

УДК 546.287

***В.В. Коваленко, Н.П. Ерчак*****РОСТРЕГУЛИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ  
ГИДРООКСАЛАТА ДИМЕТИЛ(2-ТИЕНИЛ)-  
γ-[(N-МЕТИЛ)-N'-ПИПЕРАЗИНОПРОПИЛ]СИЛАНА**

Получен и охарактеризован  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{29}\text{Si}$  ЯМР-спектроскопически гидрооксалат диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана. Изучена рострегулирующая активность названного соединения на культуре редиса в полевых условиях. Определены концентрации водных растворов гидрооксалата, дающих стимулирующий эффект в отношении энергии прорастания семян редиса, всхожести и урожайности корнеплодов. Установлено, что обработка семян редиса 0,00001 М раствором изучаемого соединения достоверно повышает урожайность корнеплодов редиса. Сопоставлена активность соединения в лабораторных и полевых условиях.

**Введение**

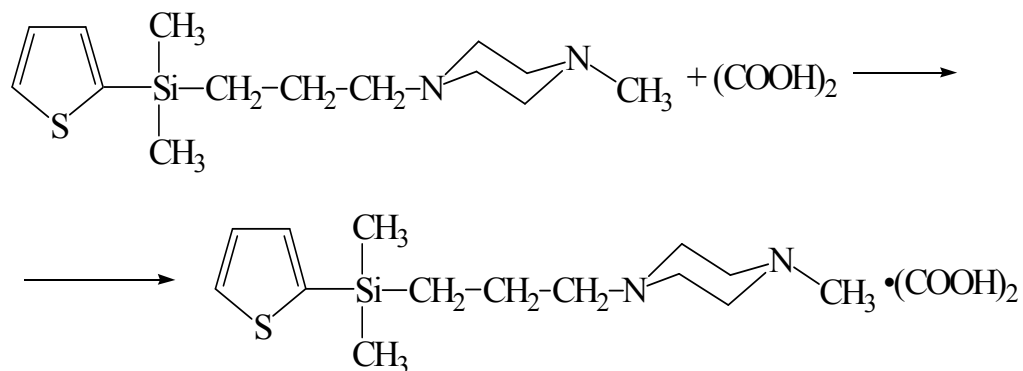
Кремнийорганические соединения представляют значительный интерес как регуляторы роста растений [1–4].

Нами были получены и изучены на предмет регулирующей рост растений активности новые кремнийорганические соединения – гидрооксалаты γ-аминопропилсиланов, содержащие в составе молекулы один и два бензильных заместителя. Были определены концентрации их водных растворов, дающих стимулирующий эффект в отношении энергии прорастания семян, всхожести, общего прироста длины зародышевых корешков и урожайности корнеплодов редиса [5–8].

Нами был также получен гидрооксалат диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана. Данное соединение представляет значительный интерес. Во-первых, до наших исследований изучение рострегулирующей активности гетероароматических производных кремния не проводилось. Во-вторых, благодаря наличию в молекуле гетероциклических систем тиофена и N-метил-N'-пиперазина обладает специфическими электронными эффектами, способными придать ему интересные и полезные свойства. Ранее нами было показано, что в лабораторных условиях обработка семян редиса растворами гидрооксалата диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана повышает энергию прорастания на 10–14%, всхожесть семян – на 17–18%, а также достоверно повышает общий прирост длины зародышевых корешков [9]. Настоящая работа посвящена изучению рострегулирующей активности гидрооксалата диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана на культуре редиса в полевых условиях.

**Синтез и идентификация гидрооксалата диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана**

Гидрооксалат диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана был получен в результате взаимодействия эквимольных количеств N-метил-N'-γ-[[диметил(2-тиенил)силил]пропилпиперазина со щавелевой кислотой в ацетоне при комнатной температуре:



Спектр ЯМР синтезированного соединения зарегистрирован на спектрометре Varian MERCURY-plus. Внутренний стандарт TMC.

Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (DMSO, 25 °C, 400 MHz),  $\delta$  (ppm): 0 (s, 6 H,  $\text{Si}(\text{CH}_3)_2$ ); 0.42 (t, 2 H,  $\text{SiCH}_2$ ); 1.22 (m, 2H,  $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}$ ); 2.25 (s, 3 H,  $\text{NCH}_3$ ); 2.38-2.62 (m, 8 H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NCH}_3$ ); 2.80 (t,  $^3\text{J}=5.7$  Hz, 2 H,  $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}$ ); 6.94 (t,  $^3\text{J}=4.7$  Hz, 1 H,  $\text{H}_4$ ); 7.03 (d,  $^3\text{J}=3.3$  Hz, 1 H,  $\text{H}_3$ ); 7.55 (d,  $^3\text{J}=4.7$  Hz, 1 H,  $\text{H}_5$ ).

Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (DMSO, 25 °C, 100.6 MHz),  $\delta$  (ppm): -5.0 ( $\text{Si}(\text{CH}_3)_2$ ); 13.7 ( $\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}$ ); 19.8 ( $\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}$ ); 50.2-52.8 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NCH}_3$ ); 59.7 ( $\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}$ ); 128.9 ( $\text{C}_3$ ); 131.8 ( $\text{C}_4$ ); 135.4 ( $\text{C}_2$ ); 138.0 ( $\text{C}_1$ ); 163.9 (COOH).

Спектр ЯМР  $^{29}\text{Si}$  (DMSO, 25 °C, 79.5 MHz),  $\delta=3.9$  ppm.

### Изучение рострегулирующей активности

Исследования рострегулирующей активности проводились на культуре редиса (сорт «Белый с розовым кончиком»). Изучалось влияние четырех различных концентраций (0,001 М; 0,0001 М; 0,00001 М и 0,000001 М) гидрооксалата. Мелкоделяночные полевые опыты закладывались в условиях защищенного грунта (под пленкой (спанбонд) в четырехкратной повторности, по 50 семян редиса в каждой повторности, с использованием рендомизированного (случайного) метода распределения вариантов [10]. Условием воздействия являлось замачивание семян в растворах изучаемого вещества. Время экспозиции – 1 час. В качестве контроля использовались растения, полученные из семян, которые замачивались в дистиллированной.

Рострегулирующая активность оценивалась по следующим морфобиологическим критериям роста и развития растений: энергия прорастания семян – способность семян быстро и одновременно прорасти (определяется как процент нормально проросших семян за определенное время); всхожесть – способность семян образовывать нормально развитые проростки (определяется как отношение нормально проросших семян к общему числу семян, взятых для проращивания) [11; 12], масса корнеплодов [10].

Влияние растворов исследуемых веществ на эти показатели изучалось путем фенологических наблюдений и биометрических измерений. Статистическая обработка велась по Рокицкому [13]. Вычислялись средние значения результатов определения энергии прорастания, всхожести семян, массы корнеплодов, стандартное отклонение, ошибка среднего арифметического. Точность отличий между данными контроля и опыта определялась на основе критерия Стьюдента.

Данные по влиянию растворов изучаемого соединения на показатель энергии прорастания семян редиса в полевых условиях представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние растворов гидрооксалата диметил(2-тиенил)- $\gamma$ -[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана на показатель энергии прорастания семян редиса

Вариант эксперимента	Энергия прорастания, %	
Контроль	79	–
0,001 М	79	–
0,0001 М	83	+4
0,00001 М	84	+5
0,000001 М	80	+1

Очевидно, что стимулирующее действие гидрооксалата в условиях полевого эксперимента проявляется в меньшей степени, чем в условиях лабораторного опыта. Если обработка семян редиса 0,00001 М раствором соединения повышала энергию прорастания на 13% по сравнению с контролем в лабораторном эксперименте [9], то в полевом – на 5%. Однако, как видим из приведенных в таблице 1 данных, стимулирующее действие малых концентраций гидрооксалата сохраняется.

Данные по влиянию растворов изучаемого соединения на показатель всхожести семян редиса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние растворов гидрооксалата диметил(2-тиенил)- $\gamma$ -[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана на показатель всхожести семян редиса

Вариант эксперимента	Всхожесть, %	
Контроль	80	–
0,001 М	79	-1
0,0001 М	85	+5
0,00001 М	85	+5
0,000001 М	80	–

Анализируя представленные в таблице 2 результаты, следует отметить стимулирующее действие в отношении показателя всхожести семян 0,0001 М и 0,00001 М растворов гидрооксалата, которые повышали данный показатель на 5% по сравнению с контролем. В условиях лабораторного опыта растворы названных концентраций повышали всхожесть на 17% и 18% соответственно по сравнению с контролем [9].

Данные по влиянию растворов изучаемого соединения на показатель урожайности корнеплодов редиса представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние растворов гидрооксалата диметил(2-тиенил)- $\gamma$ -[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана на массу корнеплодов редиса

Масса корнеплодов, г				
Контроль	0,001 М	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
16,02 $\pm$ 1,17	16,11 $\pm$ 1,07	18,80** $\pm$ 0,69	19,65* $\pm$ 0,24	17,04 $\pm$ 0,94
* при уровне значимости $p < 0,01$				
** при уровне значимости $p < 0,05$				

Из приведенных в таблице 3 данных можно сделать вывод, что обработка семян редиса 0,0001 М и 0,00001 М растворами гидрооксалата достоверно повышает урожайность корнеплодов.

