

РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ В РЯДУ ПРОИЗВОДНЫХ 2,2,4-ТРИМЕТИЛГИДРОХИНОЛИНА (ОБЗОР)

Н.В. Столповская^{1*}, Т.В. Вострикова², В.Ф. Селеменев¹, О.Б. Рудаков³, Х.С. Шихалиев¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

² Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы имени А.Л. Мазлумова

³ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Поступила в редакцию 03.06.2024 г.

Аннотация. В настоящий момент в научной литературе представлен большой объем данных, характеризующих эффективные методы регулирования роста и развития растений. Большинство публикаций посвящено изучению влияния природных фитогормонов или их структурных аналогов на конкретную сельскохозяйственную культуру. Все более актуальным вопросом является применение различных классов органических соединений в качестве эффективных регуляторов роста растений.

Цикл гидрохинолина входит в структуру огромного количества природных соединений. В ряду производных хинолинового ряда найдены вещества, обладающие антибактериальной, противовирусной, противогрибковой, противораковой, противовоспалительной, антикоагулянтной и другими видами биологической активности.

В обзоре систематизированы данные, представленные в научной литературе, по производным 2,2,4-триметилгидрохинолинов, обладающим ростостимулирующим действием в отношении различных видов растений, проведен анализ их структурных особенностей и основных методов синтеза.

Охарактеризовано пять типов различных производных 2,2,4-триметилгидрохинолинов, имеющих различные заместители в 1, 6 и 7-ом положениях гидрохинолинового каркаса, включая 6-алкил-, 6-алкокси-, 6-гидрокси- и 7-диметиламинометилпроизводные 2,2,4-триметилгидрохинолинов; N-алкилпроизводные 2,2,4-триметилгидрохинолинов и их соли; 1-алкил-6-аминокарботионил-1,2,2,4-тетраметилгидрохинолины. Показано влияние структурных особенностей производных 2,2,4-триметилгидрохинолинов на проявление биологического действия. Приведены примеры соединений, проявляющих стимулирующее действие на прорастание семян, рост и развитие различных растений, в том числе: сальвии блестящей (*S. splendens*), клонов тополей И 45/51 и «Пионер», рододендрона Ледебера (*Rhododendron ledebourii*), рододендрона Смирнова (*Rhododendron smirnowii*) и рододендрона желтого (*Rhododendron luteum*), баклажана обыкновенного (*Solanum melongena* L.) и сахарной свеклы.

6-Гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин является эффективным стимулятором роста сахарной свеклы, увеличивая вхожесть и энергию прорастания семян, а также длину проростка и массу 100 проростков. Ростостимулирующее действие на сальвию блестящую (*S. splendens*) оказывают 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин, 2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин, 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин, 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин. Эти же соединения, а также 7-[(диметиламино)метил]-6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин, 7-[(диметиламино)метил]-6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин, замещенные 1,2,2,4-тетраметил-6-(аминокарботионил)-1,2-дигидрохинолины, 1,2,2,4-тетраметил-6-(аминокарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолины, 1-бензил-2,2,4-триметил-6-(4-морфолинилкарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолин оказывают положительное влияние на прорастание семян и дальнейший рост различных видов рода рододендрон.

Замещенные 1,2,2,4-тетраметил-6-(аминокарботионил)-1,2-дигидрохинолины, 1,2,2,4-тетраметил-6-(аминокарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолины и 1-бензил-2,2,4-триметил-6-(4-морфолинилкарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолин вызывают стимуляцию роста вегетативной массы и урожайности баклажана.

Ключевые слова: регулятор роста растений, гидрохинолин, 2,2,4-триметилгидрохинолин, процессы роста, прорастание семян, урожайность

В настоящий момент в научной литературе представлен большой объем данных, характеризующих эффективные способы регулирования

роста и развития растений. Большинство публикаций посвящено изучению влияния природных фитогормонов или их структурных аналогов на конкретную сельскохозяйственную культуру [1-3]. Описано ростостимулирующее действие в отношении разных растений производных фенилмочевины [4], индолиламинов [5] и др.

Цикл гидрохинолина входит в структуру огромного количества природных соединений [6-8]. В ряду производных хинолинового ряда найдены вещества, обладающие антибактериальной, противовирусной, противогрибковой, противораковой, противовоспалительной, антикоагулянтной и другими видами биологической активности [7, 9-11].

Целью данной работы являлась систематизация данных, представленных в научной литературе, по производным 2,2,4-триметилгидрохинолинов, обладающим ростостимулирующим действием в отношении различных видов растений, анализ их структурных особенностей и методов синтеза.

На схеме 1 представлены структуры производных 2,2,4-триметилгидрохинолинов, обладающих ростостимулирующим действием в отношении различных видов растений.

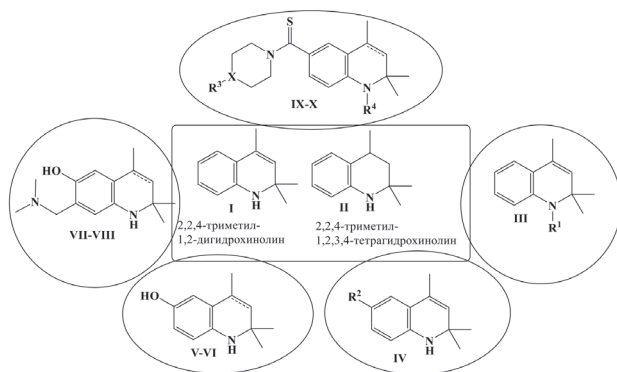


Схема 1

Для производных 2,2,4-триметилгидрохинолинов **I-X** исследовано биологическое действие в отношении салвыи блестящей [12-14], баклажана обыкновенного [15-16], рододендронов [17-23], сахарной свеклы [24], побегов тополей [6].

2,2,4-Триметил-1,2-дигидрохинолин **I**, 6-алкил- и 6-алкоксипроизводные **IV** получают конденсацией соответствующего ароматического амина с ацетоном в присутствии йода или других катализаторов (схема 2) [6-7, 25-26]. Гидрохинолины проявляют свойства вторичных аминов и легко образуют соответствующие гидрохлориды **IV'** при взаимодействии с соляной кислотой [6].

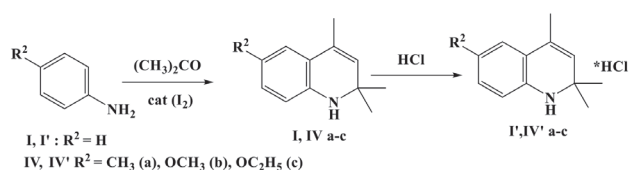


Схема 2

Основным путем синтеза 2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина **II** (схема 3) является реакция гидрирования дигидрохинолина **I** над различными катализаторами (Ni/Re, Pt, Pd и др.) [6-7, 27]. Гидрохинолины **I**, **II**, **IV** подвергаются N-алкилированию алкилгалогенидами. При этом, используя двукратный избыток галогеналкана, можно получать соли N-алкилгидрохинолинов **III'** [6]. В условиях межфазного катализа можно в одну стадию получить N-алкилгидрохинолины **III** [7, 28].

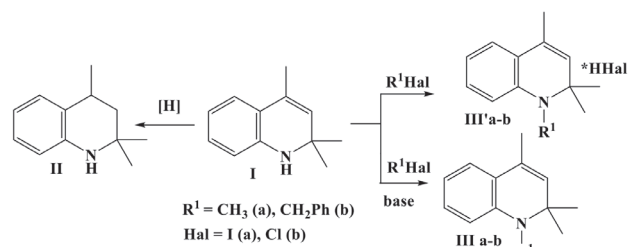


Схема 3

6-Оксигидрохинолины **V-VI** получают дезалкилированием 6-алкоксипроизводных ди- или тетрагидрохинолинов в присутствии бромистоводородной кислоты. Чаще всего в качестве исходного соединения (схема 4) используют этоксихин – 2,2,4-триметил-6-этокси-1,2-дигидрохинолин [7, 13-14, 18-19, 29-30]. Диметиламинометилирование соединений **V-VI** проводят к образованию 7-замещенных производных **VII-VIII** [18-20].

