выведение соответствующих новым потребностям сортов даже при современных методах требует много времени по причине длительного сортоиспытания. Для получения «чистой» продукции представители «зеленых» предлагают использовать только «органическое» земледелие, но переход к нему в промышленном масштабе в настоящее время невозможен, т. к. это ведет не только к резкому снижению урожайности, но в определенной мере и к ухудшению товарных качеств полученной таким путем продукции. Частичному решению обеих задач одновременно может помочь использование препаратов с рострегулирующими и протекторными свойствами. Такие препараты были получены на основе стероидных соединений, первоначально выделенных из некоторых растений – брассиностероидов. После их открытия и начального исследования биологических свойств во второй половине XX в. они были выделены в отдельный класс фитогормонов, которые способны координировать взаимодействие между другими гормонами [1; 2].

Влияние этих соединений на растения изучено в многочисленных исследованиях, и их результаты были обобщены в монографии, но уже сравнительно давно [3]. Брассиностероиды оказались очень перспективными веществами для создания эффективных экологически безопасных регуляторов роста и развития, повышающих урожайность растений как в нормальных, так и в экстремальных условиях, поэтому они стали активно синтезироваться в разных странах, а затем и внедряться в сельскохозяйственное производство. В Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси был разработан метод синтеза эпибрассинолида, гомообрассинолида и других соединений, позволивший наладить их производство и создание препаратов для сельского хозяйства [4]. Исследования их влияния на различные сельскохозяйственные культуры и декоративные растения производилось и в Брестском государственном университете имени А. С. Пушкина, а их результаты приведены в [5].

Но применение препаратов брассиностероидной природы на растениях имеет свои недостатки: они не поступают через корневую систему, а результаты зависят от очень многих факторов: погодных условий, сорта и состояния растений и т. д. [5]. В ходе исследований был выявлен синергизм брассиностероидов с другими гормонами растений, например индолилуксусной кислотой [6]. Поэтому для изменения физико-химических свойств и создания потенциально перспективных для сельского хозяйства препаратов в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси были синтезированы конъюгаты брассиностероидов, содержащие дополнительную активную составляющую в виде остатков органических кислот, которые сами обладают высокой биологической активностью. Одними из таких соединений стали моносалицилаты 24-эпибрассинолида и 24-эпикастастерона, проявившие как ростостимулирующую активность, так и стресс-протекторные свойства по отношению ко многим неблагоприятным факторам на просе и арадобидопсисе, более высокие, чем свойства их компоненты по отдельности или в простой смеси [7–9]. Кроме того, было установлено повышение устойчивости ячменя к гельминтоспориозу, не связанное с прямым фунгицидным действием, но сильно зависящее от конкретного препарата и его дозы [10]. Сходные свойства проявили и конъюгаты брассиностерои-

дов с янтарной кислотой на растениях ячменя и рапса, в т. ч. в условиях солевого стресса [11; 12].

Но исследований в этом направлении пока все же мало, т. к. эти соединения синтезированы сравнительно недавно и в небольших количествах. Сейчас исследование биологической активности конъюгатов 24-эпикастестерона с кислотами проводится на факультете естествознания в БрГУ имени А. С. Пушкина, и уже получены обнадеживающие результаты на некоторых культурах [13–15]. Таким образом, уже выявлено положительное влияние конъюгатов брассиностероидов на некоторые сельскохозяйственные культуры, но продолжение исследований необходимо для увеличения как перечня таких культур, так и этих соединений, а также для выявления механизма их действия на растения.

Цель исследования – сравнительный анализ влияния конъюгатов 24-эпикастестерона с органическими кислотами на начальные этапы роста и содержание фотосинтетических пигментов в растениях гречихи посевной.

Материалы и методы

Объекты исследований – 24-эпикастестерон (ЭК) и его конъюгаты с индолилуксусной, салициловой и янтарной кислотами (2-моноосалицилат (S23), тетраиндолилацетат (S31) и тетрасукцинат (S439) соответственно), предоставленные сотрудниками лаборатории химии стероидов ИБОХ НАН Беларуси в виде спиртовых растворов с концентрацией 10^{-4} М.

Тест-объект – гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench.) диплоидного сорта Влада, включенная в Государственный реестр сортов в 2008 г. (регистрационный номер 2005128, оригинатор – Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию) и районированная для всех областей Республики Беларусь [16]. Это среднеспелый детерминантный сорт прямостоячего типа с выровненным стеблестоем, хорошим ветвлением, дружным цветением и плодообразованием. Вегетационный период – в среднем 83 дня. Сорт устойчив к полеганию и среднеустойчив к осыпанию семян. Средняя урожайность за 2005–2007 гг. испытания – 16,5 ц/га. Выравненность зерна 90,4 %. Выход крупы – 75,6 %, крупного ядра – 61,8 %. Масса 1000 семян – в среднем 29,5 г. [17].

Методика проведения лабораторных исследований рулонным методом. Лабораторный эксперимент по оценке влияния конъюгатов 24-эпикастестерона на основные показатели, характеризующие рост и развитие гречихи посевной, проводился по стандартной методике проращивания в рулонах фильтровальной бумаги по ГОСТ 12038–84) [17]. Семена гречихи замачивали на пять часов в растворах исследуемых соединений в концентрациях от 10^{-11} до 10^{-7} М с шагом в единицу, а затем проращивали в рулонах, помещаемых в стаканы с дистиллированной водой.

В ходе исследования определяли энергию прорастания, всхожесть, высоту проростков, длину корней, а также массу этих органов. Срок определения энергии прорастания – 4-е сутки, а всхожести – 7-е сутки.

Методика проведения вегетационного эксперимента. В вегетационном эксперименте с использованием почвогрунта семена гречихи посевной также замачивали на пять часов в растворах исследуемых соединений в ранее определенных наиболее оптимальных концентрациях от 10^{-10} до 10^{-8} М, затем проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге до наклевывания. Проклюнувшиеся семена высаживали в вегетационные сосуды (пластиковые контейнеры) в подготовленный почвогрунт. В каждую емкость помещали по пять семян, на каждый вариант использовали четыре сосуда, распределенные рандомизированно. Гречиху выращивали до начала цветения. По завершении эксперимента проводили определение высоты побегов, длины корней и массы растений, а также содержания в листьях хлорофилла и каротиноидов.

