

ПОИСК ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СРЕДИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ХИНОЛИНОВОГО РЯДА

© 2024 г. Т. В. Вострикова¹, кандидат биологических наук, Х. С. Шихалиев², доктор химических наук, С. М. Медведева², кандидат химических наук, Н. В. Столповская², кандидат химических наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова,
396030, Воронежская обл., Рамонский район, пос. ВНИИСС, 86
E-mail: tanyavostric@rambler.ru

²Воронежский государственный университет,
394018, Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: shikh1961@yandex.ru

В производство внедряют различные химические вещества, стимулирующие и ускоряющие развитие растений. Потому актуален поиск физиологически активных соединений (ФАС) и их эффективных концентраций. Цель исследований – изучение действия 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-тетрагидрохинолина, 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина и их производных на рост рододендрона желтого (*Rhododendron luteum Sweet*) и сахарной свеклы (*Beta vulgaris L.*) для расширения спектра применения этих соединений. Работу выполняли в 2018 г. и в 2021 г. в Воронежской области. Исследуемые ФАС разделяли на тетрагидрохинолины – 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-тетрагидрохинолин (ФАС 1 и его производное (ФАС 3) и дигидрохинолины – 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин (ФАС 2) и его производные (ФАС 4 и ФАС 5). Каждое соединение испытывали на рододендроне желтом в концентрациях 0,01, 0,05, 0,10 %. Семена сахарной свеклы обрабатывали 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолином в этих же концентрациях. Для *Rh. luteum* более эффективными были дигидрохинолины и в меньшей степени – тетрагидрохинолины. Увеличение высоты проростков *Rh. luteum* относительно контроля после обработки семян ФАС в разных концентрациях составило 18,2...54,5 %, высоты сеянцев – 3,0...61,2 %. Это свидетельствует о долговременном сохранении стимулирующего эффекта синтезированных органических веществ на рост рододендрона желтого. Во всех вариантах концентраций водных растворов 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина отмечена стимуляция ростовых показателей сахарной свеклы после предпосевной обработки недражированных семян: длина листовая пластинки увеличивалась, по сравнению с контролем, на 5,5...11,7 %, ширина листовая пластинки – на 6,5...16,3 %, число листьев – на 7,7...20,5 %, длина листового черешка – на 14,8...20,3 %, выживаемость растений – на 7,5...11,5 %.

SEARCH FOR PHYSIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS AMONG SYNTHESISED ORGANIC SUBSTANCES OF THE QUINOLINE SERIES

T. V. Vostrikova¹, Kh. S. Shikhaliyev², S. M. Medvedeva², N. V. Stolpovskaya²

¹Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
396030, Voronezhskaya obl., Ramonskii r-n, pos. VNISS, 86
E-mail: tanyavostric@rambler.ru

²Voronezh State University,
394018, Voronezh, Universitetskaya pl., 1
E-mail: shikh1961@yandex.ru

Various chemicals, growth regulators, stimulating and accelerating the development of plants are introduced into production. Therefore, the search for physiologically active compounds (FAS) and their effective concentrations is relevant. The aim of the work is to study the effect of 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-tetrahydroquinoline, 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline and its derivatives on the growth of yellow rhododendron (*Rhododendron luteum Sweet*) and sugar beet (*Beta vulgaris L.*) to expand the range of application of compounds. The work was carried out in 2018 and in 2021 in the Voronezh region. The studied FAS were divided into tetrahydroquinolines: 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-tetrahydroquinoline (FAS 1), its derivative FAS 3; dihydroquinolines: 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline (FAS 2) and its derivatives FAS 4 and FAS 5. Each compound was tested on rhododendron yellow in concentrations of 0.01, 0.05, 0.10 %. Sugar beet seeds were treated with 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline at the same concentrations. For *Rh. luteum* dihydroquinolines are more effective and, to a lesser extent, tetrahydroquinolines. The increase in the height of *Rh. luteum* seedlings relative to the control after FAS seed treatment in different concentrations was 18.2...54.5 %, and the height of seedlings was 3.0...61.2 % relative to the control. This fact indicates the long-term preservation of the stimulating effect of synthesized organic substances on the growth of yellow rhododendron. In all variants of concentrations of aqueous solutions of 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline, stimulation of sugar beet growth indicators after pre-sowing treatment of undrafted seeds was noted: the length of the leaf blade increased by 5.5...11.7 %, the width of the leaf blade – by 6.5...16.3 %, the number of leaves – by 7.7...20.5 %, the length of the leaf blade petiole – by 14.8...20.3 %, plant survival – by 7.5...11.5 %, relative to the control.