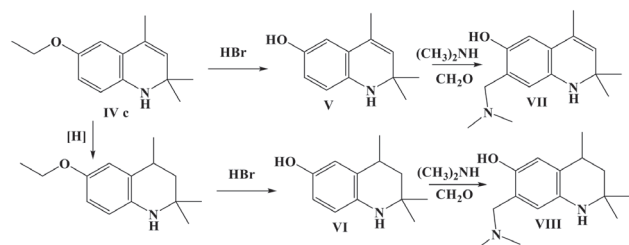


Схема 4

Производные **IX-X** получают в результате двухстадийного синтеза (схема 5). На первой стадии осуществляют формилирование N-алкил 2,2,4-триметилгидрохинолинов в условиях реакции Вильсмейера-Хаака, при этом карбонильная группа направляется в 6-е положение цикла [6-7, 28]. На второй стадии реализуют реакцию

Вильгеродта-Киндлера для 2,2,4-триметил-6-формилгидрохинолинов с участием вторичных циклических аминов и элементарной серы. В некоторых случаях соответствующие хинолинилтиоамиды выделяют в виде более кристаллических гидрохлоридов [31-32].

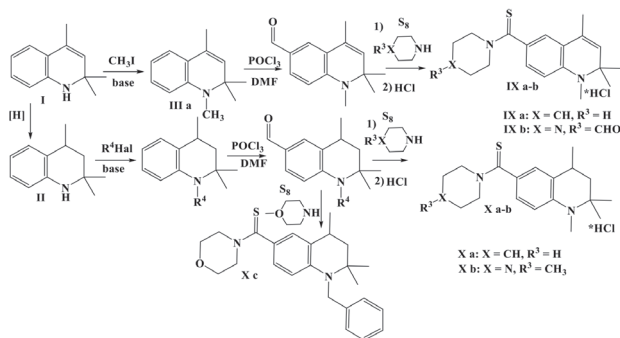


Схема 5

Для соединений **I-X** исследовано ростостимулирующее действие в отношении различных видов растений.

Одним из видов, традиционно использующихся в оформлении клумб является сальвия блестящая (*Salvia splendens*), имеющая множество сортов. Ее выращивание обычно осуществляется рассадным способом. Большим недостатком является невысокая всхожесть семян, хотя их жизнеспособность сохраняется в течение 2-5 лет. Поэтому при выращивании сальвии блестящей следует применять стимуляторы роста, повышающие всхожесть и энергию прорастания семян. Материалом для исследований служили семена однолетнего декоративно-гравянистого растения сальвии блестящей (*S. splendens*) сорта «Жаркий костер» Российской селекции. Семена обрабатывали соединениями хинолинового ряда: 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолином **I**; 2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолином **II**; 1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолиния йодидом

III'a. Семена выдерживали в водных растворах стимуляторов в концентрациях 0,01%, 0,05% и 0,1% в течение 18 ч. В качестве стандартного стимулятора был использован коммерческий препарат «Эпин» (Российского производства ННПП НЭСТ М) в рабочей концентрации 0,1%. Семена контроля замачивали в водопроводной воде. Затем материал высевали в трехкратной повторности по 100 шт в ящики. Эксперимент проводился в закрытом грунте при температуре (20-25 °С). Общее количество проросших семян подсчитывали на 15, 30, 45, 75 день после посева [12]. В таблице 1 представлены данные о всхожести сальвии блестящей (*S. splendens*) после обработки семян соединениями **I-III'**.

Как следует из данных таблицы, изменения числа проросших семян в каждом варианте различны. Всхожесть семян, обработанных коммерческим препаратом «Эпин», практически не отличается от контроля. 2,2,4-Триметил-1,2-дигидрохинолин **I** оказывает влияние на всхожесть семян в концентрации 0,05% и 0,1%, в то время, как N-метилпроизводное 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолиний йодида **III'a** улучшает всхожесть в концентрации 0,01%, но при увеличении концентрации этот эффект не наблюдается. 2,2,4-Триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин **II** достаточно эффективен. Для него выявлено биологическое действие при обработке семян тремя растворами с разными концентрациями. Максимальное значение проросших семян отмечается при применении 0,05 % раствора на 75 день эксперимента (более, чем в 5 раз выше контрольного). Таким образом, наиболее эффективными соединениями, повышающими всхожесть семян *Salvia splendens* являются 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин **I** и 2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин **II** в концентрации 0,05 %

Кроме всхожести семян, важным показателем является высота растения. Было исследовано

Таблица 1

Всхожесть сальвии блестящей (*S. splendens*) после обработки семян производными гидрохинолинового ряда [12]

Соединение	Концентрация, %	Всхожесть, %			
		на 15 день	на 30 день	на 45 день	на 75 день
Контроль (вода)	-	0,7	0,7	2,3	2,3
Эпин	0,1	1,7	1,7	2,3	3
2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин I	0,01	1,7	1,7	2	2
	0,05	7,7***	14,3***	14,3***	14,3***
	0,1	8,7***	9**	9**	9,6**
2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин II	0,01	4**	4**	4	6*
	0,05	1,3	6*	6,3**	13***
	0,1	4**	5,6**	6,3**	7,3**
1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолиния йодид III'a	0,01	2,7*	5,3*	5,3*	5,3*
	0,05	0	1	1	1
	0,1	1,7	1,8	2	2

* различия с контролем достоверны (P<0,05); ** - (P<0,01); *** (P<0,001)

влияние стимуляторов роста 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина **V**, 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина **VI** и 1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолина йодида **III' a** на ростовые показатели (высоту растения) однолетника сальвии блестящей (*Salvia splendens*) сорта «Жаркий костер». Перед посевом семена сальвии замачивали в водных растворах данных соединений (концентрация растворов 0,01 %; 0,05 %; 0,1 %) с экспозицией 18 ч. В качестве контроля использовали семена сальвии блестящей того же сорта, замоченные в водопроводной воде и 0,05 % растворе стандартного стимулятора роста эпибрасинолида (коммерческий препарат «Эпин-экстра», производства ННПП «НЭСТ М», РФ). Семена высевали в ящики с земельной смесью (3 части листовой земли : 1 часть речного песка) в условиях теплицы при контролируемой температуре 20 °С. Перенос растений из теплицы в открытый грунт осуществляли на 42 день после посева, предварительно закалив сеянцы (с 30 дня). Полевой эксперимент закладывали согласно Б. А. Доспехову [33]. Высоту растений измеряли на 42 день [13-14, 19].

В таблице 2 представлены данные о влиянии производных гидрохинолинов **III'**, **V-VI** на высоту растения сальвии блестящей (*S. splendens*) после обработки семян этими соединениями.

Используемые производные гидрохинолинового ряда оказывают влияние на высоту растений. Установлено, что в контроле значение этого признака составило 15,8±0,6 см. Воздействие стимулятора роста «Эпин-экстра» негативно сказалось на ростовых процессах. Средняя высота растений снизилась до 13,9±0,7 см. Производные гидрохинолина, имеющие в

своей структуре гидроксильную группу в 6-ом положении: 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин **V** и 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин **VI** продемонстрировали стимулирующий эффект в концентрации 0,05% как при сравнении с водопроводной водой, так и при сравнении с коммерческим стимулятором «Эпин-экстра». 1,2,2,4-Тетраметил-1,2-дигидрохинолина йодид **III' a** проявляет ингибирующее влияние на рост растения во всех исследованных концентрациях.

Таким образом, 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин **V** и 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин **VI** могут быть использованы в качестве стимуляторов роста растений сальвии блестящей, а 1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолина йодид **III' a** можно применять как ретардант, для получения низкорослых форм растений [13-14].

Изучение действия гидрохлоридов дигидрохинолинов **I'**, **III' b**, **VI' a-c** на укореняемость черенков и рост побегов тополей И 45/51 – клона итальянской селекции и клона «Пионер» – гибрида А.С. Яблокова на раннем этапе их развития показало высокую приживаемость этих клонов, а также увеличение высоты побегов в 2,1-2,8 раза по сравнению с контролем после предварительной обработки растворами солей **III' b**, **VI' a-c** [6]. Кроме того, проведена оценка влияния этих соединений на изменение фитомассы клонов тополей, включая длину побега, длину и ширину листовой части, длину корней и биомассу. Данные представлены в таблицах 3-4.

