УДК 577.13:581.14:633.2 DOI 10.63874/2218-0311-2026-1-13-22

Наталья Юрьевна Колбас[1], Алёна Владимировна Василевская[2]
[1]канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина,
ст. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института
Национальной академии наук Беларуси
[2]преподаватель каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
Natallia Kolbas[1], Aliona Vasileuskaya[2]
[1]Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University,
Senior Researcher of the Polesie Agrarian Ecological Institute
of National Academy of Sciences of Belarus
[2]Lecturer of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: [1]n.kolbas@gmail.com; [2]alyonakhovrekova@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЪЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ *Silphium Perfoliatum* L.

Изучено влияние трех брассиностероидов: 24-эпикастастерона (ЭК), 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) на всхожесть, энергию прорастания семян, а также на начальные этапы роста, содержание фотосинтетических пигментов и белка в растениях сильфии пронзённолистной (Silphium perfoliatum) сорта Первый Белорусский. Установлено, что обработка семян 10^{-10} М растворами ЭК и S31 повышает лабораторную всхожесть (до 78,7 %), снижает число слабых и непроросших, стимулирует рост корневой системы и увеличивает массу проростков. Предпосевное замачивание семян сильфии в 10^{-10} М S23 способствует накоплению фотосинтетических пигментов (до 27 %), а в 10^{-10} М S31 – повышает содержание белка (на 13,0 %).

Ключевые слова: *24-эпикастастерон, всхожесть, конъюгаты 24-эпикастастерона с кислотами, каротиноиды, росторегулирующая активность, сильфия пронзеннолистная, содержание белка, хлорофилл, энергия прорастания.*

The Effect of Epicasterone and its Conjugates with Acids Morphometric and Physiological-biochemical Parameters of Silphium Perfoliatum L.

The effect of three brassinosteroids, 24-epicastasterone (EC), 2-monosalicylate of 24-epicastasterone (S23), and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone (S31), on seed germination, germination energy, as well as on the initial stages of growth, the content of photosynthetic pigments and protein in Silphium perfoliatum plants of the Pervy Belorussky variety was studied. It was found that seed treatment with 10^{-10} M solutions of EC and S31 increased laboratory germination (up to 78,7 %), reduced the number of weak and non-germinated seeds, stimulated root growth, and increased seedling weight. Pre-sowing soaking of silphium seeds in 10^{-10} M S23 promotes the accumulation of photosynthetic pigments (up to 27 %), and in 10^{-10} M S31 increases the protein content (13,0 %).

Key words: *24-epicastasterone, germination, 24-epicastasterone conjugates with acids, carotenoids, growth-regulating activity, Silphium perfoliatum, protein content, chlorophyll, germination energy.*

Введение

Род *Silphium* относится к семейству Астровые (*Asteraceae* Bercht. & J. Presl), или Сложноцветные (*Compositeae* Giseke), и включает более 30 видов, представленных травянистыми формами. Среди них сильфия пронзённолистная (*Silphium perfoliatum* L.) – относительно новая для Республики Беларусь кормовая многолетняя культура, обладающая высокой хозяйственной ценностью. В настоящее время в Брестской области пло-

щади, занятые под выращивание сильфии, занимают более 40 га в хозяйствах Малоритского, Каменецкого, Пинского, Ивановского, Дрогичинского, Жабинковского районов [1].

Сильфия характеризуется высокой экологической пластичностью и долголетием (до 15 и более лет произрастания на одном месте), является одной из самых урожайных кормовых культур по биомассе. Так, в зонах с выпадением осадков до 500 мм сильфия способна давать урожай зеленой массы и более 1500–1600 ц/га [1; 2].

Отличительной особенностью этой культуры является достаточно высокое содержание в зеленой массе протеина. По данным В. А. Емелина [2], зеленая масса сильфии пронзённолистной имеет следующие показатели химического состава: содержание общей влаги – 87,11 %, сырого протеина – 2,03 %, сырой золы – 1,7 %, сырой клетчатки – 3,0 %, сырого жира – 0,4 %. В 1 кг корма каротина – 23,57 мг, кормовых единиц – 0,12, обменной энергии – 1,41 МДж. Полученные данные этого же образца, но в пересчете на сухое вещество составили: сырого протеина – 15,6 %, сырой золы – 13,08 %, сырой клетчатки – 23,1 %, сырого жира – 3,1 %. В 1 кг корма каротина – 181,3 мг, кормовых единиц – 0,96, обменной энергии – 10,86 МДж. Сухое вещество сильфии пронзённолистной содержит оптимальное количество сырого протеина (15,6 %) и сырого жира (3,1 %). Содержание сырой клетчатки составляет 23,1 %. В зеленой массе сильфии обнаружено в свободном состоянии 17 аминокислот: цистин, лизин, гистидин, аргинин, глицин, серин, аспарагиновая кислота, глютаминовая кислота, треонин, аланин, пролин, тирозин, метионин, валин, фенилаланин, лейцин, триптофан. Стоит отметить, что в 100 г протеина содержится 48,8 % незаменимых аминокислот и 51,2 % заменимых [3].