Ключевые слова: стимуляторы, ростовые показатели, синтезированные органические соединения, рододендрон желтый (*Rhododendron luteum Sweet*), сахарная свекла (*Beta vulgaris L.*)

Keywords: stimulants, growth traits, synthesized organic compounds, yellow rhododendron (*Rhododendron luteum Sweet*), sugar beet (*Beta vulgaris L.*)

Проявление адаптивного потенциала растений выражается в изменении их ростовой активности, роста и развития. В последние годы в производстве активно

используют различные химические вещества, стимулирующие и ускоряющие развитие растений. В связи с этим актуальны работы в направлении поиска физио-

логически активных соединений (ФАС) и выбора их эффективных концентраций.

Кроме того, важным для изучения вопросом остается долговременность воздействия ФАС и сохранение его эффекта на более поздних стадиях развития растений. Это касается поиска веществ для повышения устойчивости, увеличения адаптивного потенциала и защиты растений от абиотических и биотических стрессоров [1, 2]. Различные проявления биологической активности такими синтезированными химическими веществами, как 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин, его производные и их гидрированные аналоги [3], а также соединениями ряда 1-алкил-2,2,4-триметил-6-аминокарботиоил-1,2-дигидрохинолина в диапазоне концентраций 0,01...0,10%, применение которых обеспечило повышение ростовой активности рододендрона Ледебура и других видов рода *Rhododendron* L. [4], позволяют называть их физиологически активными.

При этом исследований в направлении поиска регуляторов роста для такой ценной технической культуры, как сахарная свекла, недостаточно. Использование адаптивных технологий помогает выращивать сельскохозяйственные культуры, в том числе сахарную свеклу, в неблагоприятных или экстремальных погодных условиях и получать при этом оптимальный урожай [5, 6, 7].

Рододендрон кавказский (*Rh. caucasicum* Pall), рододендрон желтый (*Rh. luteum* Sweet) и рододендрон японский (*Rh. japonicum* L.) – декоративные и лекарственные кустарники, которые широко используют в городском озеленении и на приусадебных участках [8, 9]. Благодаря высокой морозостойкости рододендрон желтый подходит для выращивания в умеренном климате, что делает его востребованной культурой в отечественном питомниководстве [8]. По морфологическим признакам листопадные виды – рододендроны желтый и японский – сходны. Использование определенных концентраций брассиностероидов оказывает влияние на изменчивость признаков «высота растения», «количество настоящих листьев», стимулирует рост и развитие, повышает жизнеспособность растений рододендрона японского в стрессовых условиях [8, 9]. Оценка возможности применения соединений хинолинового ряда в качестве стимуляторов роста для более широкого спектра сельскохозяйственных и декоративных культур, в сравнении с традиционными брассинолидами, весьма актуальна.

Цель исследований – изучение действия 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-тетрагидрохинолина, 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина и их производных на показатели роста рододендрона желтого и сахарной свеклы для расширения спектра применения соединений.

Методика. Работу выполняли на базе ботанического сада им. проф. Б. М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета (в 2018 г.) и во Всероссийском научно-исследовательском институте сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова (в 2021 г.), расположенных в зоне Центрального Черноземья. Объектами исследований служили представители разных групп культурных растений. Рододендрон желтый выступал в качестве древесно-декоративного вида, сахарная свекла – как техническая культура. У листопадного кустарника родо-

дендрона желтого определяли высоту проростков и сеянцев, у сахарной свеклы – длину и ширину листа, длину черешка и число листьев, которое считают наиболее объективным признаком степени развития растения [3, 4]. Изучали влияние ФАС, синтезированных на кафедре органической химии Воронежского государственного университета.