Данные, представленные в таблице 4 свидетельствуют о том, что гидрохлориды дигидрохинолинов **I'**, **III' b**, **VI' a-c** положительно влияют на

Таблица 2

Высота сальвии блестящей (*S. splendens*) после обработки семян производными гидрохинолинового ряда [13-14, 19]

Соединение	Концентрация, %	Средняя высота растения, см	Max - min, см	Дисперсия / Cv, %
Контроль (вода)	-	15,8±0,6	14-20	4,0 / 12,7
«Эпин-экстра»	0,05	13,9±0,7*	12-18	4,3 / 15,1
1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолина йодид III' a	0,01	11,7±0,5*** ¹	10-15	2,9 / 14,5
	0,05	12,3±0,6***	10-15	3,6 / 14,6
	0,1	10,3±0,4*** ²	9-12	1,3 / 11,7
6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин V	0,01	15,8±0,3 ¹	14-17	1,1 ^a / 6,3
	0,05	18,8±0,2*** ²	18-20	6,2 ⁶ / 4,3
	0,1	14,7±0,2	14-16	4,6 ⁶ / 4,8
6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин VI	0,01	18,5±0,3*** ²	17-20	1,2 ^a / 5,9
	0,05	19,8±0,5*** ²	18-22	2,2 / 7,6
	0,1	15,3±0,4	14-17	1,3 / 7,8

Обозначения: Cv – коэффициент вариации; * различия с контролем достоверны (P<0,05); ** - (P<0,01); *** (P<0,001); ¹ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,001); ^a различия дисперсии в опыте и контроле достоверны (P<0,05); ⁶ различия дисперсии в опыте и контроле достоверны (P<0,01)

Таблица 3

Влияние гидрохлоридов дигидрохинолинов на приживаемость и рост побегов тополей [6]

Соединение	Приживаемость, %		Высота побегов, см	
	И 45/51	«Пионер»	И 45/51	«Пионер»
Контроль (вода)	60	60	2,0	2,3
Контроль (ДМСО)	24	27	1,9	2,5
Контроль (Гетероауксин в ДМСО)	40	40	2,3	2,7
Гидрохлорид 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина I'	30	87	5,6	6,6
Гидрохлорид N-бензил-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина III b'	100	100	6,2	4,9
Гидрохлорид 2,2,4,6-тетраметил-1,2-дигидрохинолина IV' a	95	80	6,1	5,3
Гидрохлорид 6-метокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина IV' b	90	93	6,7	5,3
Гидрохлорид 6-этокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина IV' c	95	80	5,5	5,5

Таблица 4

Влияние гидрохлоридов дигидрохинолинов на биометрические параметры развития черенков тополей [6]

Соединение	Длина побегов, см		Длина листовой пластинки, см		Ширина листовой пластинки, см		Длина корней, см		Биомасса, г	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Контроль	18,5	29,0	6,5	6,1	6,5	6,3	6,7	10,0	4,9	11,8
I'	51,7	68,2	12,4	10,2	11,3	10,7	15,7	25,0	27,4	41,8
III' b	46,3	41,8	11,4	9,0	10,4	19,0	15,0	19,0	26,7	21,2
IV' a	55,5	57,8	13,3	10,0	13,0	10,6	16,0	17,0	24,7	31,8
IV' b	34,0	54,0	9,8	10,3	9,0	10,6	17,3	22,3	21,3	31,8
IV' c	33,5	57,8	9,3	9,4	8,6	9,9	19,3	24,7	21,7	31,2
Ошибка опыта	5,1	5,6	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,6	2,9	1,6

А – клон И 45/51, Б – клон «Пионер»

рост и развитие черенков тополей обоих клонов. Наблюдается увеличение длины побегов в 1,8-3 раза, длины корней в 1,7-2,9 раза по сравнению с контролем. Изменяются параметры листовых пластинок: происходит увеличение длины листовой пластины в 1,4-2,1 раза, ширины – в 1,3-2 раза. Имеет место резкое повышение биомассы черенков – в 1,8-5,8 раз.

На фоне общей росторегулирующей активности изученных производных необходимо отметить разноплановое влияние заместителей как на ранние стадии онтогенеза тополей, так и на характеристики фитомассы. Введение бензильного заместителя в 1-положение дигидрохинолинового цикла приводит к тому, что гидрохлорид N-бензил-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина **III b'** более эффективное влияние оказывает на стадии приживаемости обоих клонов, но почти не влияет на изменение их фитомассы [6].

Комплексно исследовано влияние производных 2,2,4-триметилгидрохинолинов **I-II, V-X** на рост и развитие различных видов декоративных кустарников рода рододендрон, в частности, рододендрона Ледебура (*Rhododendron ledebourii*), рододендрона Смирнова (*Rhododendron smirnowii*) и рододендрона желтого (*Rhododendron luteum*).

Для оценки влияния 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина **I** и 2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина **II**, 1-алкил-6-аминокарботионил-

1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолинов **IX a-b** и 1-алкил-6-аминокарботионил-1,2,2,4-тетраметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолинов **X a-c** были использованы водные растворы этих соединений в трех концентрациях: 0,1%, 0,05%, 0,01%. Для каждой из концентраций эксперимент проводили в трех повторностях по 100 семян. Обработку семян проводили 18-часовым замачиванием в каждом из исследуемых растворов, после чего семена помещались в чашки Петри на фильтровальную бумагу. В качестве контроля были взяты семена рододендрона Ледебура и рододендрона желтого, замоченные в водопроводной воде в трех повторностях по 100 семян. Для сравнения действия испытуемых соединений на семена и ростовые процессы рододендрона Ледебура и рододендрона желтого использовали стандартный стимулятор эпибрасинолид («Эпин-Экстра» ННПП «НЭСТ М», РФ) в концентрации, рекомендованной производителем (0,05%). Высоту проростков измеряли на 21 день после начала эксперимента. В таблице 5 представлены данные по всхожести семян, в таблице 6 – по высоте проростков [17, 21-23].

Изучаемые производные гидрохинолина оказывают влияние на всхожесть семян рододендрона, при этом с увеличением концентрации отмечается увеличение всхожести. Наименьшие значения средней всхожести семян наблюдаются при обработке семян незамещенными

Таблица 5

Всхожесть семян рододендрона Ледебура (*Rhododendron ledebourii*) и рододендрона желтого (*Rhododendron luteum*) на 21 день после начала эксперимента при их обработке соединениями хинолинового ряда [17, 21-23]

Соединение	Концентрация, %	Всхожесть семян, %	
		рододендрон Ледебура	рододендрон желтый
Контроль (вода)	-	29,7	52,3
«Эпин-экстра»	0,05	43,3	58,4
2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин I	0,01	27,6 ³	-
	0,05	27,3 ³	-
	0,1	35,4 ²	-
2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин II	0,01	15,2*** ³	-
	0,05	28,5 ³	-
	0,1	39,3* ³	-
Гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-(1-пиперидинилкарботионил)-1,2-дигидрохинолина IX a	0,01	52,8** ²	68,1* ¹
	0,05	58,6** ²	76,5** ²
	0,1	63,3** ²	80,4** ²
Гидрохлорид 4-[(1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидро-6-хинолинил)карботионил]-1-пиперазинилкарбальдегида IX b	0,01	47,8* ¹	72,2** ²
	0,05	53,5* ¹	78,4** ²
	0,1	58,2** ²	81,7** ²
Гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-(1-пиперидинилкарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолина X a	0,01	42,2	54,2
	0,05	45,7	58,7* ¹
	0,1	55,4* ¹	64,8* ¹
Гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-[(4-метил-1-пиперазинил)карботионил]-1,2,3,4-тетрагидрохинолина X b	0,01	52,2** ²	57,8
	0,05	58,9** ²	63,5* ¹
	0,1	61,7** ²	68,2** ²
1-Бензил-2,2,4-триметил-6-(4-морфолинилкарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолин X c	0,01	51,1* ¹	68,6** ²
	0,05	57,6** ²	72,4** ²
	0,1	64,4** ²	76,3** ²

Обозначения: * различия с контролем достоверны (P<0,05); ** - (P<0,01); *** (P<0,001); ¹ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,05); ² различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,01); ³ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,001)

ми 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолином **I** и 2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолином **II**, причем этот показатель ниже, чем при использовании коммерческого препарата «Эпин-Экстра». При этом все изучаемые химические соединения оказывают положительное влияние на ростовые процессы проростков рододендрона Ледебура, это влияние более существенное, чем при использовании коммерческого препарата «Эпин-Экстра» [22-23]. Введение гетероциклического заместителя в 6-положение хинолинового цикла существенно увеличивает биологическое действие. Причем сохраняется зависимость ростостимулирующего действия от концентрации препарата: с увеличением концентрации действие усиливается. Данная серия соединений может быть рекомендована для производства посадочного материала декоративных растений для ландшафтного дизайна [17, 21].