Сильфия пронзённолистная размножается семенами, рассадой и отрезками корневищ. При этом посев семенами имеет свои особенности, т. к. значительная их часть после созревания сразу не всхожи из-за состояния глубокого покоя, причины которого пока еще не изучены. При холодной стратификации всхожесть семян уже в течение месяца увеличивается вдвое. Семена имеют не только плохую всхожесть, но и растянутый период прорастания. Всходы растут медленно, и заметный прирост наступает во второй половине вегетации [1–3].

Таким образом, для большей эффективности выращивания сильфии необходимо изучить способы повышения всхожести семян и снижения сроков их прорастания, а также приемы увеличения скорости роста растений на начальных этапах вегетации. Одним из мероприятий, решающих вышеописанные задачи, является использование стимуляторов роста и развития растений.

Брассиностероиды (БС) – уникальные растительные стероидные гормоны, имеющие структурное сходство с животными стероидами. Результаты опубликованных исследований свидетельствуют о положительном эффекте этих фитогормонов при предпосевной обработке (замачивании) семян на их всхожесть и энергию прорастания [6].

Ранее были получены результаты оценки действия натурального брассинолида на всхожесть и срок прорастания семян пяти кормовых культур, в том числе, сильфии пронзённолистной: после обработки семян раствором натурального брассинолида в концентрации 0,4 мг/л всхожесть семян увеличилась на 26,7 %, а средняя продолжительность прорастания семян сократилась на 1,2 дня, также отмечается удлинение корешка и гипокотиля [7].

Однако выделение натурального брассинолида является очень сложным технологическим процессом, поэтому целью нашего исследования является изучение влияния структурного аналога – 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами – на морфометрические и физиолого-биохимические параметры *S. perfoliatum* сорта Первый Белорусский.

Материалы и методы

Первый этап лабораторного эксперимента по оценке влияния ЭК и его конъюгатов с кислотами на основные показатели, характеризующие начальные этапы роста и развития сельскохозяйственных культур, проводился по стандартной методике проращивания в соответствии с ГОСТом 12038–84) [4]. Семена сильфии замачивали 5 ч в растворах трех брассиностероидов: ЭК, 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) в широком спектре концентраций (от 10^{-7} до 10^{-11} моль/л). В качестве контроля использовалась дистиллированная вода. Определяли энергию прорастания, всхожесть, высоту проростков, длину корней, а также массу этих органов. Для сильфии пронзённолистной, учитывая весь пул данных о длине корня и побега, сильными считали проростки с длиной корня и длиной побега более 20 мм. В структуре сильных проростков выделили проростки с баллами 3, 4 и 5 (таблица 1).

Таблица 1 – Критерии оценки длины сильных проростков сильфии пронзённолистной, мм [5]

Балл 3		Балл 4		Балл 5	
корень	побег	корень	побег	корень	побег
20–40	20–40	41–70	41–50	более 70	более 50

Все опыты выполнены в четырехкратной повторности.

Второй блок исследований посвящен влиянию ЭК и его конъюгатов с кислотами на всхожесть, морфометрические (длина и масса корня и побега) и физиолого-биохимические (содержание фотосинтетических пигментов и белка) параметры растений сильфии, выращенных в контролируемых условиях. В вегетационном опыте для предпосевной обработки семян была использована наиболее эффективная концентрация ЭК, его конъюгатов (S23 и S31) – 10^{-10} М. Растения выращивали в пластиковых контейнерах объемом 0,81 л на универсальном почвогрунте («Хозяин», Карио, Республика Беларусь; азот общий – 5795 мг/кг, калий общий – 3223 мг/кг, фосфор общий – 1838 мг/кг, Cu – 6,15 мкг/кг, Zn – 24 мкг/кг) в лабораторных условиях при постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещали ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений.

Экстракцию фотосинтетических пигментов проводили с использованием 100 %-ного ацетона. Содержание определяли спектрофотометрически (МС 122, СООО «Проскан специальные инструменты», Республика Беларусь), согласно методике [8] при λ = 662, 644 и 440,5 нм. Содержание хлорофиллов *a, b* и каротиноидов выражали в пересчете на грамм сырой массы согласно формуле: $A = V \cdot C / 1000 \cdot P$, где C – концентрация пигментов по Wettstein [8], мг/л; V – объем вытяжки, мл; P – навеска растительного материала, г.

Белки из растительного материала экстрагировали фосфатным буферным раствором (pH = 8). Содержание белка определяли спектрофотометрически по методу Лоури с реактивом Фолина при длине волны 750 нм [9].