Для экстракции пигментов использовали высечки диаметром 1 см из средней части листьев, взятых со всех растений каждого варианта. Для уменьшения разброса данных для каждой пробы делали 10 высечек, объединяли их вместе и устанавливали массу навески. Из каждого вегетационного сосуда отбирали две пробы, чтобы повторность опыта была восьмикратной. Экстракцию пигментов производили 10 мл 100 %-го ацетона. Оптическую плотность экстракта определяли на спектрофотометре SOLAR CM2203 при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе: $\lambda = 662, 644$ и $440,5$ нм [19]. Содержание пигментов рассчитывали по формулам Веттштейна. Затем проводили расчет концентрации пигментов и их содержания в пересчете на массу. Статистическую обработку всех результатов осуществляли с помощью таблиц Excel с определением степени достоверности по критерию Стьюдента [20]. Подробнее все методики описаны в [21].

Результаты и их обсуждение

Лабораторный эксперимент. Результаты эксперимента показали, что исследуемые соединения оказали неоднозначное влияние на анализируемые показатели в зависимости от применяемой концентрации. Эпикастастерон повышал энергию прорастания по сравнению с контролем во всех концентрациях, кроме самой максимальной, при этом наиболее существенно – при дозах 10^{-9} и 10^{-10} М (+13 и 15,4 % к контролю) (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние ЭК и его конъюгатов на энергию прорастания и всхожесть гречи-хи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Концентрация, М	Энергия прорастания		Всхожесть	
	%	% к контролю	%	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	61,5 ± 2,22	100,0	78,0 ± 2,58	100,0
10^{-11}	62,0 ± 4,32	100,8	80,0 ± 5,56	100,6
10^{-10}	69,5 ± 2,22*	113,0	81,5 ± 2,45	102,6
10^{-9}	71,0 ± 1,29**	115,4	80,5 ± 2,06	104,5
10^{-8}	66,0 ± 2,16	107,3	77,0 ± 2,50	103,2
10^{-7}	59,5 ± 1,71	96,7	75,0 ± 3,42	98,7
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	62,5 ± 2,99	100,0	75,0 ± 1,73	100,0
10^{-11}	60,0 ± 2,58	96,0	74,5 ± 3,59	99,3
10^{-10}	64,0 ± 2,16	102,4	75,5 ± 3,03	100,7
10^{-9}	67,0 ± 3,42	107,2	76,8 ± 1,89	102,4
10^{-8}	71,0 ± 2,65*	113,6	79,0 ± 1,73	105,3
10^{-7}	60,5 ± 2,22	96,8	73,5 ± 1,31	98,0
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	62,0 ± 1,87	100,0	76,5 ± 1,56	100,0
10^{-11}	61,0 ± 1,71	98,4	76,5 ± 2,22	100,0
10^{-10}	66,8 ± 1,71	107,7	77,8 ± 1,03	103,1
10^{-9}	69,0 ± 2,87*	111,3	79,1 ± 0,71	98,4
10^{-8}	68,5 ± 1,29	110,5	79,8 ± 1,93	96,0
10^{-7}	60,0 ± 1,92	96,8	75,3 ± 2,13	98,0
тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439)				
Контроль	40,5 ± 2,20	100,0	81,8 ± 2,02	100,0
10^{-11}	40,0 ± 2,56	98,8	82,5 ± 2,67	100,9
10^{-10}	57,5 ± 4,88**	141,98	85,0 ± 1,81	103,9
10^{-9}	53,0 ± 9,14*	130,9	88,5 ± 2,20*	108,2
10^{-8}	67,8 ± 4,35***	167,4	88,0 ± 1,85*	107,6
10^{-7}	48,5 ± 4,07	119,8	78,5 ± 3,70	95,97

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

Сходное, но менее выраженное влияние ЭК оказал и на всхожесть, но этот показатель всегда более стабилен.

Моносалицилат понижал энергию прорастания в самой минимальной и максимальной концентрациях, но повышал ее при использовании раствора с концентрациями 10^{-8} и 10^{-9} М. На показатель всхожести максимальное стимулирующее влияние, оказал раствор в концентрации 10^{-8} М. Тетраиндолилацетат оказал на энергию прорастания более слабое влияние, чем сам ЭК и S23, но положительный эффект наблюдался в трех средних используемых дозах, и ни одна концентрация не оказала отрицательного влияния на всхожесть. Положительное влияние S31 на нее было выражено чуть сильнее, чем у S23, и наблюдалось в тех же трех средних дозах, при этом максимально – при концентрациях 10^{-9} и 10^{-8} М. Из-за четырехкратной повторности эксперимента разница с контролем во многих вариантах была недостоверной. Только в вариантах с использованием растворов ЭК с концентрациями 10^{-9} и 10^{-10} М и S31 с концентрацией 10^{-9} М отличия были достоверными. Таким образом, можно говорить о тенденции к повышению энергии прорастания и всхожести у трех первых стероидных препаратов, но влияние конъюгатов сильно не отличалась от действия самого брассиностероида.

Наиболее значимые положительные результаты были получены при замачивании семян гречихи в растворах тетрасукцината ЭК (таблица 1). На энергию прорастания раствор в минимальной концентрации (10^{-11} М) оказал слабое подавляющее влияние ($-1,2\%$) по сравнению с контролем. В максимальной дозе (10^{-7} М) S439 вызвал ее повышение почти на 20% , но из-за относительно большой погрешности отличие от контроля было недостоверным. Растворы в трех средних используемых дозах (10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М) вызвали очень сильное и достоверное увеличение энергии прорастания на 42 , $30,9$ и $67,4\%$ соответственно, и при этом максимальная разница и максимальная достоверность наблюдалась в варианте с раствором в концентрации 10^{-8} М ($+67,4\%$ по сравнению с контролем), а влияние S439 на всхожесть было подробно рассмотрено ранее [21].

Анализ влияния исследуемых препаратов на высоту побегов показал, что использование ЭК приводило к очень значительному и достоверному повышению этого показателя во всех концентрациях, кроме максимальной, которая не оказала влияния на рост надземной части гречихи (таблица 2). Использование раствора в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-10} М усиливало рост практически в $1,5$ раза ($+51,3$ и $56,3\%$ к контролю), и достоверность различий с контролем была максимальной. На длину корешков действие ЭК оказалось менее выраженным: в основном наблюдалось ее уменьшение, но достоверное только в варианте с минимальной используемой концентрацией 10^{-8} М. Раствор с концентрацией 10^{-8} М достоверно стимулировал рост корней ($+17,9\%$ к контролю), при использовании остальных доз ЭК разница с контролем была недостоверной.