В продолжение работ по изучению росторегулирующего действия производных гидрохинолинов на различные виды рода рододендрон исследовано влияние 6-гидроксипроизводных 2,2,4-триметилгидрохинолинов **V-VII** на высоту проростков декоративных древесных растений:

рододендрона Ледебура (*Rhododendron ledebourii*), рододендрона Смирнова (*Rhododendron smirnowii*). Высота сеянцев как морфометрический параметр измерялась через 7 месяцев после начала эксперимента. Перед проращиванием семена рододендрона Ледебура и рододендрона Смирнова замачивали в растворах данных соединений в концентрации 0,01%, 0,05%, 0,1% с экспозицией 18 ч. В качестве контроля использовали семена тех же видов рододендрона, замоченные в водопроводной воде и растворе стандартного стимулятора роста эпибрасинолида (коммерческий препарат «Эпин-экстра»). После замачивания семена двух видов рододендрона помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, проращивали в лабораторных условиях при постоянной температуре 22°C и на 21 день эксперимента высаживали проростки в ящики с верховым торфом в условиях закрытого грунта. Измерение высоты сеянцев производили через 7 месяцев от начала эксперимента (таблица 7) [18-20].

Все исследуемые производные 6-гидрокси-гидрохинолинов оказывают сильное стимулирующее действие на рост и развитие проростков

Таблица 6

Высота проростков рододендрона Ледебура (*Rhododendron ledebourii*) и рододендрона желтого (*Rhododendron luteum*) на 21 день после начала эксперимента при их обработке соединениями хинолинового ряда [17, 21-23]

Соединение	Концентрация, %	Высота проростков, см	
		рододендрон Ледебура	рододендрон желтый
Контроль (вода)	-	0,6±0,02	1,1±0,03
«Эпин-экстра»	0,05	0,7±0,02*	1,2±0,02*
2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин I	0,01	1,08±0,08***	-
	0,05	1,28±0,01***	-
	0,1	1,24±0,02***	-
2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин II	0,01	1,12±0,02***	-
	0,05	1,09±0,01***	-
	0,1	1,23±0,01***	-
Гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-(1-пиперидинилкарботионил)-1,2-дигидрохинолина IX a	0,01	1,40±0,04*** ³	1,60±0,04*** ³
	0,05	1,50±0,04*** ³	1,70±0,04*** ³
	0,1	1,70±0,04*** ³	1,80±0,04*** ³
Гидрохлорид 4-[(1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидро-6-хинолинил)карботионил]-1-пиперазинилкарбальдегида IX b	0,01	1,30±0,03*** ³	1,60±0,03*** ³
	0,05	1,30±0,03*** ³	1,60±0,03*** ³
	0,1	1,40±0,02*** ³	1,70±0,04*** ³
Гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-(1-пиперидинилкарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолина X a	0,01	0,80±0,03**	1,50±0,02*** ³
	0,05	0,90±0,02*** ³	1,60±0,02*** ³
	0,1	0,90±0,03*** ³	1,70±0,03*** ³
Гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-[(4-метил-1-пиперазинил)карботионил]-1,2,3,4-тетрагидрохинолина X b	0,01	0,70±0,02*	1,30±0,02** ¹
	0,05	0,70±0,02*	1,40±0,02*** ²
	0,1	0,80±0,03**	1,50±0,03*** ³
1-Бензил-2,2,4-триметил-6-(4-морфолинилкарботионил)-1,2,3,4-тетрагидрохинолин X c	0,01	0,60±0,02 ¹	1,40±0,02*** ³
	0,05	0,70±0,02*	1,50±0,02*** ³
	0,1	0,90±0,02*** ³	1,6±0,03*** ³

Обозначения: * различия с контролем достоверны (P<0,05); ** - (P<0,01); *** (P<0,001); ¹ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,05); ² различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,01); ³ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,001)

Таблица 7

Высота проростков рододендрона Ледебура (*Rhododendron ledebourii*) и рододендрона Смирнова (*Rhododendron smirnowii*) через 7 месяцев после начала эксперимента при их обработке соединениями хинолинового ряда [18-20]

Соединение	Концентрация, %	Высота проростков рододендрона, см		
		Ледебура	Смирнова	желтый
Контроль (вода)	-	5,6±0,2	1,4±0,2	6,7±0,2
«Эпин-экстра»	0,05	5,7±0,2	1,4±0,2	6,9±0,2
6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин V	0,01	6,6±0,1*** ³	1,7±0,1* ¹	7,6±0,1** ²
	0,05	7,0±0,2*** ³	1,9±0,2* ¹	7,9±0,2** ²
	0,1	9,2±0,2*** ³	2,2±0,2*** ¹	9,4±0,2*** ³
6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин VI	0,01	5,9±0,2	1,8±0,1*** ²	6,9±0,2*
	0,05	6,8±0,2*	1,7±0,1* ¹	7,8±0,2** ²
	0,1	7,7±0,2*** ³	1,7±0,1* ¹	8,4±0,2*** ³
7-[(диметиламино)метил]- 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин VII	0,01	5,8±0,2	1,4±0,1	6,8±0,2
	0,05	7,1±0,2*** ³	1,5±0,1	7,1±0,2* ¹
	0,1	9,0±0,2*** ³	1,6±0,1*	9,5±0,2*** ³
7-[(диметиламино)метил]-6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин VIII	0,01	5,6±0,2	1,4±0,1	6,8±0,2
	0,05	5,8±0,2	1,5±0,1	7,0±0,2*
	0,1	8,0±0,2*** ³	1,6±0,1*	8,3±0,2*** ³

Обозначения: * различия с контролем достоверны (P<0,05); ** - (P<0,01); *** (P<0,001); ¹ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,05); ² различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,01); ³ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,001)

различных видов рода рододендрон, при этом с увеличением концентрации биологическое действие тоже увеличивается. Введение диметиламиногруппы в 7-ое положение гидрохинолинового цикла не оказывает существенного влияния на проявление ростостимулирующего действия. Более того, в некоторых случаях 6-гидрокси-2,2,4-триметилгидрохинолины **V-VI** проявляют более высокую активность. При этом соединения дигидрохинолинового **V, VII** ряда проявляют несколько большую активность, чем производные тетрагидрохинолина **VI, VIII** [18-20].