### Выводы

В условиях полевого опыта гидрооксалат диметил(2-тиенил)- $\gamma$ -[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана проявляет регулируемую рост растений активность. Наибольшим стимулирующим эффектом характеризуется 0,00001 М раствор изучаемого соединения. Обработка семян редиса раствором гидрооксалата данной концентрации повышает энергию прорастания и всхожесть семян на 5% по сравнению с контролем и достоверно повышает урожайность корнеплодов.

Активность гидрооксалата диметил(2-тиенил)- $\gamma$ -[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана в полевом и лабораторном опыте отличается. Так, под влиянием 0,00001 М раствора гидрооксалата энергия прорастания и всхожесть семян редиса в лабораторном опыте повышаются на 13% и 18% соответственно по сравнению с контролем, а в полевом опыте оба показателя повышаются на 5% по сравнению с контролем.

Полученные результаты делают перспективным дальнейшее изучение рострегулирующей активности гидрооксалата диметил(2-тиенил)- $\gamma$ -[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана на других растительных объектах.

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Х08М–198).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронков, М.Г. Кремний и жизнь. Биохимия, фармакология и токсикология соединений кремния / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Я. Лукевиц. – Рига : Зинатне, 1978. – 587 с.
2. Silicon Biochemistry : Ciba Foundation Symposium 121 / Chichester – New York – Sydney – Toronto – Singapore : A-Wiley-Interscience Publication, 1986. – 269 p.
3. Стимулятор роста растений : пат. 7079 Респ. Беларусь, С 1 А 01 N 55/10 / Н.П. Ерчак, И.Д. Лукьянчик, Т.А. Коваль, О.О. Андрияк ; заявл. 23.07.01 ; опубл. 30.03.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 2. – С. 114–115.
4. Воронков, М.Г. Новый биостимулятор – мивал в сельском хозяйстве / М.Г. Воронков, И.Г. Кузнецов, В.М. Дьяков. – М. : Наука, 1982. – 167 с.
5. Ерчак, Н.П. Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- $\gamma$ -пиперидинопропилсилана / Н.П. Ерчак [и др.] // Журнал общей химии. – 2008. – Т. 78. – Вып. 9. – С. 1580–1581.
6. Коваленко, В.В. Гидрооксалаты метилбис(фенилметил)- $\gamma$ -пирролидинопропилсилана и метилбис(фенилметил)- $\gamma$ -пиперидинопропилсилана / В.В. Коваленко, А. Ювко, Э. Лиепиньш // Латвийский химический журнал. – 2008. – № 4. – С. 398–399.
7. Коваленко, В.В. Рострегулирующая активность гидрооксалатов метилбис(фенилметил)- $\gamma$ -аминопропилсиланов / В.В. Коваленко, О.О. Ломакова, Н.П. Ерчак // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2010. – № 1. – С. 52–59.
8. Ерчак, Н.П. Сравнительная активность гидрооксалатов  $\gamma$ -аминопропилсиланов / Н.П. Ерчак [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2010. – № 1. – С. 28–40.

9. Каваленка, В.В. Біялагічная актыўнасць крэмнійарганічных злучэнняў 3. Гідрааксалат дыметыл(2-тыяніл)- $\gamma$ -[(N-метыл)-N'-піперазінапрапіл]сілану / В.В. Каваленка, В.А. Ламакова // *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. прыродазнаўчых навук.* – 2007. – №1. – С. 87–91.

10. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. дополн. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : М-во сельского хозяйства СССР : Изд-во стандартов, 1985. – 57 с.

12. Семена сельскохозяйственных культур. Определение посевных качеств семян. Термины и определения : ГОСТ 20290–74. – Введ. 01.07.75. – М. : Всесоюзный ин-т растениеводства : Изд-во стандартов, 1975. – 23 с.

13. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 316 с.

***V.V. Kavalenka, N.P. Erchak.. Growth Regulating Activity of Dimethyl(2-Thienyl)- $\gamma$ -[(N-Methyl)-N'-Piperazinepropyl]Silane***

$^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{29}\text{Si}$  NMR-spectroscopy of the dimethyl(2-thienyl)- $\gamma$ -[(N-methyl)-N'-piperazinepropyl]silane was obtained and characterized. The growth regulating activity of this compound was studied on radish in field conditions. The concentrations of aqueous solutions of the hydrooxalate stimulating germination energy, germination capacity of radish seeds and radish productivity were defined. It was found out that the treatment of radish seeds with 0,00001 M solution of the compound truly raises radish productivity. The activity of the compound in the field and a laboratory was contrasted.