Моносалицилат оказал более слабое действие на рост надземной части по сравнению с самим ЭК. Две минимальные концентрации незначительно (примерно на 6%) подавляли его, но разница с контролем была недостоверной, использование раствора с концентрацией 10^{-8} М достоверно стимулировало рост на $8,9\%$, а с концентрацией 10^{-7} М достоверно ингибировало его также на $8,9\%$ (таблица 2). Большую активность S23 проявил в отношении подземной части гречихи. Его раствор с концентрациями 10^{-8} и 10^{-9} М с высокой степенью достоверности усиливал рост корней на $16,9$ и $27,3\%$, а 10^{-7} М также достоверно подавлял на 9% . Растворы в двух минимальных концентрациях статистически значимого влияния не оказали, снижая этот показатель примерно на 5% (таблица 2).

Тетраиндолилацетат оказал на рост побегов влияние, схожее с ЭК. Его растворы во всех концентрациях, кроме максимальной, достоверно увеличивали высоту побегов, а в трех концентрациях – более чем на 20% (таблица 2). Максимальное стиму-

лирующее влияние оказала доза 10^{-9} М (+37,5 % к контролю). На длину корней это соединение статистически значимого ингибирующего влияния, как ЭК, не оказало, и только доза 10^{-11} М снижала ее на 4,2 %. Обработка семян его растворами в концентрациях 10^{-8} и 10^{-9} М привела к достоверному увеличению этого показателя на 8,2 и 15,5 % соответственно. Тетрасукцинат на высоту проростков оказал более слабое влияние, чем на энергию прорастания, но более сильное, чем на всхожесть.

При использовании минимальной дозы препарата она недостоверно понизилась на 5,3 %, а в остальных вариантах проявилось положительное, но выраженное в разной степени действие. Максимальный положительный эффект с максимально достоверным отличием от контроля вызвала обработка семян растворами S439 с концентрациями 10^{-9} и 10^{-8} М, которая привела к увеличению высоты проростков по сравнению с контролем на 13,7 и 14,3 % соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние ЭК и его конъюгатов на высоту проростков и длину корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Концентрация, М	Высота проростка		Длина корешка	
	мм	% к контролю	мм	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	68,4 ± 2,78	100,0	64,9 ± 1,44	100,0
10^{-11}	86,0 ± 4,25**	125,7	60,4 ± 1,54*	93,1
10^{-10}	103,5 ± 4,10***	151,3	61,5 ± 1,23	94,7
10^{-9}	106,9 ± 4,25***	156,3	63,9 ± 1,14	98,4
10^{-8}	90,8 ± 3,82**	132,7	76,6 ± 1,71**	117,9
10^{-7}	68,1 ± 3,23	99,6	64,5 ± 1,07	99,6
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	104,7 ± 3,22	100,0	65,9 ± 1,00	100,0
10^{-11}	98,5 ± 3,18	94,1	62,0 ± 1,89	94,1
10^{-10}	98,6 ± 2,58	94,2	62,7 ± 1,83	95,2
10^{-9}	111,1 ± 2,08	106,0	77,0 ± 1,67**	116,9
10^{-8}	114,0 ± 2,77*	108,9	83,8 ± 1,48***	127,3
10^{-7}	84,7 ± 2,71**	81,1	60,0 ± 1,24*	91,0
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	80,6 ± 2,73	100,0	45,6 ± 1,12	100,0
10^{-11}	88,4 ± 2,57*	109,6	43,7 ± 0,76	95,8
10^{-10}	110,8 ± 2,76***	137,5	46,6 ± 1,58	102,1
10^{-9}	99,4 ± 3,16***	123,4	49,4 ± 1,30*	108,2
10^{-8}	97,5 ± 2,97**	121,0	52,7 ± 2,28**	115,5
10^{-7}	83,0 ± 3,73	102,9	46,6 ± 0,94	102,8
тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439)				
Контроль	71,4 ± 1,68	100,0	76,72 ± 1,11	100,0
10^{-11}	67,6 ± 1,71	94,7	78,40 ± 1,24	102,2
10^{-10}	77,9 ± 2,05*	109,1	76,69 ± 0,94	99,96
10^{-9}	81,2 ± 2,01***	113,7	76,83 ± 1,04	100,1
10^{-8}	81,6 ± 2,03***	114,3	73,23 ± 1,16*	95,5
10^{-7}	77,5 ± 1,74**	108,5	70,10 ± 1,23**	91,4

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

На длину корешков S439 в целом оказал отрицательное влияние, вызвав ингибирование их роста, особенно при использовании концентраций 10^{-8} и 10^{-9} М, где показатель достоверно уменьшился на 4,5 и 8,6 % соответственно, что подробнее описано ранее [21].

Влияние исследуемых препаратов на массу побегов не совпадало с влиянием на их высоту (таблица 3). ЭК достаточно сильно увеличивал ее в концентрациях 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М (на 64,8, 59,8 и 27,7 % соответственно). Максимальная доза уменьшала ее на 3,0 %, но различия с контролем были недостоверными. Массу корней ЭК во всех концентрациях, кроме максимальной, где наблюдалось незначительное инги-

бирование на 9,6 %, увеличивал, но достоверными различия были только при использовании растворов в концентрациях 10^{-8} и 10^{-9} М (+ 36,7 и 66,1 %), особенно выраженные в последнем случае. Моносалицилат вызывал незначительное увеличение массы побегов в трех концентрациях и уменьшение в двух (максимальная и минимальная дозы), но все отличия от контроля были недостоверными. Сходное влияние оказало это соединение и на корни. Их масса повышалась при использовании растворов с концентрацией 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М на 2,0, 7,0 и 22,5 %, но достоверно только в последнем варианте (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние ЭК и его конъюгатов на массу проростков и корешков гречихи посевной сорта Влада в лабораторном эксперименте