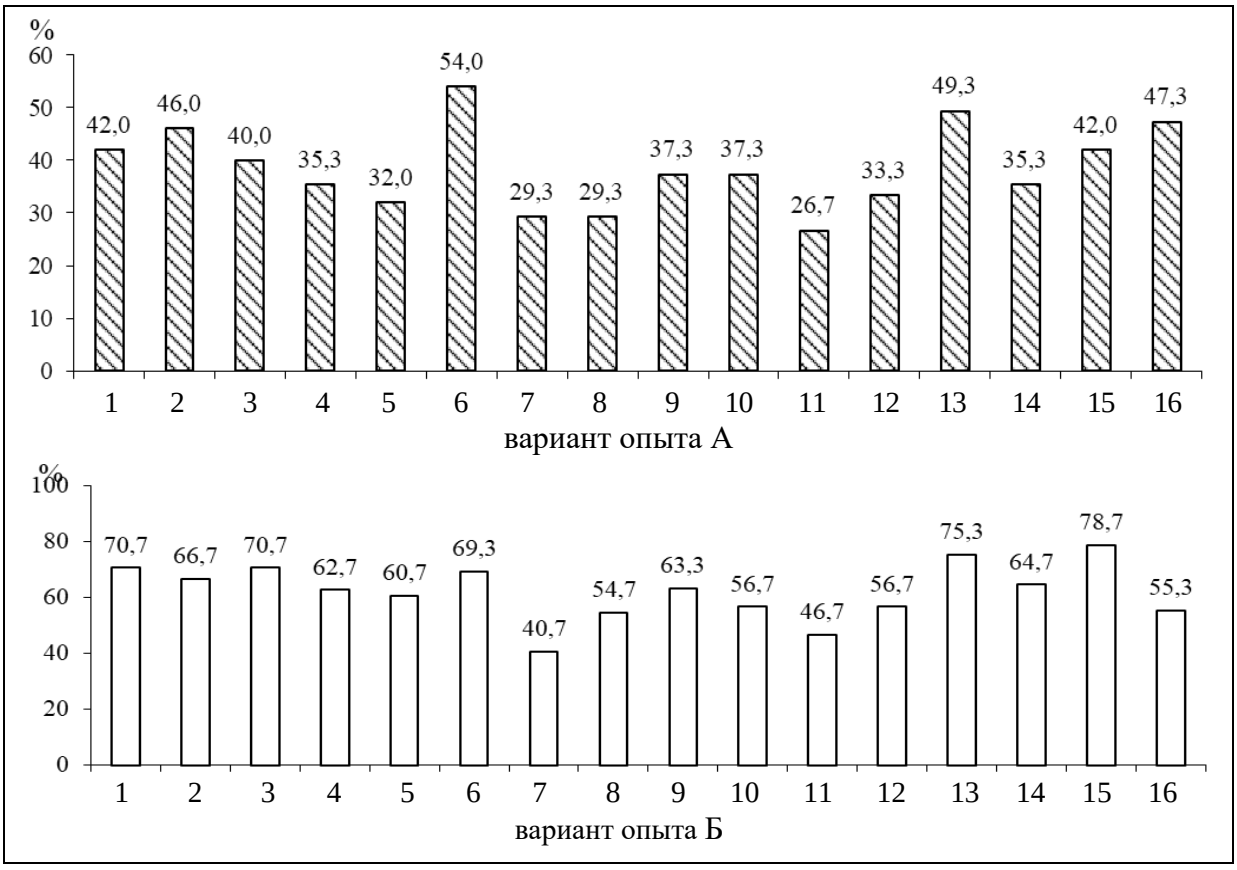
Все опыты выполнены в трехкратной повторности. Статистический анализ был проведен с использованием программы Microsoft Excel и t-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Энергия прорастания семенами сильфии пронзённолистной в контроле лабораторного эксперимента составила 42 %, при обработке ЭК варьировала от 32 до 54 %, при обработке S23 – от 26,7 до 37,3 %, при обработке S31 – от 33,3 до 49,3 %. Наилучший эффект выявлен при обработке ЭК в концентрации 10^{-7} М (рисунок 1-А).

Лабораторная всхожесть в контроле составила 70,7 %, при обработке ЭК варьировала от 60,7 до 70,7 %. При обработке S23 значение параметра было значительно ниже

и варьировало от 40,7 до 63,3 %. При обработке S31 значение параметра было выше и колебалось от 55,3 до 78,7 %. Наилучший эффект выявлен при обработке S31 в концентрациях 10^{-10} М и 10^{-8} М (рисунок 1-Б).



