

УДК 546.287

Н.П. Ерчак, А. Ювко, В.В. Коваленко, О.О. Ломакова**СРАВНИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ
ГИДРООКСАЛАТОВ γ -АМИНОПРОПИЛСИЛАНОВ**

Проведено изучение рострегулирующей активности гидрооксалатов γ -аминопропилсиланов – новых кремнийорганических соединений, синтезированных на кафедре химии БрГУ имени А.С. Пушкина. Определены концентрации водных растворов гидрооксалатов, проявляющие стимулирующий эффект в отношении энергии прорастания семян редиса, всхожести, общего прироста длины зародышевых корешков и урожайности корнеплодов. Выявлены наиболее перспективные соединения и их концентрации.

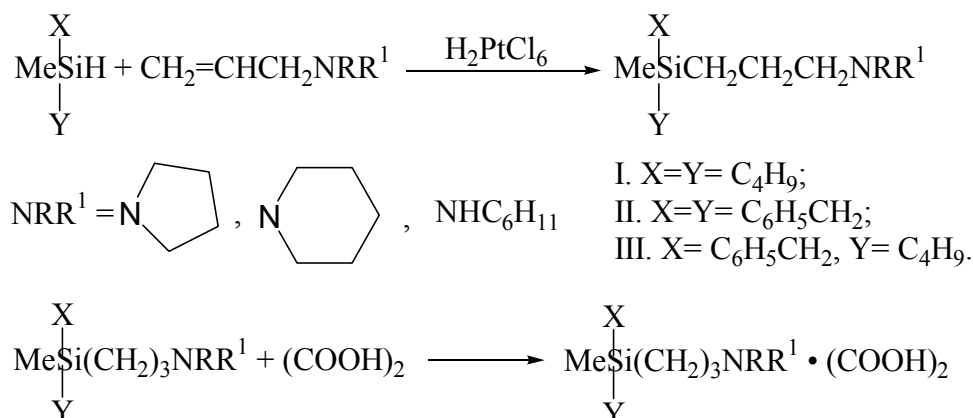
Введение

Биохимическая роль кремния общеизвестна [1; 2], в частности, кремнийорганические соединения представляют значительный интерес как регуляторы роста растений [1; 3]. На основе пятикоординированных соединений кремния, силатранов, уже созданы регуляторы роста растений [4]. Однако соединения этого класса веществ имеют существенные недостатки: они быстро гидролизуются, а мивал в своем составе содержит хлор, что представляет потенциальную угрозу для окружающей среды.

Актуальность проводимого исследования заключается в поиске экологически безопасных регуляторов роста растений нового поколения, поскольку использование регуляторов роста является в настоящее время одним из средств интенсификации сельскохозяйственного производства.

Методика эксперимента

Гидрооксалаты γ -аминопропилсиланов получены в результате взаимодействия эквимольных количеств γ -аминопропилсиланов со щавелевой кислотой в органическом растворителе при комнатной температуре. Исходные аminosилильные производные синтезированы по реакции гидросилилирования соответствующих ненасыщенных аминов без растворителя в присутствии каталитических количеств 0,1 М раствора гексахлороплатината (IV) водорода в тетрагидрофуране.



Хромато-масс-спектрометрическое исследование синтезированных соединений выполнено на приборе Shimadzu GC-17A с квадрупольным детектором QP 5050A. Спектры ЯМР зарегистрированы при 25°C (400 МГц) на спектрометре Varian MERCURY-plus. Внутренний стандарт TMC.

Ранее [5–10] нами описаны синтезированные соединения, поэтому в настоящей работе приведем лишь типовые методики их получения.

Типовые методики гидросилилирования аллиламинов

К 5,65 г метилбис(фенилметил)силана прибавляли 2,78 г аллилпирролидина и 2 капли 0,1 М раствора $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в ТГФ. Реакционную массу нагревали до 170°C и выдерживали при такой температуре 3 ч. Фракционной перегонкой выделили 6,74 г (80%) метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана.

К 5,65 г метилбис(фенилметил)силана прибавляли 3,48 г аллилциклогексил-амин и каталитическое количество 0,1 М раствора $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в ТГФ. Реакционную смесь запаивали в стеклянную ампулу и нагревали по схеме: 120°C (2 ч), 140°C (2 ч), 160°C (2 ч), 180°C (40 ч). Фракционной перегонкой выделили 7,12 г (78%) метилбис(фенилметил)- γ -(N-циклогексиламино).