Концентрация, М	Масса 10 побегов		Масса 10 корешков	
	г	% к контролю	г	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	1,24 ± 0,015	100,0	0,194 ± 0,012	100,0
10^{-11}	1,29 ± 0,142	104,2	0,215 ± 0,005	111,1
10^{-10}	2,04 ± 0,161***	164,8	0,223 ± 0,024	115,2
10^{-9}	1,98 ± 0,210**	159,8	0,265 ± 0,021*	136,7
10^{-8}	1,58 ± 0,162*	127,7	0,322 ± 0,021***	166,1
10^{-7}	1,20 ± 0,084	97,0	0,175 ± 0,024	90,4
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	1,80 ± 0,049	100,0	0,306 ± 0,021	100,0
10^{-11}	1,68 ± 0,162	93,4	0,294 ± 0,022	96,2
10^{-10}	1,81 ± 0,104	100,6	0,312 ± 0,037	102,0
10^{-9}	1,96 ± 0,093	109,0	0,327 ± 0,013	107,0
10^{-8}	1,89 ± 0,134	104,7	0,374 ± 0,021*	122,5
10^{-7}	1,75 ± 0,143	97,2	0,293 ± 0,043	95,9
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	1,49 ± 0,026	100,0	0,183 ± 0,021	100,0
10^{-11}	1,46 ± 0,111	98,0	0,176 ± 0,010	94,4
10^{-10}	1,50 ± 0,091	101,2	0,179 ± 0,017	97,8
10^{-9}	1,59 ± 0,043*	107,2	0,215 ± 0,020	117,4
10^{-8}	1,51 ± 0,018	101,3	0,207 ± 0,014	113,3
10^{-7}	1,43 ± 0,084	94,3	0,140 ± 0,011	76,7
тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439)				
Контроль	1,42 ± 0,06	100,0	0,31 ± 0,03	100,0
10^{-11}	1,37 ± 0,08	96,5	0,30 ± 0,03	96,8
10^{-10}	1,42 ± 0,06	100,0	0,37 ± 0,02*	119,4
10^{-9}	1,52 ± 0,05	107,04	0,38 ± 0,02*	122,6
10^{-8}	1,55 ± 0,05	109,2	0,35 ± 0,02	112,9
10^{-7}	1,48 ± 0,05	104,2	0,25 ± 0,01*	80,7

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

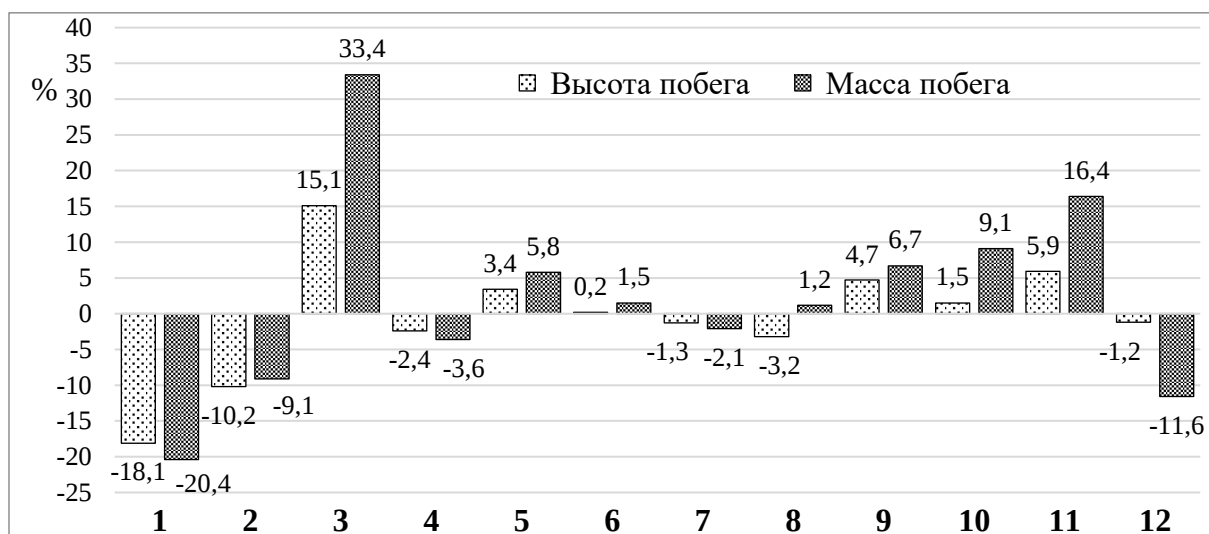
Тетраиндолилацетат на массу побегов повлиял слабее, чем на высоту. Достоверное положительное влияние на этот показатель оказал только раствор в концентрации 10^{-9} М (+7,2 %), а другие дозы статистически значимого действия на этот показатель не оказали. Массу корней увеличивало применение S31 в концентрациях 10^{-9} и 10^{-8} М (+17,4 и 13,3 %), а уменьшало на 23,3 % при концентрации 10^{-7} М, но отличия от контроля были недостоверными.

Влияние растворов тетрасукцината на массу проростков было аналогичным влиянию на их высоту, но количественно результаты отличались. Масса увеличилась во всех вариантах, кроме варианта с концентрацией 10^{-11} М (снижение на 3,5 %) (таблица 3). Повышение этого показателя наблюдалось не в четырех, как для высоты, а только в трех вариантах с дозами S439 10^{-9} , 10^{-8} и 10^{-7} М, где оно составило 7, 9,2 и 4,2 % по отношению к контролю соответственно, но во всех случаях отличия от контроля не были достоверными. Влияние S439 на массу корней не совпадало

с влиянием на их длину. Так, применение растворов с концентрациями 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М привело к ее повышению на 19,4, 22,6 и 12,9 %, и для первых двух вариантов различия с контролем были достоверными. Использование доз 10^{-11} и 10^{-7} М вызвало снижение массы корней на 3,2 и 19,3 % соответственно.

Проведенный анализ всех морфометрических показателей позволил сделать вывод, что обработка семян гречихи посевной растворами ЭК и его конъюгатов вызвала (в зависимости от дозы) эффекты с различным знаком. Значительные стимулирующие свойства проявил сам ЭК, его конъюгаты действовали слабее, хотя общая закономерность при этом сохранялась. Наименее выраженную ростстимулирующую активность показал моносалицилат ЭК. По показателям энергии прорастания и всхожести тетраасукцинат превзошел ЭК, но по влиянию на размеры и массу проростков и корней из конъюгатов максимальное положительное влияние, близкое к ЭК, оказал тетраиндолилацетат. Для дальнейших исследований влияния ЭК и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры гречихи посевной в вегетационном опыте было решено оставить три дозы: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

Вегетационный эксперимент. Результаты анализа морфометрических параметров вегетационного опыта показали, что все препараты оказали на них, как и в рулонном эксперименте, неоднозначное влияние, при этом не всегда совпадающее с результатами предыдущего эксперимента (рисунок 1). Так, раствор ЭК, вопреки ожиданиям, в концентрации 10^{-10} М с максимальной степенью достоверности уменьшил высоту проростков на 18,1 %, а их массу – на 20,4 %, но в последнем случае различие с контролем было недостоверным. В средней используемой дозе (10^{-9} М) наблюдалось более слабое подавление – на 10,2 и 9,1 % соответственно, достоверное только для высоты побегов. Только применение раствора с концентрацией 10^{-8} М приводило к значительному и достоверному увеличению обоих показателей на 15,1 и 33,4 % соответственно.