Исследуемые физиологически активные соединения разделяли на следующие группы: тетрагидрохинолины – 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-тетрагидрохинолин (ФАС 1) и его производное (ФАС 3); дигидрохинолины – 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин (ФАС 2) и его производные (ФАС 4 и ФАС 5). На рододендроне желтом испытывали все соединения в концентрациях 0,01, 0,05, 0,10%, на сахарной свекле – 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин в этих же концентрациях.

Объектом обработки ФАС служили недражированные семена *Rh. luteum* и *B. vulgaris* линии МС-2113. Перед проращиванием их замачивали в водных растворах ФАС с экспозицией 18 ч в трех повторностях по 100 семян. В качестве контроля использовали семена, замоченные в водопроводной воде и растворе стандартного стимулятора роста эпинбрасинолида (коммерческий препарат Эпин-экстра) в рабочей концентрации 0,05%. Семена *Rh. luteum* высевали в условиях защищенного грунта, а *B. vulgaris* – в открытом грунте. Полевые опыты закладывали согласно общепринятой методике [10]. Семена *Rh. luteum* помещали в ящики с верховым торфом (рН=4...5) поверхностно, накрывали стеклом и содержали при температуре 20...24 °С. Через 14 дней стекло убирали.

Высоту проростков *Rh. luteum* измеряли линейкой на 21-й день эксперимента, высоту сеянцев – через 7 мес. от начала эксперимента. Первый подсчет растений *B. vulgaris* проводили на 30-й день (ювенильное возрастное состояние), второй – на 60-й день эксперимента (имматурное возрастное состояние). Тогда же измеряли и подсчитывали листья в соответствии с ранее проведенными исследованиями по возрастному состоянию сахарной свеклы [11]. Выживаемость растений определяли как отношение числа растений на 60-й день эксперимента к их числу на 30-й день, выраженное в процентах.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета программ Stadia 7.0. Для сравнения результатов в контрольном и опытных вариантах использовали t-критерий Стьюдента, по показателям выживаемости – Z-аппроксимацию для критерия равенства частот. Влияние факторов «обработка ФАС» и «концентрация» оценивали по результатам непараметрического дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. Высота проростков *Rh. luteum* во всех экспериментальных вариантах достоверно увеличивалась на 18,2...54,5%, тогда как традиционный стимулятор роста (коммерческий препарат Эпин-экстра) не оказывал на нее значительного влияния. По сравнению с контролем и вариантом обработки семян Эпином-экстра больше всего высоту проростков увеличивали соединения ФАС 2, 4 и 5 во всех испытанных концентрациях (табл. 1).

Табл. 1. Высота проростков *Rh. luteum* в зависимости от обработки ФАС, см*

Концентрация, %	Контроль	Эпин-экстра	ФАС 1	ФАС 2	ФАС 3	ФАС 4	ФАС 5
	1,10±0,03	1,20±0,02					
0,01			1,30±0,03* ¹	1,40±0,02** ²	1,30±0,02* ¹	1,40±0,02** ²	1,50±0,04*** ³
0,05			1,40±0,02** ²	1,50±0,02*** ³	1,40±0,03** ²	1,50±0,03** ²	1,60±0,03*** ³
0,10			1,50±0,03*** ³	1,60±0,03*** ³	1,50±0,03*** ³	1,60±0,03*** ³	1,70±0,04*** ³

*Здесь и в табл. 2 и 3 различия с контролем достоверны при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$; *** – при $p < 0,001$; 1 – различия с вариантом с обработкой Эпином-экстра достоверны при $p < 0,05$; 2 – при $p < 0,01$; 3 – при $p < 0,001$.

Табл. 2. Высота сеянцев *Rh. luteum* в зависимости от обработки ФАС, см

Концентрация, %	Контроль	Эпин-экстра	ФАС 1	ФАС 2	ФАС 3	ФАС 4	ФАС 5
	6,7±0,2	6,9±0,2					
0,01			6,9±0,2*	7,6±0,1**2	6,8±0,2	6,8±0,2	7,7±0,2**2
0,05			7,8±0,2**2	7,9±0,2**2	7,0±0,2*1	7,1±0,2*1	8,9±0,3***3
0,10			8,4±0,2***3	9,4±0,2***3	8,3±0,2***3	9,5±0,2***3	10,8±0,3***3

ФАС 1 и 3 проявляли наибольшую активность в концентрации 0,1%. В целом, на наш взгляд, более эффективными веществами на ранних этапах развития *Rh. luteum* можно считать дигидрохинолины, в меньшей степени – тетрагидрохинолины.