Активно проводятся селекционные работы и испытания, направленные на повышение урожайности и устойчивости сельскохозяйственных растений к неблагоприятным условиям среды. Одним из методов решения данной проблемы является применение химических стимуляторов развития растений. Одним из сельскохозяйственных растений, культивируемых в России, в том числе в Центрально-Черноземном регионе, является баклажан обыкновенный. В связи с длительным периодом вегетации баклажана обыкновенного необходимо ускоренное получение посадочного материала, что может быть достигнуто при использовании стимуляторов роста и всхожести семян, в том числе гидрохинолинового ряда. Исследовано влияние водных растворов (концентрация 0,1; 0,05; 0,01%) 1-алкил-6-аминокарботионил-1,2,2,4-тетраметил-1,2-дигидрохинолинов **IX a-b** и 1-алкил-6-аминокарботионил-1,2,2,4-тетраметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолинов **X a-c** на рост и развитие семян баклажана обыкновенного

(*Solanum melongena* L.) сорта «Черный красавец» (таблица 8). Подсчет проростков для изучения лабораторной всхожести и их посадку в ящики в закрытом грунте (теплице) производили на 14 день после начала проращивания. Биометрические показатели измеряли на 50 день начала эксперимента. Перенос растений из теплицы в открытый грунт осуществляли на 50 день начала эксперимента, предварительно закалив сеянцы (с 30 дня). Полевой эксперимент закладывали согласно Б.А. Доспехову [33] методом расщепленных делянок в трехкратной повторности. В открытый грунт рассаду баклажана высаживали из расчета 5 растений на 1 м² (50 тыс. растений на 1 га). Биометрические показатели включали высоту растения, длину, ширину и число листьев. Число листьев, которое считается наиболее объективным признаком степени развития растения [33], подсчитывали на 50 день начала эксперимента. Урожайность определяли после сбора плодов на 120 день после высадки растений в открытый грунт. Подсчитывали массу плодов с 1 м² [15-16].

Всхожесть семян баклажана обыкновенного максимально увеличивают химические соединения **IXb, X a-c** при использовании растворов концентрацией 0,01 %. При увеличении концентрации положительный эффект снижается. Большее действие проявляют производные на платформе 1,2,3,4-тетрагидрохинолина **X a-c**. При этом влияние на высоту растения, а также на длину и ширину листа, на количество листьев максимально для растворов с концентрацией 0,1 % для всех исследуемых соединений. На урожайность баклажана

Таблица 8

Влияние соединений гидрохинолинового ряда на биометрические параметры развития баклажана обыкновенного (*Solanum melongena* L.) [15-16]

Соединение	Конц., %	Всхожесть, %	Высота раст., см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Число лист., шт	Урожайность, кг/м ²
Контроль	-	41,1	6,5±0,1	6,3±0,1	4,6±0,1	5,2±0,1	3,2±0,1
«Эпин-экстра»	0,05	42,2	6,6±0,1	6,4±0,1	4,5±0,1	5,6±0,2	3,3±0,1
IX a	0,01	33,3	6,4±0,1	6,0±0,2	4,8±0,2	5,4±0,2	3,5±0,1
	0,05	32,2	6,6±0,1	6,5±0,1	5,1±0,1	5,6±0,2	4,1±0,1
	0,1	31,1	7,4±0,1	7,3±0,1	5,6±0,1	5,7±0,2	4,6±0,1
IX b	0,01	47,8	7,8±0,2	7,6±0,1	5,7±0,1	5,3±0,2	5,3±0,1
	0,05	43,3	8,8±0,2	8,6±0,1	6,3±0,2	5,8±0,1	5,5±0,2
	0,1	42,2	9,0±0,1	8,8±0,1	6,8±0,2	5,8±0,1	5,7±0,2
X a	0,01	61,1	8,1±0,2	7,6±0,2	5,7±0,1	5,6±0,2	5,1±0,1
	0,05	55,6	8,8±0,2	8,6±0,2	6,4±0,2	6,5±0,2	5,4±0,1
	0,1	54,4	9,3±0,2	9,0±0,2	6,7±0,2	6,7±0,2	5,6±0,1
X b	0,01	62,2	6,7±0,2	6,4±0,1	4,5±0,1	5,4±0,2	4,5±0,1
	0,05	48,9	7,6±0,1	7,5±0,1	5,0±0,1	5,6±0,2	4,7±0,1
	0,1	46,7	7,7±0,2	7,6±0,1	5,2±0,1	5,8±0,1	4,8±0,1
X c	0,01	77,8	6,6±0,1	6,4±0,1	5,4±0,2	5,4±0,1	4,2±0,2
	0,05	75,6	7,6±0,1	7,6±0,2	6,0±0,2	5,6±0,2	4,4±0,2
	0,1	73,3	8,6±0,1	8,3±0,2	6,3±0,1	5,7±0,2	4,6±0,1

Таблица 9

Влияние 6-гидроксид-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина на посевные и ростовые характеристики семян сахарной свеклы [24]

Соединение	Концентрация, %	Всхожесть, %	Длина проростка, см	Масса 100 проростков, г	Энергия прорастания, %
Контроль (вода)	-	64	5,8±0,1	5,2±0,1	58
«Эпин-экстра»	0,05	75	6,9±0,1	6,7±0,1	67
6-гидроксид-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин V	0,01	90**2	11,3±0,1**2	11,7±0,1	85**2
	0,05	90**2	10,7±0,2**2	10,8±0,2	85**2
	0,1	85*1	8,9±0,2**2	8,8±0,1	80*1

Обозначения: * различия с контролем достоверны (P<0,05); ** - (P<0,01); *** (P<0,001); ¹ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,05); ² различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,01); ³ различия с результатами варианта «Эпин-экстра» достоверны (P<0,001)

обыкновенного стимулирующее действие оказали все испытанные соединения во всех концентрациях. Минимальным биологическим действием обладает гидрохлорид 1,2,2,4-тетраметил-6-(1-пиперидинилкарботиол)-1,2-дигидрохинолина IX а. Таким образом, 6-замещенные гидрохинолины IX-X вызывают увеличение вегетативной массы и урожайности баклажана обыкновенного по сравнению с имеющимися коммерческими препаратами [15-16].

По незаменимой сельскохозяйственной культуре – сахарной свекле – исследования в направлении поиска регуляторов роста немногочисленны. В связи с этим для расширения арсенала стимуляторов роста сахарной свеклы исследовано влияние 6-гидроксид-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина V на прорастание семян этой культуры. Изучали влияние подготовки семян, заключающейся в выдерживании их в водных растворах 6-гидроксид-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина с массовой долей 0,01%, 0,05% и 0,1% с экспозицией 18 ч. Производили оценку посевных качеств семян сахарной свеклы (энергии прорастания, всхожести семян) и ростовых показателей (длины проростка, массы 100 проростков).

Подсчет проростков для изучения энергии прорастания семян производили на 4 день после начала проращивания, для оценки всхожести - на 10 сутки; длину проростка и массу 100 проростков определяли на 10 день начала эксперимента (таблица 9). Использовали недражированные семена гамма-индуцированной линии сахарной свеклы МС-2113, полученной путем опыления мужскостерильной линии гамма-облученной пылью. [24].

После обработки семян растворами 6-гидроксид-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина V отмечено повышение энергии прорастания и всхожести, а также длины проростка и массы 100 проростков семян сахарной свеклы во всех вариантах у исследуемой линии по сравнению с контролем и со

стандартным стимулятором роста коммерческим препаратом «Эпин-экстра». При этом наилучшее биологическое действие проявляется при минимальной концентрации стимулятора [24].

Таким образом, 2,2,4-триметилгидрохинолины и их производные перспективны для использования их в качестве стимуляторов роста различных растений.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2023-2025 годы, проект № FZGU-2023-0009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moenne A. Chitosan-, alginate- carrageenan-derived oligosaccharides stimulate defense against biotic and abiotic stresses, and growth in plants: A historical perspective / A. Moenne, A. González // Carbohydrate Research. – 2021. – Vol. 503. – Article: 108298.
2. Lu Q. Research Progress on the Growth-Promoting Effect of Plant Biostimulants on Crops / Q. Lu, L. Jin, C. Tong, F. Liu, B. Huang, D. Zhang // Phyton-International Journal of Experimental Botany. – 2024. – Vol. 29. – № 4. – P. 661-679.
3. Roussos P. A. Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds / P. A. Roussos, N-K. Denaxa, T. Damvakaris // Scientia Horticulturae. – 2009. – Vol. 119. – № 2. – P. 138-146.
4. Dongmei C. Research progress on the synthesis of phenylurea derived plant growth regulators / C. Dongmei, L. Tianhui, Y. Wenjun, J. Zhichao, R. Shichao // Advanced Agrochem. – 2024. – Vol. 3. – № 2. – P. 143-150.
5. Erland, L. A. E. Views and perspectives on the indoleamines serotonin and melatonin in plants: past, present and future / L. A. E. Erland // Plant Signal-

ing & Behavior. – 2024. – Vol. 19. – № 1. – Article: 2366545.