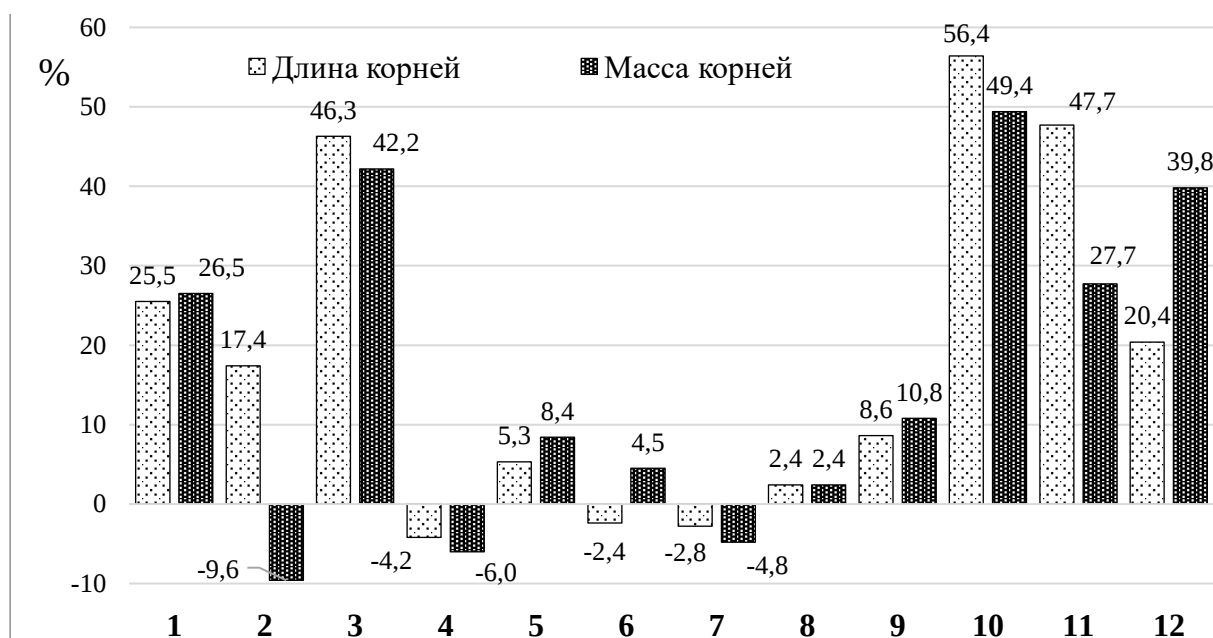
1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М, 9–2 – S439; 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 1 – Влияние ЭК и его конъюгатов на высоту и массу проростков гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

Раствор моносалицилата, как и в предыдущем эксперименте, оказал на высоту проростков незначительное влияние, достоверно повысив ее на 3,4 % только при использовании раствора с концентрацией 10^{-9} М. Масса надземной части в этом варианте увеличилась немного больше – на 5,8 %, но отличия от контроля были недостоверными. Раствор тетраиндолилацетата ЭК действовал эффективнее, оказав при дозе 10^{-8} М достоверное положительное влияние и на высоту проростков, и на их массу,

увеличив эти показатели на 4,7 и 6,7 % соответственно. В остальных вариантах достоверных отличий от контроля не наблюдалось. Раствор тетраэтиксукцината ЭК в минимальной дозе (10^{-10} М) вызвал незначительное и недостоверное повышение показателей (на 1,5 и 9,1 % соответственно). Более выраженное стимулирующее влияние оказала средняя доза (10^{-9} М), при которой наблюдалось достоверное увеличение обоих показателей на 5,9 и 16,4 % соответственно. Раствор с концентрацией 10^{-8} М, наоборот, уменьшил значение обоих показателей на 1,2 и 11,6 % соответственно; при этом разница с контролем была недостоверной.

В целом более выраженное влияние исследуемых препаратов проявилось при их действии на корневую систему. Так, растворы ЭК увеличили длину корней во всех вариантах, но наиболее значимо с $P \leq 0,01$ при дозе 10^{-8} М (на 46,3 % по отношению к контролю с водой) (рисунок 2). На близкое значение (42,2 %) с такой же достоверностью увеличилась и их масса. Раствор с минимальной концентрацией ЭК действовал примерно наполовину слабее: повышение показателей составило 25,5 и 26,5 % соответственно. Доза 10^{-9} М вызывала увеличение длины корней на 17,4 %, но уменьшение массы составило 9,6 %, и в обоих случаях разница с контролем была недостоверной.



1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М, 9–2 – S439; 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 2 – Влияние ЭК и его конъюгатов на длину и массу корней гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