рами 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина на длину листа, длину черешка, число листьев, а также выживаемость растений относительно контроля и варианта обработки Эпин-экстра ($p < 0,05$; $p < 0,01$). При этом наиболее сильное увеличение параметров отмечено при

Табл. 3. Ростовые показатели сахарной свеклы в зависимости от обработки семян 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолином

Вариант (концентрация, %)	Длина листа, см	Ширина листа, см	Число листьев, шт.	Длина черешка, см	Выживаемость, %
Контроль (вода)	12,8±0,1	9,2±0,1	11,7±0,1	10,8±0,1	80
Эпин-экстра (0,05)	12,9±0,1	9,7±0,1*	11,9±0,1	11,0±0,1	85*
6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин:					
0,01	14,3±0,1**2	10,7±0,1**2	14,1±0,1**2	13,0±0,1**2	92*1
0,05	13,7±0,2**2	9,8±0,2*	12,8±0,2**2	12,7±0,2**2	88*
0,10	13,5±0,2**2	8,9±0,2 ¹	12,6±0,2*1	11,6±0,2*1	86*

Высота сеянцев под воздействием стандартного стимулятора роста (коммерческий препарат Эпин-экстра) оставалась примерно такой же, как в контрольном варианте, после обработки семян ФАС в разных концентрациях она повышалась на 3,0...61,2%. Соединения ФАС 1, 2 и 5 существенно увеличивали высоту растений, по сравнению с контролем и вариантом обработки семян Эпином-экстра, во всех испытанных концентрациях (табл. 2).

ФАС 3 проявляло наибольшую активность в концентрации 0,1%, как и при воздействии на проростки. Однако ФАС 1 было эффективно в концентрации 0,05%, а ФАС 4 не проявило активность в концентрациях 0,01 и 0,05%. Это свидетельствует о различии долговременного влияния обработки семян как тетрагидрохинолинами, так и дигидрохинолинами. Эффективной на более поздних этапах развития *Rh. luteum* можно считать обработку семян водными растворами дигидрохинолинов и в меньшей степени – тетрагидрохинолинов в концентрации 0,10%. Особенно активны во всех испытанных концентрациях (0,01...0,10%) были соединения 2 и 5. В целом можно отметить долговременное сохранение стимулирующего эффекта синтетизированных органических веществ на рост исследуемого декоративного растения.

На сахарной свекле отмечено увеличение средней длины листа (на 0,6...1,5 см) и длины черешка (на 0,6...2,2 см), а также числа листьев (на 0,7...2,4 шт.) после обработки семян растворами 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина во всех концентрациях, по сравнению как с контролем ($p < 0,05$; $p < 0,01$), так и с коммерческим препаратом Эпин-экстра ($p < 0,05$; $p < 0,01$). Ширина листа достоверно увеличивалась в вариантах с обработкой семян 0,01% и 0,05% растворами на 0,1...1,5 см (табл. 3).

Ранее была установлена генетическая вариабельность количественных признаков сахарной свеклы и ее взаимосвязь с продуктивностью, основными показателями которой выступают длина, ширина листовой пластинки, длина листового черешка [12]. Перечисленные количественные признаки можно использовать в качестве маркерных при оценке генотипов и фенотипов, а также в исследованиях по изучению влияния различных соединений на рост сахарной свеклы в качестве тестеров. В наших исследованиях отмечено положительное влияние обработки недражированных семян сахарной свеклы водными раство-

наименьшей из испытанных концентраций растворов (0,01%). Наибольшая из исследованных концентраций растворов оказывает эффективное влияние не на все ростовые показатели.