6. Шмырева Ж. В. 2,2,4-Триметилгидрохинолины. Монография / Ж. В. Шмырева – Воронеж : ВГУ, 2000. – 124 с.

7. Медведева С. М. Трициклические системы на основе 2,2,4-триметилгидрохинолинов: синтез и свойства: монография / С. М. Медведева, Х. С. Шихалиев – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2023. – 148 с.

8. Swain S. S. Quinoline heterocyclic containing plant and marine candidates against drug-resistant *Mycobacterium tuberculosis*: A systematic drug-ability investigation / S. S. Swain, S. Pati, T. Hussain // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2022. – Vol. 232. – Article: 114173.

9. Saxena A. Inhibition of cancer cells by Quinoline-Based compounds: A review with mechanistic insights / A. Saxena, S. Majee, D. Ray, B. Saha // *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. – 2024. – Vol. 103. – Article: 117681.

10. Mohasin Md. A Review on Synthesis and Biological Applications of Quinoline Derivative as Fused Aromatic Compounds / Md. Mohasin, Md. Zafer Alam, Q. Ullah, A. Ahmad, P. F. Rahaman, A. S. Khan, // *Polycyclic Aromatic Compounds*. – 2023. – 1-30. <https://doi.org/10.1080/10406638.2023.2270118>

11. Suresh K. Biological activities of quinoline derivatives / K. Suresh, B. Sandhya, G. Himanshu // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2009. – Vol. 9. – № 14. – P. 1648-1654.

12. Баранова Т. В., Калаев В. Н., Медведева С. М., Шихалиев Х. С. Воздействие химических стимуляторов на всхожесть *Salvia Splendens* // *Научное обозрение. Биологические науки*. – 2017. – № 2. – С. 14-16.

13. Патент № 2490891 Российская Федерация, МПК A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Способ использования соединений хинолинового ряда в качестве стимулятора роста для однолетника сальвия блестящая : № 2012112007/13 : заявл. 29.03.2012 : опубл. 27.08.2013 / Калаев В. Н., Баранова Т. В., Медведева С. М., Шихалиев Х. С., Воронин А. А. ; заявитель ВГУ. – 5 с.

14. Вострикова Т. В., Калаев В. Н., Бутова Л. С., Медведева С. М., Шихалиев Х. С. Биологические эффекты соединений хинолинового ряда на ростовую активность *Salvia splendens* // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2012. – № 1. – С. 103-106.

15. Vostrikova T. V. Use of new compounds of the quinoline series as growth and yield stimulants of agricultural crop / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, A. Yu. Potapov, G. M. Manakhelokhe, K. S. Shikhaliev // *Periodico tche quimica*. – 2021. – Vol. 18. – № 38. – P. 123-136.

16. Патент № 2607460 Российская Федерация, МПК A01N 31/08 (2006.01), A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Способ использования соединений хинолинового ряда в качестве стимуляторов роста и урожайности баклажана обыкновенного : № 2015151470 : заявл. 02.12.2015 : опубл. 10.01.2017 / Калаев В. Н., Баранова Т. В., Шихалиев Х. С., Потапов А. Ю., Гизачев М. М. ; заявитель ВГУ. – 10 с.

17. Vostrikova T. V. Use of new compounds of the quinoline series as effective stimulants of growth processes / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, A. Y. Potapov, M. A. Potapov, K. S. Shikhaliev // *Periodico tche quimica*. – 2020. – Vol. 17. – № 35. – P. 781-790.

18. Vostrikova T. V. Synthesized organic compounds as growth stimulators for woody plants / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, S. M. Medvedeva, N. P. Novichikhina, K. S. Shikhaliev // *Periodico tche quimica*. – 2020. – Vol. 17. – № 35. – P. 327-337.

19. Vostrikova T. V. Quinoline derivatives as growth regulators for ornamental plants / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, S. M. Medvedeva, I. V. Ledeneva, Kh. S. Shikhaliev // *Southern Brazilian journal of chemistry*. – 2020. – Vol. 28. – № 28. – P. 10-16.

20. Патент № 2691377 Российская Федерация, МПК A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Способ использования соединений 6-гидрокси-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина, его производных и их гидрированных аналогов в качестве стимуляторов роста для видов рода *Rhododendron L.* : № 2018120668 : заявл. 04.06.2018 : опубл. 11.06.2019 / Баранова Т. В., Калаев В. Н., Шихалиев Х. С., Медведева С. М. ; заявитель ВГУ. – 9 с.

21. Патент № 2607459 Российская Федерация, МПК A01N 31/08 (2006.01), A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Способ использования соединений хинолинового ряда в качестве стимуляторов ростовых процессов для видов рода *Rhododendron L.* : № 2015151469 : заявл. 02.12.2015 : опубл. 10.01.2017 / Калаев В. Н., Баранова Т. В., Шихалиев Х. С., Потапов А. Ю., Гизачев М. М. ; заявитель ВГУ. – 10 с.

22. Патент № 2490892 Российская Федерация, МПК A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Стимулятор роста для видов рода *Rhododendron*

- L. : № 2012112006/13 : заявл. 29.03.2012 : опубл. 27.08.2013 / Калаев В. Н., Моисеева Е. В., Баранова Т. В., Шихалиев Х. С., Медведева С. М., Воронин А. А.; заявитель ВГУ. – 6 с.
23. Моисеева Е. В., Баранова Т. В., Калаев В. Н., Кузнецов Б. И., Щербаков Г. С., Воронин А. А., Потапов А. Ю., Шихалиев Х. С. Влияние соединений хинолинового ряда на всхожесть и ростовые процессы рододендрона Ледебура (*Rhododendron Ledebourii Pojark*) // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 5. – С. 172-176.
24. Патент № 2798883 Российская Федерация, МПК A01N 43/42 (2006.01), C07D 215/02 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Применение 6-гидроксиди-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолина в качестве стимулятора роста и всхожести семян сахарной свеклы : № 2022128689 : заявл. 02.11.2022 : опубл. 28.06.2023 / Вострикова Т. В., Шихалиев Х. С., Медведева С. М., Новичихина Н. П.; заявитель ВГУ. – 8 с.
25. Knoevenagel E. Zur Kenntnis der Keton-anil. 1. Darstellung aliphatischer Keton-anil und alkalische Spaltung von Keton-aniliodalkylaten / E. Knoevenagel, O. Jäger // Chemische Berichte. – 1921. – Vol. 54. – № 6. – P. 1723-1750.
26. Denmark S. E. On the mechanism of the Skraup-Doebner-Von Miller quinoline synthesis / S. E. Denmark, S. Venkatraman // The Journal of Organic Chemistry. – 2006. – Vol. 71. – № 4. – P. 1668-1676.
27. Chen R. Effect of tetrahydroquinoline dyes structure on the performance of organic dye-sensitized solar cells / R. Chen, X. Yang, H. Tian, X. Wang, A. Hagfeldt, L. Sun // Chemistry of Materials. – 2007. – Vol. 19. – № 16. – P. 4007-4015.
28. Brown C. W. Novel Heteroarotinoids as Potential Antagonists of Mycobacterium bovis BCG / C. W. Brown, S. Liu, J. Klucik, K. D. Berlin, P. J. Brennan, D. Kaur, D. M. Benbrook // Journal of Medicinal Chemistry. – 2004. – Vol. 47. – № 4. – P. 1008-1017.
29. Иванов Ю. А., Зайченко Н. Л., Рыков С. В., Гринберг О. Я., Дубинский А. А., Пирожков С. Д., Розанцев Е. Г., Покровская И. Е., Шапиро А. Б. Синтез оксо-, ацило-, оксо-, N-оксидов оксо- и морфолиллоксипроизводных гидрированных хинолинов и изучение их радикальных аналогов методом ЭПР // Известия АН СССР. Серия химическая. – 1979. – Т. 8. – С. 1800-1807.
30. Kryl'skii E. D. 6-Hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline alleviates oxidative stress and NF-κB-mediated inflammation in rats with experimental parkinson's disease / E. D. Kryl'skii, G. A. Razuvaev, T. N. Popova, S. M. Medvedeva, Kh. S. Shikhaliev // Current Issues in Molecular Biology. – 2023. – Vol. 45. – № 9. – P. 7653-7667.
31. Манахелохе Г. М., Шихалиев Х. С., Потапов А. Ю. Синтез тиокарбоксамидов, содержащих гидрохинолиновый фрагмент // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2015. – № 2. – С. 23-26.
32. Manahelohe G. M. Synthesis of 1H-1,2-dithiol-1-thiones and thioamides containing hydroquinoline group / G. M. Manahelohe, Kh. S. Shikhaliev, A. Y. Potapov // European Chemical Bulletin. – 2015. – Vol. 4. – № 7. – P. 350-355.
33. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. доп. и перераб. – учеб. пособ. для ВУЗа / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