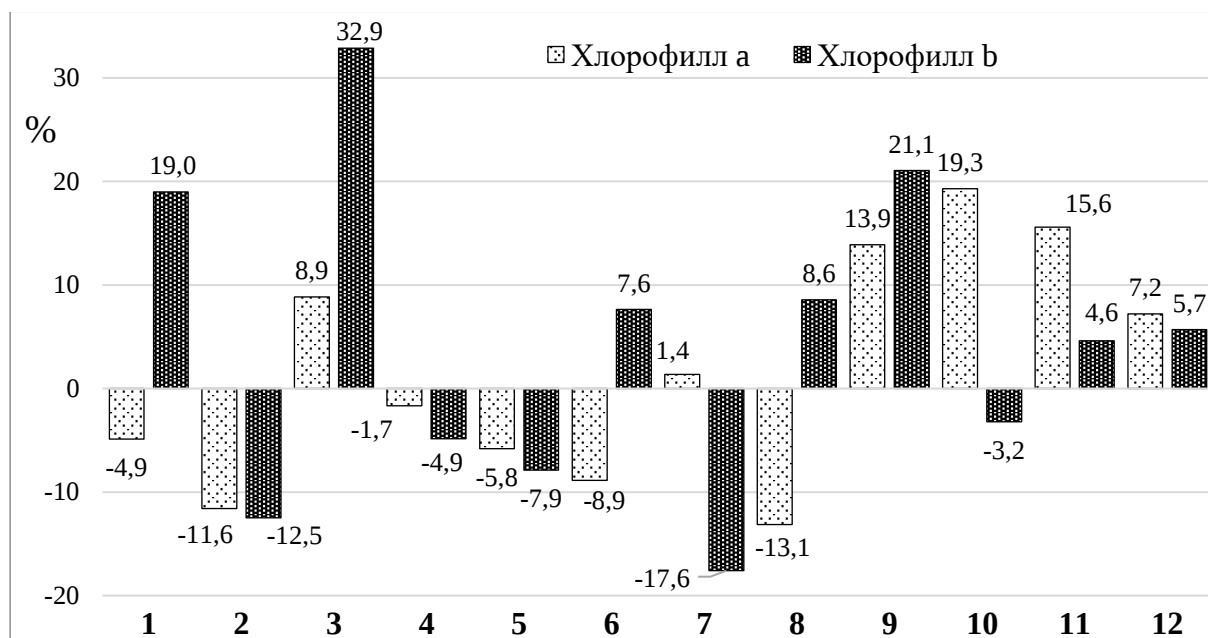
Моносалицилат ЭК достоверно значимого влияния на рост корней не оказал ни в одном из вариантов. Повышение как длины, так и массы корней на 5,3 и 8,4 % соответственно наблюдалось только при использовании раствора с концентрацией 10^{-9} М, но отличия от контроля были недостоверными. Остальные концентрации S23 вызывали незначительное уменьшение длины корней. Их массу минимальная используемая доза незначительно повышала, а максимальная, наоборот, незначительно понижала (рисунок 2).

Тетраиндолилацетат ЭК при применении раствора с концентрацией 10^{-10} М незначительно уменьшал оба показателя, в более высокой дозе 10^{-9} М – слабо увеличивал их. Только использование самой высокой дозы 10^{-8} М достоверно увеличивало длину и массу корешков на 8,6 и 10,8 % соответственно.

Раствор тетрасукцината проявил максимальное стимулирующее и достоверное действие на оба показателя в минимальной дозе 10^{-10} М, увеличив длину и массу корней на 56,4 и 49,4 % соответственно, но максимальная достоверность наблюдалась только для длины корешков. При применении средней концентрации S439 действие ослабевало и значения уменьшались до 47,4 и 27,7 % соответственно, и отличие от контроля также было достоверным только для длины корней. Раствор с концентрацией 10^{-8} М достоверно увеличивал оба показателя на 20,4 и 39,8 % соответственно (рисунок 2).

Влияние ЭК и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях гречихи посевной в вегетационном эксперименте. Так как эксперимент проводился в два этапа и на обоих для сравнения использовался ЭК, то для него были получены два набора несколько отличающихся данных, но на диаграмме они приведены только для первого эксперимента.

Содержание хлорофилла *a* в расчете на сырую массу при действии ЭК в обоих экспериментах было ниже контроля при использовании доз 10^{-10} и 10^{-9} М, но отличия от контроля все же были недостоверными (рисунок 3).



1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М; 9–2 – S439, 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 3 – Влияние ЭК и его конъюгатов на содержание хлорофилла *a* и *b* в листьях гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

Использование раствора с концентрацией 10^{-8} М приводило к увеличению этого показателя на 8,9 % в первом эксперименте и на 16,3 % во втором, и в последнем случае отклонение от контроля было достоверным.

Содержание хлорофилла *b* отличалось: в первом эксперименте оно уменьшалось на 12,5 % при дозе ЭК 10^{-9} М, хотя обычно мы наблюдали снижение содержания хлорофилла *b* при снижении содержания хлорофилла *a*. При использовании растворов с концентрациями 10^{-10} и 10^{-8} М в первом опыте этот показатель достоверно увеличился на 19 и 32,9 % соответственно.

Во втором эксперименте содержание хлорофилла *b* незначительно и недостоверно увеличивалось при повышении концентрации ЭК от 10^{-10} до 10^{-8} М на 6,2, 8,1 и 9 % соответственно.

Таким образом, в обоих экспериментах максимальное содержание хлорофилла *b* соответствовало применению максимальной дозы ЭК, когда было повышено и содержание хлорофилла *a* (рисунок 3).

Моносалицилат оказал на содержание хлорофилла *a* слабо выраженное подавляющее влияние: дозы 10^{-10} и 10^{-9} М недостоверно уменьшили этот показатель на 1,7 и 3,8 % соответственно, а доза 10^{-8} М оказала достоверное влияние, уменьшив его на 8,9 %. В последнем варианте наблюдалось и недостоверное повышение содержания хлорофилла *b* на 7,6 %, а в остальных вариантах – такое же недостоверное понижение.

Тетраиндолилацетат при применении раствора с концентрацией 10^{-9} М достоверно понижал содержание хлорофилла *a* на 13,1 %, а при 10^{-8} М – повышал на 13,9 %.

Доза ЭК 10^{-10} М на этот показатель влияния практически не оказала, одновременно снизив содержание хлорофилла *b* на 17,6 %.

Доза 10^{-8} М максимально и достоверно повысила последний показатель на 21,1 %, а доза 10^{-9} М – недостоверно увеличила его на 8,6 % (рисунок 3).

Максимальное и достоверное (с $P \leq 0,01$) повышение содержания хлорофилла *a* (на 19,3 %) наблюдалось в варианте с использованием раствора тетрасукцината в концентрации 10^{-10} М, но при этом количество хлорофилла *b* незначительно и недостоверно уменьшилось (на 3,2 %).

Средняя доза (10^{-9} М) S439 повышала содержание обоих исследуемых пигментов на 15,6 и 4,6 % соответственно, но достоверной разницы с контролем была только для хлорофилла *a*.

Максимальная доза также оказывала положительное, но более слабое и недостоверное по сравнению с контролем влияние на оба показателя (+7,2 и 5,7 % соответственно).

Влияние конъюгатов ЭК на суммарное содержание хлорофилла в большей степени коррелировало с содержанием хлорофилла *a*, т. к. он количественно преобладал.

Для ЭК подтвердилась выявленная закономерность: в обоих экспериментах максимальное содержание хлорофилла с достоверным отличием от контроля наблюдалось при использовании для замачивания семян раствора с концентрацией 10^{-8} М.