Типовая методика получения гидрооксалатов

К раствору 0,85 г щавелевой кислоты в 10 мл ТГФ при интенсивном перемешивании прикапывали 3,18 г метилбис(фенилметил)- γ -пирролидино-пропилсилана в 10 мл диэтилового эфира. Реакция экзотермична. После двух часов стояния реакционной массы при комнатной температуре выпавший осадок отфильтровывали, промывали ТГФ, диэтиловым эфиром, сушили в вакууме водоструйного, а затем масляного насосов. Выделили 3,63 г (90%) гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана.

Изучение рострегулирующей активности

Исследования рострегулирующей активности проводились на культуре редиса (сорт «Белый с розовым кончиком»). Было изучено влияние различных концентраций (0,001; 0,0001; 0,00001 и 0,000001 моль/л) гидрооксалатов γ -аминопропилсиланов. Опыты проводились в четырехкратной повторности по 100 штук семян в каждой. Условием воздействия являлось замачивание семян в растворах изучаемых веществ. Время экспозиции – 1 час. В качестве контроля использовались растения, полученные из семян, которые замачивались в дистиллированной воде без исследуемых веществ. Проращивание осуществлялось в растильнях между слоями фильтровальной бумаги при постоянной температуре воздуха в темноте (в термостате).

Биологическая 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); лабораторная всхожесть – способность семян образовывать нормально развитые проростки (определяется как отношение нормально проросших семян к общему числу семян взятых для проращивания); общий прирост длины зародышевых корешков прорастающих семян [11; 12].

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

Мелкоделяночные полевые опыты на культуре редиса 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 [14]. Биологическая активность оценивалась по следующим морфобиологическим критериям роста и развития растений: всхожесть семян, энергия прорастания, масса корнеплодов.

Результаты и их обсуждение**1. Рострегулирующая активность гидрооксалатов метилбис(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов**

Как показывают данные, приведенные в таблице 1, растворы гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана не оказали на энергию прорастания значительного влияния по сравнению с контролем. Положительно воздействовал на прорастание семян редиса только наименее концентрированный раствор (0,000001 М), энергия прорастания в этом варианте достоверно увеличивалась по сравнению с контролем на 7 %. Энергия прорастания семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана статистически достоверно увеличилась по сравнению с контролем. Раствор с концентрацией 0,0001 М не оказал стимулирующего действия на энергию прорастания, показатель имеет значение, одинаковое с контролем. Проведенные исследования показали неоднозначное влияние растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана на энергию прорастания, в концентрациях 0,001 М и 0,00001 М повышали, а в концентрациях 0,0001 М и 0,000001 М статистически достоверно понижали этот показатель.

Таблица 1 – Влияние растворов изучаемых соединений на показатель энергии прорастания семян редиса

Вариант эксперимента	Энергия прорастания, %	
	Показатель	Отклонение от контроля
Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана		
Контроль	93	–
0,0001 М	94	+1
0,00001 М	93	–
0,000001 М	100	+7
Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана		
Контроль	92	–
0,001 М	98	+6
0,0001 М	92	–
0,00001 М	99	+7
0,000001 М	97	+5
Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана		
Контроль	99	–
0,001 М	100	+1
0,0001 М	95	–4
0,00001 М	100	+1
0,000001 М	95	–4

В результате исследований по изучению влияния растворов исследуемых соединений на всхожесть семян редиса были получены данные, которые отражены в таблице 2.

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что влияние растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана на семена редиса проявлялось в статистически достоверном повышении их всхожести. При этом стимулирующий эффект увеличивался с уменьшением концентрации растворов. Растворы всех опытных

концентрацій гідроксалата метилбис(фенилметил)-γ-(N-циклогексил)аминопропилсилана положительно впливали на всхожість насіння редиса. Значительного впливу розчини гідроксалата метилбис(фенилметил)-γ-пирролидинопропилсилана на всхожість насіння редиса не оказували. Тільки найбільш концентрований розчин 0,001 М понижав цей показник на 6% порівняно з контролем.