*Столповская Надежда Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии

E-mail: stolpovskaya@chem.vsu.ru

Селеменев Владимир Федорович, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии

E-mail: common@chem.vsu.ru

Voronezh State University

*Stolpovskaya Nadezhda V., PhD., Assistant Professor, Department of the Organic Chemistry
E-mail: stolpovskaya@chem.vsu.ru

Selemenev Vladimir F., PhD., DSci., Department of Analytical Chemistry

E-mail: common@chem.vsu.ru

Шихалиев Хидмет Сафарович, профессор,
доктор химических наук, заведующий кафедрой
органической химии

E-mail: shikh1961@yandex.ru

Shikhaliev Khidmet S., PhD., DSci., Full Professor,
head of the Department of Organic Chemistry

E-mail: shikh1961@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Рудаков Олег Борисович, доктор химических
наук, профессор, заведующий кафедрой химии и
химической технологии материалов

E-mail: robi57@mail.ru

Voronezh State Technical University

Rudakov Oleg B., PhD., DSci., Full Professor,
head of the Department of Chemistry and Chemical
Technology of Materials

E-mail: robi57@mail.ru

Всероссийский научно-исследовательский инсти-
тут сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова

Вострикова Татьяна Валентиновна, канди-
дат биологических наук, научный сотрудник

E-mail: tanyavosttric@rambler.ru

A. L. Mazlumov All-Russian Research Institute of
Sugar Beet and Sugar, Voronezh Region

Vostrikova Tatyana V., PhD., Researcher

E-mail: tanyavosttric@rambler.ru

PLANT GROWTH REGULATORS IN THE SERIES OF 2,2,4-TRIMETHYLHYDROQUINOLINE DERIVATIVES (REVIEW)

N.V. Stolpovskaya^{1*}, T.V. Vostrykova², V.F. Selemenov¹, O.B. Rudakov³, Kh.S. Shikhaliev¹

¹Voronezh State University

²A. L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar

³Voronezh State Technical University

Abstract. At present, scientific literature presents a large amount of data characterizing effective methods of regulating plant growth and development. Most publications are devoted to the influence of natural phytohormones or their structural analogs on a particular crop. The use of various classes of organic compounds as effective plant growth regulators is an increasingly urgent issue.

The hydroquinoline cycle is part of the structure of a huge number of natural compounds. In a number of derivatives of the quinoline series, substances possessing antibacterial, antiviral, antifungal, anticancer, anti-inflammatory, anticoagulant and other types of biological activity have been found.

The review systematizes the data presented in the scientific literature on derivatives of 2,2,4-trimethylhydroquinolines possessing growth-stimulating effect in relation to various plant species, analyzes their structural features and the main methods of synthesis.

Five types of different derivatives of 2,2,4-trimethylhydroquinolines with different substituents at the 1st, 6th and 7th positions of the hydroquinoline framework, including 6-alkyl-, 6-alkoxy-, 6-hydroxy- and 7-dimethylaminomethyl derivatives of 2,2,4-trimethylhydroquinolines were characterized; N-alkyl derivatives of 2,2,4-trimethylhydroquinolines and their salts; 1-alkyl-6-aminocarbothionyl-1,2,2,4-tetramethylhydroquinolines. The influence of structural features of 2,2,4-trimethylhydroquinolines derivatives on the manifestation of biological action is shown. Examples of compounds showing stimulating effect on seed germination, growth and development of various plants, including: *salvia splendens* poplar clones I 45/51 and "Pioneer", *Rhododendron Ledebourii*, *Rhododendron Smirnowii* and *Rhododendron luteum*, common eggplant and sugar beet.

6-Hydroxy-2,2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline is an effective growth stimulant for sugar beet, increasing seed germination vigor and vigor, as well as seedling length and weight of 100 seedlings. The growth-stimulating effect on *salvia splendens* (*S. splendens*) is exerted by 2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline, 2,2,4-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline, 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2,2-dihydroquinoline, 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline. The same compounds, as well as 7-[(dimethylamino)methyl]-6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline, 7-[(dimethylamino)methyl]-6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2,4-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline, substituted 1,2,2,4-tetramethyl-

6-(aminocarbothioyl)-1,2-dihydroquinolines, 1,2,2, 4-tetramethyl-6-(aminocarbothioyl)-1,2,3,4-tetrahydroquinolines, 1-benzyl-2,2,4-trimethyl-6-(4-morpholinylcarbothionyl)-1,2,3,4-tetrahydroquinoline have a positive effect on seed germination and further growth of various species of the genus *Rhododendron*.

Substituted 1,2,2,4-tetramethyl-6-(aminocarbothioyl)-1,2-dihydroquinolines, 1,2,2,4-tetramethyl-6-(aminocarbothioyl)-1,2,3,4-tetrahydroquinolines and 1-benzyl-2,2,4-trimethyl-6-(4-morpholinylcarbothionyl)-1,2,3,4-tetrahydroquinoline cause stimulation of vegetative growth and yield of eggplant.

Keywords: plant growth regulator, hydroquinoline, 2,2,4-trimethylhydroquinoline, growth processes, seed germination, yields

REFERENCES

1. Moenne A. Chitosan-, alginate- carrageenan-derived oligosaccharides stimulate defense against biotic and abiotic stresses, and growth in plants: A historical perspective / A. Moenne, A. González // *Carbohydrate Research*. – 2021. – Vol. 503. – Article: 108298.
2. Lu Q. Research Progress on the Growth-Promoting Effect of Plant Biostimulants on Crops / Q. Lu, L. Jin, C. Tong, F. Liu, B. Huang, D. Zhang // *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. – 2024. – Vol. 29. – № 4. – P. 661-679.
3. Roussos P. A. Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds / P. A. Roussos, N-K. Denaxa, T. Damvakaris // *Scientia Horticulturae*. – 2009. – Vol. 119. – № 2. – P. 138-146.
4. Dongmei C. Research progress on the synthesis of phenylurea derived plant growth regulators / C. Dongmei, L. Tianhui, Y. Wenjun, J. Zhichao, R. Shichao // *Advanced Agrochem*. – 2024. – Vol. 3. – № 2. – P. 143-150.
5. Erland, L. A. E. Views and perspectives on the indoleamines serotonin and melatonin in plants: past, present and future / L. A. E. Erland // *Plant Signaling & Behavior*. – 2024. – Vol. 19. – № 1. – Article: 2366545.
6. Shmyreva Zh. V. 2,2,4-Trimethylhydroquinolines. Monography / Zh. V. Shmyreva – Voronezh : VGU, 2000. – 124 p.
7. Medvedeva S. M. Tricyclic systems based on 2,2,4-trimethylhydroquinolines: synthesis and properties: monography / S. M. Medvedeva, Kh. S. Shikhaliev - Voronezh : Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2023. - 148 p.
8. Swain S. S. Quinoline heterocyclic containing plant and marine candidates against drug-resistant *Mycobacterium tuberculosis*: A systematic drug-ability investigation / S. S. Swain, S. Pati, T. Hussain // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2022. – Vol. 232. – Article: 114173.
9. Saxena A. Inhibition of cancer cells by Quinoline-Based compounds: A review with mechanistic insights / A. Saxena, S. Majee, D. Ray, B. Saha // *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. – 2024. – Vol. 103. – Article: 117681.
10. Mohasin Md. A Review on Synthesis and Biological Applications of Quinoline Derivative as Fused Aromatic Compounds / Md. Mohasin, Md. Zafer Alam, Q. Ullah, A. Ahmad, P. F. Rahaman, A. S. Khan, // *Polycyclic Aromatic Compounds*. – 2023. – 1-30. <https://doi.org/10.1080/10406638.2023.2270118>
11. Suresh K. Biological activities of quinoline derivatives / K. Suresh, B. Sandhya, G. Himanshu // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2009. – Vol. 9. – № 14. – P. 1648-1654.
12. Баранова Т. В., Калаев В. Н., Медведева С. М., Шихалиев Х. С. Воздействие химических стимуляторов на всхожесть *Salvia Splendens* // *Научное обозрение. Биологические науки*. – 2017. – № 2. – С. 14-16.
13. Patent № 2490891 RF, MPK A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Method of using quinoline compounds as growth stimulant for annual scarlet sage : № 2012112007/13 : заявл. 29.03.2012: opubl. 27.08.2013 / Kalaev V. N., Baranova T. V., Medvedeva S. M., Shikhaliev Kh. S., Voronin A. A. ; заявитель VGU. – 5 p.
14. Votrikova T. V., Kalaev V. N., Butova L. S., Medvedeva S. M., Shikhaliev Kh. S. Biological effects substances of hynolins range for the growth activity *Salvia splendens* // *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. – 2012. – № 1. – P. 103-106.
15. Vostrikova T. V. Use of new compounds of the quinoline series as growth and yield stimulants of agricultural crop / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, A. Yu. Potapov, G. M. Manakhelokhe, K. S. Shikhaliev // *Periodico tche quimica*. – 2021. – Vol. 18. – № 38. – P. 123-136.
16. Patent № 2607460 RF, MPK A01N 31/08 (2006.01), A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Method for using compounds of the quinoline series as stimulators of growth and yield of eggplant common : № 2015151470 : заявл. 02.12.2015 : opubl. 10.01.2017 / Kalaev V. N., Baranova T. V.,