Самое значительное увеличение, по отношению к контролю, числа листьев (на 20,5%) и длины черешка (на 20,3%) отмечено после обработки семян 0,01%-ным раствором. Наиболее сильное воздействие, по сравнению с другими изучаемыми признаками, во всех испытанных концентрациях 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин оказывает на изменение длины черешка (табл. 4).

Табл. 4. Увеличение ростовых показателей сахарной свеклы по отношению к контролю в зависимости от концентрации 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина при обработке семян, %

Концентрация, %	Длина листа	Ширина листа	Число листьев	Длина черешка	Выживаемость растений
0,01	11,7	16,3	20,5	20,3	11,5
0,05	7,0	6,5	9,4	17,6	10,0
0,10	5,5	–	7,7	14,8	7,5

Выводы. Предпосевная обработка недражированных семян водными растворами 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина в концентрации 0,01...0,10% увеличивает выживаемость растений и ростовые показатели сахарной свеклы по отношению к контролю. Наиболее эффективна концентрация раствора 0,01%.

Наибольшее влияние на ранних и более поздних этапах развития сеянцев *Rh. luteum* оказала обработка семян (в концентрации 0,05...0,10%) дигидрохинолинами, в меньшей степени – тетрагидрохинолинами.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась Министерством науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания вузам в сфере научной деятельности на 2023–2025 гг., проект № FZGU-2023-0009. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликтов интересов.

Литература.

1. Взаимодействие сорта риса Кубояр с препаратом бензихол / П. И. Костылев, Ю. П. Калиевская, М. В. Тесля и др. // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 11 (153). С. 40–45.
2. Открытие 4-нитропиразолин-5-онов в качестве нового легкодоступного структурного класса фунгицидов для защиты растений / А. С. Будников, Е. Р. Лопатьева, И. Б. Крылов и др. // *Биосфера*. 2022. № 4. С. 276–279.
3. Synthesized organic compounds as growth stimulators for woody plants / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, S. M. Medvedeva, et al. // *Periódico Tchê Química*. 2020. No. 17 (35). P. 327–337.
4. Use of new compounds of the quinoline series as effective stimulants of growth processes / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, A. Yu. Potapov, et al. // *Periódico Tchê Química*. 2020. No. 17 (35). P. 781–790.
5. Черепухина И. В., Безлер Н. В., Колесникова М. В. Зависимость эффективности использования соломы зерновых культур с дополнительными компонентами от погодных условий года // *Агрохимия*. 2019. № 6. С. 64–71.
6. Колесникова М. В., Черепухина И. В., Безлер Н. В. Влияние целлюлозолитического микромицета *Nitricola fuscoatra* ВНИИСС 016 на некоторые показатели плодородия почвы в посевах сахарной свеклы // *Агрохимия*. 2018. № 4. С. 18–26.
7. Climatic and agronomic impacts on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production / S. O. Bastaubayeva, L. K. Tabynbayeva, R. S. Yezhebayeva, et al. // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2022. No. 54 (1). P. 141–152.
8. Ладыженская О. В., Крючкова В. А., Донских В. Г. Влияние различных препаратов на всхожесть семян рододендрона кавказского (*Rhododendron caucasicum* Pall) и рододендрона желтого (*Rhododendron luteum* Sweet) // *АгроЭкоИнфо*. 2022. № 3. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_329.pdf (дата обращения: 12. 09. 2024).
9. Стимуляция роста и развития растений *Rhododendron japonicum* L. in vivo при использовании brassinosterоидов / О. А. Кудряшова, А. А. Волоотович, Т. В. Герасимович и др. // *Вестник Полесского государственного университета. Серия природо-ведческих наук*. 2011. № 1. С. 14–21.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Репродуктивная биология сахарной свеклы / Т. П. Жужжалова, В. В. Знаменская, О. А. Подвигина и др. Воронеж: Сотрудничество, 2006. 232 с.
12. Иззатулаева В. И. Изучение генетического разнообразия генотипов сахарной свеклы на основе биоморфологических признаков // *Сахарная свекла*. 2013. № 5. С. 39–41.

Поступила в редакцию 26.06.2024
 После доработки 20.08.2024
 Принята к публикации 05.11.2024