Таблиця 2 – Вплив розчинів досліджуваних сполук на показник всхожості насіння редиса

Варіант експерименту	Всхожість, %	
	Показник	Відхилення від контролю
Гідроксалат метилбис(фенилметил)-γ-пиперидинопропилсилана		
Контроль	95	–
0,0001 М	95	–
0,00001 М	98	+3
0,000001 М	100	+5
Гідроксалат метилбис(фенилметил)-γ-(N-циклогексил)аминопропилсилана		
Контроль	94	–
0,001 М	100	+6
0,0001 М	100	+6
0,00001 М	97	+3
0,000001 М	99	+5
Гідроксалат метилбис(фенилметил)-γ-пирролидинопропилсилана		
Контроль	98	–
0,001 М	92	–6
0,0001 М	97	–1
0,00001 М	97	–1
0,000001 М	98	–

Аналіз отриманих даних про вплив розчинів гідроксалата метилбис(фенилметил)-γ-пиперидинопропилсилана на довжину зародкових корешків насіння редиса, представлених в таблиці 3, показує, що найменш концентрований розчин оказував статистично достовірне інгібуюче вплив. Показники інших концентрацій суттєво не відрізнялися від контролю.

Таблиця 3 – Довжина зародкових корешків насіння редиса, оброблених розчинами гідроксалата метилбис(фенилметил)-γ-пиперидинопропилсилана

Час, годин	Довжина $x \pm m$, мм			
	Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$84,28 \pm 3,82$	$84,67 \pm 4,07$	$88,67 \pm 4,04$	$72,58^{**} \pm 3,84$
** при рівні значимості $p < 0,05$				

Обробка насіння розчинами гідроксалата метилбис(фенилметил)-γ-(N-циклогексил)аминопропилсилана призводила до достовірному зниженню прироста ко-

решков редиса. При этом ингибирующий эффект возрастал по мере увеличения концентрации растворов гидрооксалата (таблица 4).

Таблица 4 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана

Время, часов	Длина $x \pm m$, мм				
	Контроль	0,001 М	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$87,98 \pm 5,26$	$60,06^* \pm 2,68$	$69,06^* \pm 3,27$	$72,14^{**} \pm 3,08$	$78,32 \pm 3,18$
* при уровне значимости $p < 0,01$					
** при уровне значимости $p < 0,05$					

Как видно из таблицы 5, растворы гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана во всех вариантах эксперимента вызывают статистически достоверное понижение роста зародышевых корешков по сравнению с контролем. Наибольшее ингибирующее влияние оказал самый концентрированный раствор, прирост длины корешков в этом варианте эксперимента оказался ниже контроля более чем в два раза.

Таблица 5 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана

Время, часов	Длина $x \pm m$, мм				
	Контроль	0,001 М	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$96,61 \pm 3,90$	$43,77^* \pm 2,63$	$54,18^* \pm 3,34$	$75,47^* \pm 4,23$	$77,46^* \pm 4,45$
* при уровне значимости $p < 0,01$					

Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана, проявивший в лабораторных условиях наибольший стимулирующий эффект, был изучен нами на предмет рострегулирующей активности в полевых условиях.

В ходе проведенного эксперимента было выявлено достоверное повышение показателя энергии прорастания семян редиса, обработанных 0,00001 и 0,0001 М растворами исследуемого гидрооксалата. Как видно из данных таблицы, обработка семян редиса 0,00001 и 0,0001 М растворами гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана повышала энергию прорастания семян на 7% и 13% соответственно по сравнению с контролем. Как показывают данные таблицы 6, с уменьшением концентрации растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана, его стимулирующий эффект в отношении энергии прорастания семян редиса уменьшается.

Таблица 6 – Влияние растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана на энергию прорастания семян редиса в полевых условиях

Вариант эксперимента	Энергия прорастания, %	
Контроль	80	–
0,0001 М	93	+13
0,00001 М	87	+7
0,000001 М	81	+1

Данные по влиянию растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана на всхожесть семян редиса в полевых условиях представлены в таблице 7.

Данные таблицы 7 демонстрируют повышение всхожести семян редиса, обработанных 0,0001 М и 0,00001 М растворами изучаемого соединения по сравнению с контролем на 7% и 4% соответственно по сравнению с контролем.

Таблица 7 – Влияние растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана на всхожесть семян редиса в полевых условиях

Вариант эксперимента	Всхожесть, %	
Контроль	86	–
0,0001 М	93	+7
0,00001 М	90	+4
0,000001 М	84	–2

При исследовании влияния растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана на урожайность редиса были получены данные, отраженные в таблице 8.

Как видно из приведенных в таблице 8 данных, растворы гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана во всех опытных концентрациях повышают урожайность корнеплодов редиса по сравнению с контролем.