- Shikhaliev Kh. S., Potapov A. Yu., Gizacheu M. M. ; zayavitel' VGU. – 10 p.
17. Vostrikova T. V. Use of new compounds of the quinoline series as effective stimulants of growth processes / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, A. Y. Potapov, M. A. Potapov, K. S. Shikhaliev // *Periodico tche quimica*. – 2020. – Vol. 17. – № 35. – P. 781-790.
 18. Vostrikova T. V. Synthesized organic compounds as growth stimulators for woody plants / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, S. M. Medvedeva, N. P. Novichikhina, K. S. Shikhaliev // *Periodico tche quimica*. – 2020. – Vol. 17. – № 35. – P. 327-337.
 19. Vostrikova T. V. Quinoline derivatives as growth regulators for ornamental plants / T. V. Vostrikova, V. N. Kalaev, S. M. Medvedeva, I. V. Ledeneva, Kh. S. Shikhaliev // *Southern Brazilian journal of chemistry*. – 2020. – Vol. 28. – № 28. – P. 10-16.
 20. Patent № 2691377 RF, MPK A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Method of using compounds of 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline, derivatives thereof and hydrogenated analogues thereof as growth stimulants for species of the genus *Rhododendron L.*: № 2018120668 : zayavl. 04.06.2018 : opubl. 11.06.2019 / Baranova T. V., Kalaev V. N., Shikhaliev Kh. S., Medvedeva S. M. ; zayavitel' VGU. – 9 p.
 21. Patent № 2607459 RF, MPK A01N 31/08 (2006.01), A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Method of using quinoline compounds as growth stimulants of processes for *Rhododendron L.*: № 2015151469 : zayavl. 02.12.2015 : opubl. 10.01.2017 / Kalaev V. N., Baranova T. V., Shikhaliev Kh. S., Potapov A. Yu., Gizacheu M. M. ; zayavitel' VGU. – 10 p.
 22. Patent № 2490892 RF, MPK A01N 43/42 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Growth stimulant for *Rhododendron L.* types : № 2012112006/13 : zayavl. 29.03.2012: opubl. 27.08.2013 / Kalaev V. N., Moiseeva E. V., Baranova T. V., Shikhaliev Kh. S., Medvedeva S. M., Voronin A. A. ; zayavitel' VGU. – 6 p.
 23. Moiseeva E. V., Baranova T. V., Kalaev V. N., Kuznetsov B. I., Scherbakov G. S., Voronin A. A., Potapov A. Y., Shikhaliev H. S. Impact of new compounds synthesized series on the germination and growth processes of *rhododendron Ledebour (Rhododendron Ledebourii Pojark)* // *Fundamental research*. – 2012. – № 5. – P. 172-176.
 24. Patent № 2798883 RF, MPK A01N 43/42 (2006.01), C07D 215/02 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01). Application of 6-hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline as a growth and germination stimulator of sugar beet seeds : № 2022128689 : zayavl. 02.11.2022 : opubl. 28.06.2023 / Vostrikova T. V., Shikhaliev Kh. S., Medvedeva S. M., Novichikhina N. P. ; zayavitel' VGU. – 8 p.
 25. Knoevenagel E. Zur kenntnis der keton-anil. 1. Daratel-lung alifatischen keton-anil und alkalische spaltung von keton-anil iodalkylaten / E. Knoevenagel, O. Jager // *Chemische Berichte*. – 1921. – Vol. 54. - № 6. – P. 1723-1750.
 26. Denmark S. E. On the mechanism of the Skraup-Doebner-Von Miller quinoline synthesis / S. E. Denmark, S. Venkatraman // *The Journal of Organic Chemistry*. – 2006. – Vol. 71. - № 4. – P. 1668-1676.
 27. Chen R. Effect of tetrahydroquinoline dyes structure on the performance of organic dye-sensitized solar cells / R. Chen, X. Yang, H. Tian, X. Wang, A. Hagfeldt, L. Sun // *Chemistry of Materials*. – 2007. – Vol. 19. – № 16. – P. 4007-4015.
 28. Brown C. W. Novel Heteroarotinoids as Potential Antagonists of *Mycobacterium bovis* BCG / C. W. Brown, S. Liu, J. Klucik, K. D. Berlin, P. J. Brennan, D. Kaur, D. M. Benbrook // *Journal of Medicinal Chemistry*. – 2004. – Vol. 47. – № 4. – P. 1008-1017.
 29. Ivanov Y. A., Zaichenko N. L., Rykov S. V., Grinberg O. Ya. V., Grinberg O. Y., Dubinsky A. A., Pirozhkov S. D., Rozantsev E. G., Pokrovskaya I. E. E., Shapiro A. B. Synthesis of oxy-, acyl-, oxo-, N-oxy-, oxo- and morpholyloxy derivatives of hydrogenated quinolines and study of their radical analogs by EPR method // *Izvestia AN USSR. Chemical Series*. - 1979. - Vol. 8. - P. 1800-1807.
 30. Kryl'skii E. D. 6-Hydroxy-2,2,4-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline alleviates oxidative stress and NF-κB-mediated inflammation in rats with experimental parkinson's disease / E. D. Kryl'skii, G. A. Razuvaev, T. N. Popova, S. M. Medvedeva, Kh. S. Shikhaliev // *Current Issues in Molecular Biology*. – 2023. – Vol. 45. – № 9. – P. 7653-7667.
 31. Manahelohe G. M., Shikhaliev Kh. S., Potapov A. Y. Synthesis of thiocarboxamides containing hydroquinoline fragment // *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. – 2015. – № 2. – P. 23-26
 32. Manahelohe G. M. Synthesis of 1*H*-1,2-dithiol-1-thiones and thioamides containing hydroquinoline group / G. M. Manahelohe, Kh. S. Shikhaliev, A. Y. Potapov // *European Chemical Bulletin*. – 2015. – Vol. 4. – № 7. – P. 350-355.
 33. Dospekhov B. A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed. supplement. and revision. - textbook for higher education / B.A. Dospekhov. - Moscow: Agropromizdat, 1985. - 351 p.