Содержание каротиноидов при использовании максимальной дозы ЭК достоверно уменьшалось на 23,6 % в первом эксперименте и на 12,2 % во втором.

Эти результаты вполне объяснимы, т. к. при увеличении количества хлорофилла потребность в каротиноидах снижается.

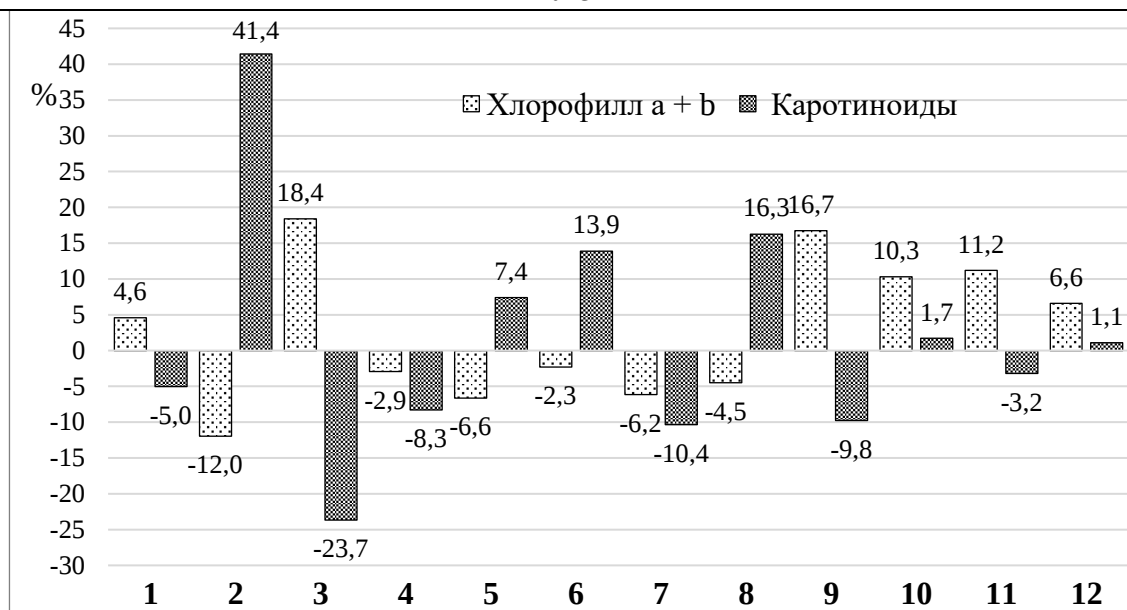
И, наоборот, при снижении содержания хлорофилла количество каротиноидов увеличивается, что четко проявилось при использовании дозы ЭК 10^{-9} М в первом эксперименте, где содержание каротиноидов достоверно увеличилось на 41,5 % при уменьшении содержания хлорофилла на 12 % (рисунок 4).

Моносалицилат недостоверно уменьшал суммарное содержание хлорофилла во всех вариантах, но количество каротиноидов увеличивалось только при использовании доз 10^{-9} и 10^{-8} М, а доза 10^{-10} М вызывала недостоверное уменьшение содержания каротиноидов на 8,1 %.

Тетраиндолилацетат ЭК оказывал влияние, сходное с действием самого брассиностероида: при применении максимальной дозы содержание хлорофилла достоверно повышалось на 16,7 %, а каротиноидов – недостоверно снижалось на 9,6 %.

Однако максимальное увеличение количества каротиноидов на 16,3 % наблюдалось в варианте с дозой S31 10^{-9} М, где содержание хлорофилла было ниже контроля всего на 4,5 %.

При применении дозы 10^{-10} М одновременно недостоверно снижалось (на 6,2 %) содержание и хлорофилла, и (на 10,4 %) каротиноидов, что не соответствует ранее описанной закономерности (рисунок 4).



1–3 – ЭК, 10^{-10} – 10^{-8} М; 4–6 – S23, 10^{-10} – 10^{-8} М; 7–9 – S31, 10^{-10} – 10^{-8} М; 9–2 – S439, 10^{-10} – 10^{-8} М

Рисунок 4 – Влияние ЭК и его конъюгатов на суммарное содержание хлорофилла в листьях гречихи посевной сорта Влада в вегетационном эксперименте, % относительно контроля

Тетрасукцинат во всех вариантах увеличил содержание зеленых пигментов, причем значения при использовании растворов в концентрациях 10^{-10} и 10^{-9} М были достаточно близки: 10,3 и 11,2 % соответственно, но достоверными были различия только в варианте с большей дозой препарата. Влияние на содержание каротиноидов достоверно от контроля не отличалось: при концентрации 10^{-10} М оно было на 1,7 % выше, а при 10^{-9} М – на 3,2 % ниже уровня контроля. При максимальной дозе (10^{-8} М) конъюгат действовал достаточно слабо, недостоверно увеличив содержание хлорофилла на 6,6 %, а каротиноидов – на 1,1 %. Результаты проведенного этапа исследований показали отсутствие четко выраженной положительной корреляции между морфометрическими показателями и содержанием фотосинтетических пигментов. В одних вариантах максимальное содержание хлорофилла совпадало с наиболее положительным влиянием на энергию прорастания, всхожесть и рост растений в начальной фазе. В других вариантах этого соответствия не наблюдалось, что, возможно, связано с тем, что при более быстром развитии растений происходит и более быстрое старение одинаковых пар листьев.