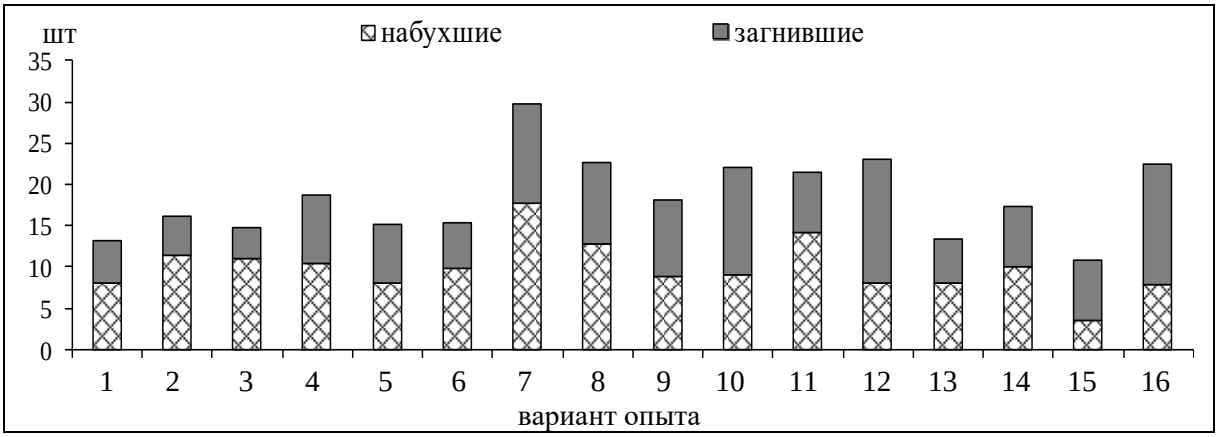
1 – контроль, 2–6 – ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М,
7–11 – S23 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 12–16 – S31 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М

Рисунок 1 – Энергия прорастания (А) и лабораторная всхожесть (Б) семян сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский при обработке брассиностероидами

На 10-е сутки число загнивших семян варьировало от 2 до 10 шт. При обработке 10^{-10} М и 10^{-7} М растворами ЭК и 10^{-11} М и 10^{-7} М S31 их количество достоверно снижалось по сравнению с контролем. Согласно ГОСТу 12038–84 [4] после снятия параметров загнившие семена из чашек Петри удаляли.

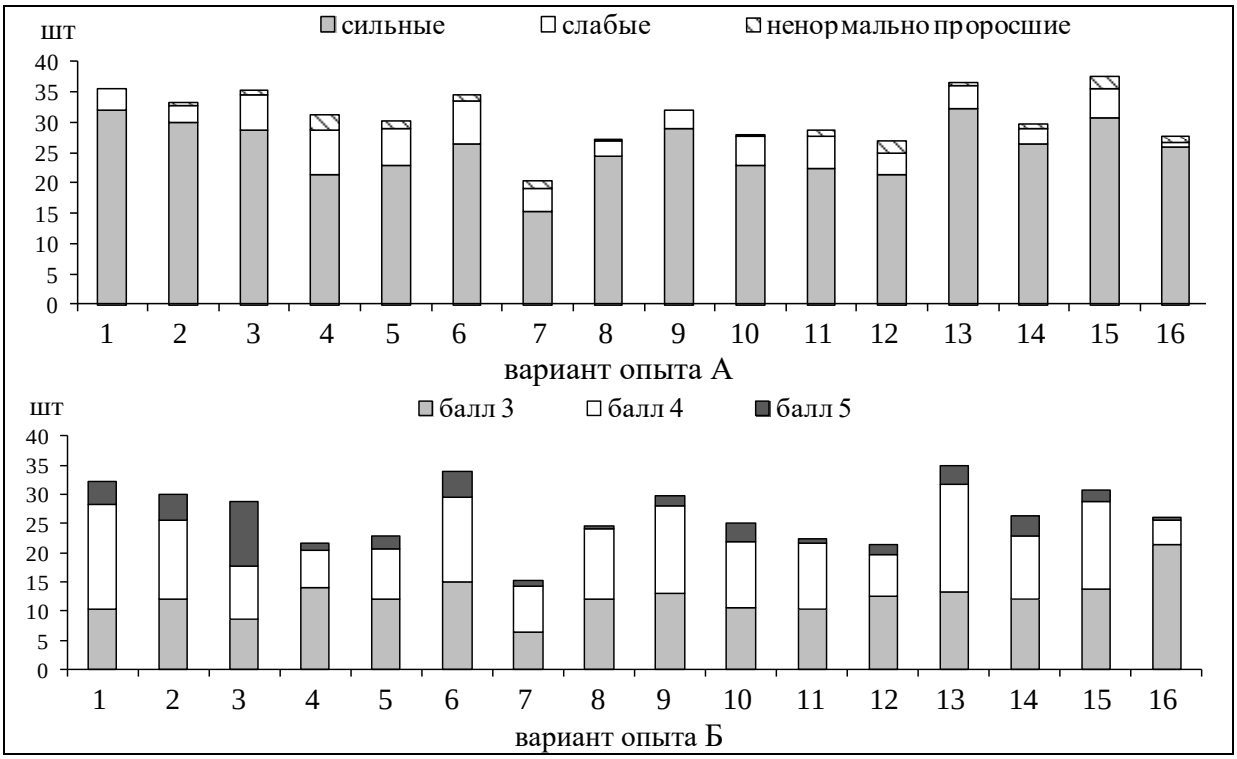
На 21-е сутки в контроле было пять загнивших семян, при обработке БС – от четырех до 15 штук (рисунок 2), при этом количество загнивших семян достоверно снижалось только при обработке 10^{-10} М и 10^{-11} М раствором ЭК.