Заключение

Проведенный анализ всех морфометрических и биохимических показателей позволил прийти к следующему общему выводу: по всем исследованным показателям максимальные стимулирующие свойства проявили сам 24-эпикастастерон, его тетраиндолилацетат и тетрасукцинат, а моносалицилат действовал намного слабее, хотя определенная общая закономерность в действии конъюгатов все же наблюдалась. Результаты вегетационного эксперимента не позволили выявить одну оптимальную концентрацию для каждого препарата, т. к. по одним показателям наиболее перспективной была максимальная концентрация, а по другим – средняя. Поэтому с учетом результатов лабораторного и вегетационного экспериментов для полевого опыта были отобраны три дозы всех препаратов: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Мн. : Навука і тэхніка, 1993. – 287 с.
4. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
5. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
6. Brassinosteroids interact with auxin to promote lateral root development in *Arabidopsis* / F. Bao [et al.] // *Plant Physiology.* – 2004. – Vol. 134. – P. 1624–1631.
7. Divi, U. K. Brassinosteroid-mediated stress tolerance in *Arabidopsis* shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways / U. K. Divi, T. Rahman, P. Krishna // *BMC Plant Biology.* – 2010. – Vol. 10, nr 51.
8. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов брассиностероидов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Химия природных соединений.* – 2016. – № 3. – С. 394–398.
9. Effect of 24-Epicastasterone and Its Monosalicylate on Wheat Seedlings in Hyperthermia / R. P. Litvinovskaya [et al.] // *Applied Biochemistry and Microbiology.* – 2021. – Vol. 57, nr 6. – P. 770–777.
10. Защитное действие салицилатов брассиностероидов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // *Доклады НАН Беларуси.* – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.
11. Синтез тетрагемисукцинатов брассиностероидов и их влияние на начальный рост растений ярового ячменя / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Биоорганическая химия.* – 2022. – Т. 48, № 3. – С. 352–356.
12. Effect of 24-epibrassinolide and its conjugate with succinic acid on the resistance of rape-seed plants to chloride salinity / L.V. Kolomeichuk [et al.] // *Doklady Biological Sciences.* – 2025. – Vol. 521. – P. 111–116.
13. Коваленко, В. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2022. – № 1. – С. 22–30.
14. Артемук, Е. Г. Рострегулирующее и антистрессовое действие эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на *Trifolium pratense* L. в условиях влияния ионов свинца / Е. Г. Артемук // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2023. – № 1. – С. 5–15.
15. Тарасюк, А. Н. Протекторные свойства эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами по отношению к токсическому действию ионов свинца и кадмия на клетки корневой меристемы сельскохозяйственных культур / А. Н. Тарасюк // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2023. – № 1. – С. 60–69.
16. Государственный реестр сортов Республики Беларусь. – URL: <http://sorttest.by/gosudarstvennyu-reyestr-sortov-2023> (дата обращения: 29.11.2023).
17. Гречиha сорта Влада. – URL: <https://www.http://sorttest.by/grechiha.pdf> (дата обращения: 03.02.2021).
18. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84 ; введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
19. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.
20. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Мн., 1973. – 320 с.
21. Кароза, С. Э. Влияние тетрагемисукцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / С. Э. Кароза, А. В. Швайко // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2024. – № 2. – С. 51–66.

1. Derfling, K. N. Gormony rastenii / K. N. Derfling. – M. : Nauka, 1989. – 351 s.
2. Hayat, S. Brassinosteroids: A Class of Plant Hormones / S. Hayat, A. Ahmad. – Dordrecht : Springer, 2011. – 462 p.
3. Khripach, V. A. Brassinosteroidy / V. A. Khripach, F. A. Lakhvich, V. N. Zhabinskii. – Mn. : Navuka i tehkhnika, 1993. – 287 s.
4. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
5. Biologicheskaya aktivnost' brassinosteroidov i steroidnykh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.] ; pod obshch. red. S. E. Karozy. – Brest : BrGU, 2020. – 260 s.
6. Brassinosteroids interact with auxin to promote lateral root development in *Arabidopsis* / F. Bao [et al.] // *Plant Physiology.* – 2004. – Vol. 134. – P. 1624–1631.
7. Divi, U. K. Brassinosteroid-mediated stress tolerance in *Arabidopsis* shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways / U. K. Divi, T. Rahman, P. Krishna // *BMC Plant Biology.* – 2010. – Vol. 10, nr 51.
8. Sintez i stress-protektornoe deistvie na rasteniya konyugatov brassinosteroidov s salitsilovoi kislotoi / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // *Khimiya prirodnnykh soedinenii.* – 2016. – № 3. – S. 394–398.
9. Effect of 24-Epicastasterone and Its Monosalicylate on Wheat Seedlings in Hyperthermia / R. P. Litvinovskaya [et al.] // *Applied Biochemistry and Microbiology.* – 2021. – Vol. 57, nr 6. – P. 770–777.
10. Zashchitnoe deistvie salitsilatov brassinosteroidov na rasteniya yarovogo yachmenya, podvergnutykh bioticheskomu stressu / N. Ye. Manzhelesova [i dr.] // *Doklady NAN Belarusi.* – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.
11. Sintez tetragemisuktsinatov brassinosteroidov i ikh vliyanie na nachal'nyi rost rastenii yarovogo yachmenya / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // *Bioorganicheskaya khimiya.* – 2022. – T. 48, № 3. – S. 352–356.
12. Effect of 24-epibrassinolide and its conjugate with succinic acid on the resistance of rape-seed plants to chloride salinity / L.V. Kolomeichuk [et al.] // *Doklady Biological Sciences.* – 2025. – Vol. 521. – P. 111–116.
13. Kovalenko, V. V. Vliyanie epikastasterona i ego konyugatov na morfometricheskie i fiziologo-biokhimicheskie parametry timofeevki lugovoi (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalenko // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2022. – № 1. – S. 22–30.
14. Artemuk, Ye. G. Rostreguliruyushchee i antistressovoe deistvie epikastasterona i ego konyugatov s kislotami na *Trifolium pratense* L. v usloviyakh vliyaniya ionov svintsa / Ye. G. Artemuk // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2023. – № 1. – S. 5–15.
15. Tarasyuk, A. N. Protektornye svoistva epikastasterona i ego konyugatov s kislotami po ot-nosheniyu k toksicheskomu deistviyu ionov svintsa i kadmiya na kletki kornevoi meristemy sel'skokhozyaistvennykh kul'tur / A. N. Tarasyuk // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2023. – № 1. – S. 60–69.
16. Gosudarstvennyi reestr sortov Respubliki Belarus'. – URL: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2023> (data obrashcheniya: 29.11.2023).
17. Grechikha sorta Vlada. – URL: <https://www.http://sorttest.by/grechikha.pdf> (data obrashcheniya: 03.02.2021).
18. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti : GOST 12038-84 ; vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
19. Gavrilenko, V. F. Bol'shoi praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova ; pod red. I. P. Yermakova – M. : Akademiya, 2003. – 256 s.
20. Rokitskii, P. F. Biologicheskaya statistika / P. F. Rokitskii. – Mn., 1973. – 320 s.
21. Karoza, S. E. Vliyanie tetrasuktsinata 24-epikastasterona na morfometricheskie pokazateli i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov u grechikhi posevnoi (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / S. E. Karoza, A. V. Shvaiko // *Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli.* – 2024. – № 2. – S. 51–66.