Количественная структура проростков в контроле включала: 32 штуки – сильные, четыре штуки – слабые, ненормально проросшие отсутствовали. Число слабых проростков снижалось при обработке 10^{-11} и 10^{-7} М раствором ЭК и 10^{-10} М S31 (рисунок 3-А). В структуре сильных больше всего было проростков с баллом 3. Обработка БС не повышает количество проростков с баллом 4, при этом число проростков с баллом 5 увеличивается при обработке 10^{-10} и 10^{-7} М растворами ЭК (рисунок 3-Б).



1 – контроль, 2–6 – ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М,
7–11 – S23 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 12–16 – S31 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М

Рисунок 2 – Структура непроросших семян сильфии пронзённолистной



1 – контроль, 2–6 – ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 7–11 – S23 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 12–16 – S31 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М

Рисунок 3 – Количественная структура проростков сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский при обработке брассиностероидами

При обработке ЭК средняя длина корней проростков варьировала от 45,14 до 79,01 мм, при обработке S23 – от 44,23 до 52,28 мм, S31 – от 45,08 до 61,81 мм (таблица 2). По сравнению с контролем параметр повышался при использовании ЭК (на 40,44 %) и S31 (на 9,87 %) в концентрациях 10^{-10} М.Средняя длина побегов проростков сильфии при обработке ЭК варьировала от 42,84 до 48,93 мм, при обработке S23 – от 46,32 до 49,34 мм, при обработке S31 – от 33,5 до 52,41 мм.

По сравнению с контролем параметр незначительно повышался при обработке S31 в концентрации 10^{-10} М (на 12,34 %) и достоверно снижался (на 28,8 %) при обработке этим же производным, но в концентрации 10^{-7} М (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры начальных этапов роста сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский

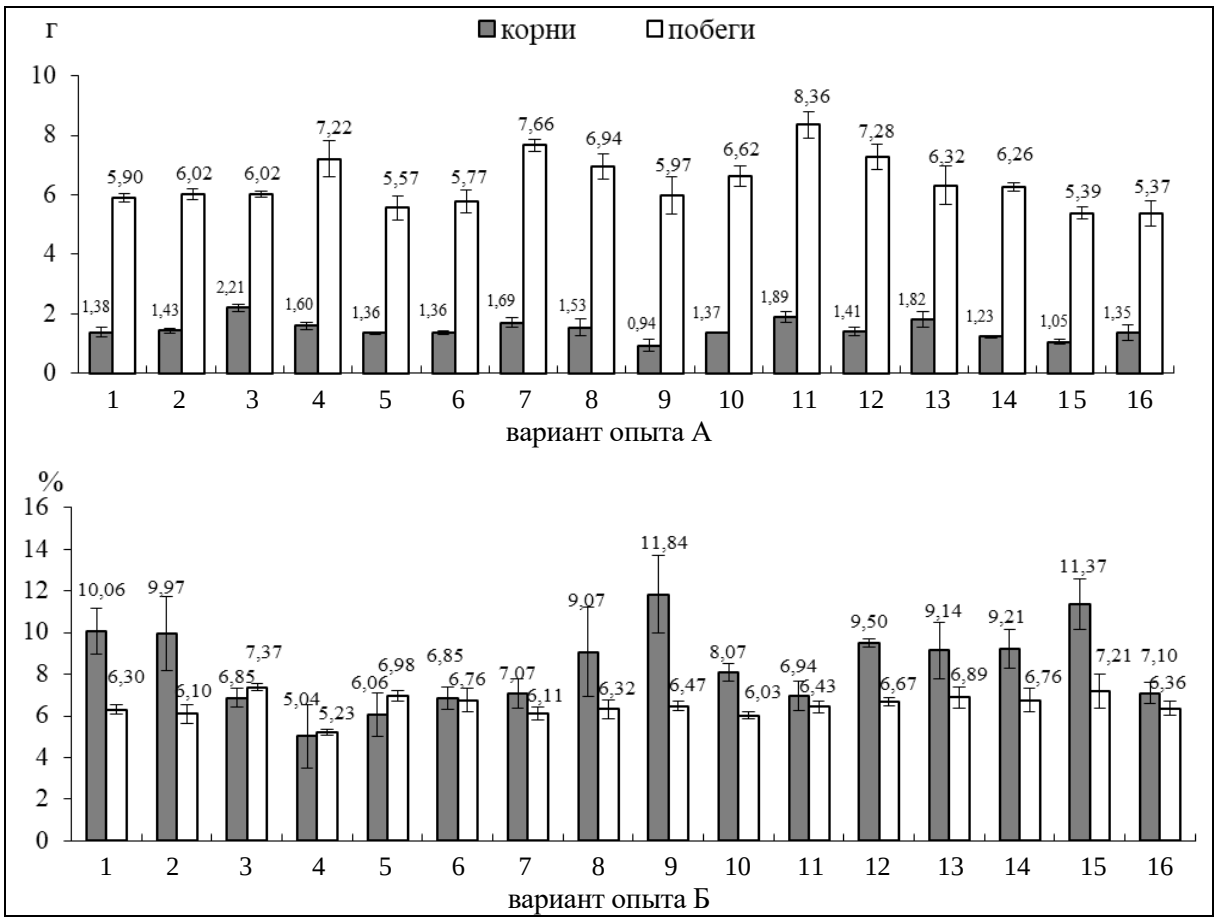
Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	56,26 ± 2,23	–	46,66 ± 0,94	100
Эпикастастерон				
10^{-11} М	55,46 ± 2,55	98,57	47,11 ± 1,27	100,97
10^{-10} М	79,01 ± 3,22**	140,44	48,93 ± 1,94	104,87
10^{-9} М	45,14 ± 2,49	80,24	47,88 ± 1,29	102,61
10^{-8} М	48,33 ± 2,22	85,91	47,19 ± 1,24	101,2
10^{-7} М	55,7 ± 4,04	99,01	42,84 ± 1,44	91,82
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
10^{-11} М	52,28 ± 2,37	92,93	46,32 ± 1,01	96,59
10^{-10} М	44,23 ± 2,08	78,62	49,34 ± 1,09	99,27
10^{-9} М	47,84 ± 1,98	85,03	47,19 ± 1,24	105,76
10^{-8} М	49,17 ± 2,02	87,4	47,22 ± 1,21	101,20
10^{-7} М	46,37 ± 1,99	82,43	48,90 ± 1,02	104,80
тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
10^{-11} М	53,36 ± 2,42	94,84	40,27 ± 1,45	86,3
10^{-10} М	61,81 ± 1,98	109,87	52,41 ± 1,2	112,34
10^{-9} М	49,81 ± 2,52	88,53	48,67 ± 1,08	104,32
10^{-8} М	55,75 ± 2,16	99,09	42,41 ± 1,26	90,91
10^{-7} М	45,08 ± 1,95	80,12	33,50 ± 1,18**	71,8

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

В контроле средняя масса корней в пересчете на 50 проростков составила 1,38 г, содержание сухого вещества – 10,06 %. При обработке ЭК средняя масса корней варьировала от 1,36 до 2,2 г, содержание сухого вещества – от 5,04 до 9,97 %, при обработке S23 – соответственно от 0,94 до 1,89 г и от 6,94 до 11,84 %, при обработке S31 – соответственно от 1,05 до 1,82 г и от 7,1 до 11,37 % (рисунок 4). Достоверное отличие массы корней при обработке фитогормонами относительно контроля не выявлено. Содержание сухого вещества в корнях проростков сильфии может быть повышено при обработке 10^{-9} М S23 (на 17,65 % при уровне значимости $P \leq 0,01$) и 10^{-8} М S31 (на 13,02 %, при $P \leq 0,05$).

Средняя масса побегов 50 контрольных растений составила 5,9 г, содержание сухого вещества – 6,3 %. При обработке ЭК средняя масса побегов варьировала от 5,57 до 7,22 г, содержание сухого вещества – от 5,23 до 7,37 %, при обработке S23 – соответственно от 5,97 до 8,36 г и от 6,03 до 6,47 %, при обработке S31 – соответственно от 5,37 до 7,28 г и от 6,36 до 7,21 % (рисунок 4).

Масса побегов повышается при обра ботке 10^{-9} М ЭК (22,4 %, при этом содержание сухого вещества снижается на 17 %, вероятно, идет накопление воды), растворами S23 (кроме 10^{-9} М) и 10^{-11} М S31. Масса корней проростков сильфии увеличивается при обработке 10^{-10} М ЭК (59 %, при этом содержание сухого вещества снижается на 32 %, вероятно, идет накопление воды) и 10^{-11} М S23 (36 %). Достоверное повышение содержания сухого вещества в корнях относительно контроля при обработке фитогормонами не выявлено, а в побегах – при использовании 10^{-10} М ЭК (17,0 %) и 10^{-8} М ЭК (10,8 %).



1 – контроль, 2–6 – ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 7–11 – S23 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М, 12–16 – S31 в концентрациях 10^{-11} – 10^{-7} М

Рисунок 4 – Масса (А) и содержание сухого вещества (Б) корней и побегов проростков сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский при обработке брассиностероидами

В вегетационном опыте всхожесть растений сильфии в контроле составила 50,1 %, при замачивании в растворе ЭК – 62,5 %, в растворе S23 – 45 %, в растворе S31 – 67,5 %. Наилучший эффект выявлен при обработке семян сильфии раствором S31 и ЭК.

Длина корня контрольных растений в среднем составила 28,1 мм, а при обработке ЭК и его производными варьировала от 24,0 до 32,1 мм, отличия от контроля не были статистически достоверны. Однако выявлена тенденция селективного действия тестируемых веществ на рост корня сильфии: при обработке 10^{-10} М раствором S23 происходит незначительное стимулирование роста корня (на 13,9 %), при действии 10^{-10} М раствора S31 – ингибирование на 14,6 % (таблица 3).

лина стебля контрольных растений в среднем составила 57,5 мм, при обработке ЭК и его производными варьировала от 55,0 до 58,8 мм, отличия от контроля не были статистически достоверны.

Выявлено достоверное повышение (при $P \leq 0{,}01$) массы сырых корней при обработке ЭК и S31 (соответственно на 297,6 % и 361,3 % относительно контроля). Аналогичная тенденция отмечена для массы побега (таблица 3).

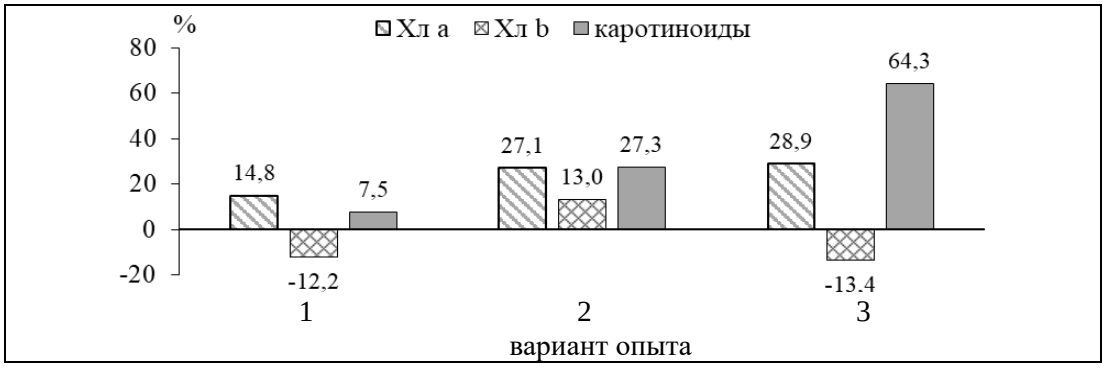
Таблица 3 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский (вегетационный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	значение	% к контролю	значение	% к контролю
длина, мм				
Контроль	28,1 ± 3,16	100	57,5 ± 1,91	100
ЭК$^{-10}$ М	28,9 ± 3,37	102,6	57,2 ± 2,52	99,6
S23^{-10} М	32,1 ± 2,56	113,9	58,8 ± 3,7	102,2
S31^{-10} М	24,0 ± 1,95	85,4	55,0 ± 3,2	95,6
масса, г				
Контроль	0,28 ± 0,05	100	2,06 ± 0,19	100
ЭК$^{-10}$ М	1,31 ± 0,084***	461,3	9,64 ± 0,35***	467,7
S23^{-10} М	0,32 ± 0,03	112,5	2,18 ± 0,25	105,5
S31^{-10} М	1,13 ± 0,09***	397,6	9,77 ± 0,6***	473,7

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

Содержание хлорофилла *a* в контроле было 2,68 мг/г и при обработке фитогормонами повышалось на 14,8 – 28,9 % (рисунок 5), содержание хлорофилла *b* в контроле было 0,43 мг/г, при обработке S23 повышалось на 13,0 %, а при действии ЭК и S31 – снижалось, соответственно, на 12,2 и 13,4 %.

Отметим, что стимулирующее действие изученных брассиностероидов по отношению к содержанию фотосинтетических пигментов сильфии снижается в последовательности S23 > S31 > ЭК (рисунок 5).



1 – ЭК в концентрации 10^{-10} М, 2 – S23 в концентрации 10^{-10} М, 3 – S31 в концентрации 10^{-10} М

Рисунок 5 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание основных фотосинтетических пигментов сильфии пронзённолистной, % относительно контроля

Наиболее отзывчивым на обработку БС было содержание каротиноидов, которое варьировало от 0,14 мг/г в контроле до 0,24 при действии S31.

Содержание белка в контрольных растениях составило 8,13 мг/г, при обработке брассиностероидами варьировало от 6,93 до 9,17 мг/г (таблица 4).

Различия между контролем и опытными образцами не было достоверным. Отмечена следующая тенденция изменения параметра при обработке изученными брассиностероидами: незначительное повышение при обработке 10^{-10} М конъюгатами (на 7,34 и 12,85 %) и снижение на 14,75 % при обработке 10^{-10} М ЭК (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание белка в надземных частях сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский (вегетационный опыт)

Вариант опыта	Содержание белка	
	мг/г сырой массы	% к контролю
Контроль	8,13 ± 0,74	100
ЭК$^{-10}$ М	6,93 ± 0,41	85,25
S23^{-10} М	8,73 ± 0,52	107,34
S31^{-10} М	9,17 ± 0,56	112,85

Анализ данных показал, что увеличение массы растений сильфии при обработке 10^{-10} М ЭК происходило не за счет синтеза белков, а за счет других веществ, и в первую очередь углеводов, асимиляция которых обеспечивалась повышеннием содержания фотосинтетических пигментов. В случае с обработкой 10^{-10} М S31 увеличение массы растений, вероятно, происходило за счет синтеза белков.

Заключение

Для улучшения посевных качеств семян (энергия прорастания, всхожесть, снижение слабых и ненормально проросших) сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский рекомендуем использовать предпосевную обработку 10^{-10} М раствором ЭК или 10^{-10} М раствором S31 (тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона). Обработка 10^{-10} М ЭК повышает длину корня проростка (в среднем на 40 %), содержание сухого вещества в побегах проростков сильфии (в среднем на 17 %), а также массу корней (в 4,6 раза) и побегов (4,7 раза) на ранних этапах вегетации.

В растениях сильфии пронзённолистной на ранних этапах вегетации может быть повышено до 27 % содержание фотосинтетических пигментов при предпосевном замачивании семян в 10^{-10} М растворе брассиностероида S23 и на 13,0 % белка при использовании 10^{-10} М S31.

Авторы выражают благодарность академику, доктору биологических наук, профессору Владимиру Александровичу Хрипачу и доктору биологических наук, профессору Раисе Павловне Литвиновской за предоставленные препараты брассиностероидов, а также кандидату сельскохозяйственных наук Марине Александровне Пастуховой за оригинальные семена сильфии пронзённолистной сорта Первый Белорусский.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шелюто, Б. В. Рост и развитие сильфии пронзённолистной в зависимости от почвенных разновидностей в условиях Брестской области / Б. В. Шелюто, М. А. Пастухова // Мелиорация. – 2019. – № 1 (87). – С. 38–42.

2. Емелин, В. А. Сильфия пронзённолистная: хозяйственная ценность, биология и технология возделывания / В. А. Емелин. – Витебск : ВГАВМ, 2011. – 36 с.

3. Пастухова, М. А. Возделывание сильфии пронзённолистной под покровом сельскохозяйственных культур / М. А. Пастухова, Б. В. Шелюто // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 83–88.

4. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Межгосударственный стандарт : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.

5. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В. И. Карпин [и др.]. – М. : МСХА, 2012. – 16 с.

6. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.]. – Брест : Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушикна, 2019. – 261 с.

7. Li, K. R. Effects of natural brassinolide on germination radicle and hypocotyls elongation of five herbage seeds / K. R. Li, P. Wang J., X. X. He // Agricultural Research in the Arid Areas. – 2008. – Nr 1. – P. 221–225.

8. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // Хлорофилл : сб. науч. ст. под ред. А. А. Шлыка. – Мн. : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.

9. Скоупс, Р. Методы очистки белков / Р. Скоупс. – М. : Мир, 1985. – 358 с.

REFERENCES

1. Sheliuto, B. V. Rost i razvitie sil’fii pronzennolistnoi v zavisimosti ot pochvennykh raznovidnostei v usloviyakh Brestskoi oblasti / B. V. Sheliuto, M. A. Pastukhova // Melioratsiya. – 2019. – № 1 (87). – S. 38–42.

2. Yemelin, V. A. Sil’fiya pronzennolistnaya: khoziaistvennaya tsennost’, biologiya i tekhnologiya vozdelyvaniya / V. A. Yemelin. – Vitebsk : VGAVM, 2011. – 36 s.

3. Pastukhova, M. A. Vozdelyvanie sil’fii pronzennolistnoi pod pokrovom sel’skohoziaistvennykh kul’tur / M. A. Pastukhova, B. V. Sheliuto // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel’skokhoziaistvennoi akademii. – 2019. – № 2. – S. 83–88.

4. Semena sel’skohoziaistvennykh kul’tur. Metody opredeleniya vskhozhesti : GOST 12038–84. – Vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.

5. Metodika opredeleniya sily rosta semian kormovykh kul’tur / V. I. Karpin [i dr.]. – M. : MSKhA, 2012. – 16 s.

6. Biologicheskaya aktivnost’ brassinosteroidov i steroidnykh glikozidov / S. Ye. Karoza [i dr.]. – Brest : Brest. gos. un-t im. A. S. Pushikna, 2019. – 261 s.

7. Li, K. R. Effects of natural brassinolide on germination radicle and hypocotyls elongation of five herbage seeds / K. R. Li, P. Wang J., X. X. He // Agricultural Research in the Arid Areas. – 2008. – Nr 1. – P. 221–225.

8. Shul’gin, I. A. Raschet soderzhaniya pigmentov s pomoshch’yu nomogram / I. A. Shul’gin, A. A. Nichiporovich // Khlorofill : sb. nauch. st. pod red. A. A. Shlyka. – Mn. : Nauka i tekhnika, 1974. – S. 121–136.

9. Skoups, R. Metody ochistki belkov / R. Skoups. – M. : Mir, 1985. – 358 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.04.2026