Таблица 8 – Влияние растворов гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана на массу корнеплодов редиса

Масса корнеплода, г			
Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
$2,73 \pm 0,15$	$3,74^{**} \pm 0,21$	$3,19 \pm 0,20$	$3,06 \pm 0,17$
** достоверно при уровне значимости $p < 0,05$			

2. Рострегулирующая активность гидрооксалатов метилдибутил- γ -аминопропилсиланов

Данные о влиянии растворов гидрооксалатов метилдибутил- γ -аминопропилсиланов на энергию прорастания представлены в таблице 9.

Как видно из представленных в таблице 9 данных, наибольшим стимулирующим эффектом обладают гидрооксалат метилдибутил- γ -пирролидинопропилсилана и гидрооксалат метилдибутил- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана. Гидрооксалат метилдибутил- γ -пирролидинопропилсилана во всех опытных концентрациях, кроме максимальной (0,001 М), обладает довольно выраженным стимулирующим эффектом в отношении энергии прорастания семян редиса и повышает данный показатель на 12–18% по сравнению с контролем. В своей максимальной опытной концентрации (0,001 М) указанное соединение проявляет явный ингибирующий эффект и значительно понижает показатель энергии прорастания по сравнению с контролем. Гидрооксалат метилдибутил- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана в концентрациях 0,0001 М и 0,000001 М также повышает энергию прорастания на 14% и 15% соответственно по сравнению с контролем.

Таблица 9 – Влияние растворов гидрооксалатов метилдибутил-γ-аминопропилсиланов на показатель энергии прорастания семян редиса

Вариант эксперимента	Энергия прорастания, %	
	Показатель	Отклонение от контроля
Гидрооксалат метилдибутил-γ-пирролидинопропилсилана		
Контроль	81	–
0,001 М	55	–26
0,0001 М	99	+18
0,00001 М	93	+12
0,000001 М	97	+16
Гидрооксалат метилдибутил-γ-пиперидинопропилсилана		
Контроль	90	–
0,0001 М	92	+2
0,00001 М	86	–4
0,000001 М	85	–5
Гидрооксалат метилдибутил-γ-(N-циклогексил)аминопропилсилана		
Контроль	80	–
0,0001 М	94	+14
0,00001 М	75	–5
0,000001 М	95	+15

Анализируя данные о влиянии вышеназванных соединений на всхожесть, которые представлены в таблице 10, можно отметить, что растворы гидрооксалата метилдибутил-γ-пирролидинопропилсилана оказывают неодинаковое влияние на всхожесть семян редиса. В своей максимальной опытной концентрации указанное соединение обладает явным ингибирующим эффектом, в то время как 0,0001 М и 0,000001 М растворы повышают всхожесть на 5% и 3% соответственно по сравнению с контролем. Ингибирующий эффект в отношении всхожести семян редиса во всех опытных концентрациях проявляет и гидрооксалат метилдибутил-γ-пиперидинопропилсилана. Гидрооксалат метилдибутил-γ-(N-циклогексил)аминопропилсилана в своей минимальной концентрации повышает всхожесть семян на 5% по сравнению с контролем, а в концентрации 0,00001 М – понижает данный показатель на 14%.

Таблица 10 – Влияние растворов гидрооксалатов метилдибутил-γ-аминопропилсиланов на показатель всхожести семян редиса

Вариант эксперимента	Всхожесть, %	
	Показатель	Отклонение от контроля
1	2	3
Гидрооксалат метилдибутил-γ-пирролидинопропилсилана		
Контроль	92	–
0,001 М	56	–36
0,0001 М	97	+5

Продолжение таблицы 10

1	2	3
0,00001 М	90	-2
0,000001 М	95	+3
Гидрооксалат метилдибутил-γ-пиперидинопропилсилана		
Контроль	95,5	–
0,0001 М	87	-8,5
0,00001 М	84	-11,5
0,000001 М	82	-13,5
Гидрооксалат метилдибутил-γ-(N-циклогексил)аминопропилсилана		
Контроль	94	–
0,0001 М	94	–
0,00001 М	80	-14
0,000001 М	99	+5

Гидрооксалат метилдибутил-γ-пирролидинопропилсилана в своей максимальной опытной концентрации проявляет явный ингибирующий эффект, а в минимальной – стимулирующий эффект в отношении прироста длины зародышевых корешков (таблица 11).

Таблица 11 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата метилдибутил-γ-пирролидинопропилсилана

Время, часов	Длина корешков $x \pm m$, мм				
	Контроль	0,001 М	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$62,04 \pm 2,10$	$16,33^* \pm 2,40$	$56,75 \pm 1,56$	$64,42 \pm 2,00$	$72,93^* \pm 1,85$
* при уровне значимости $p < 0,01$					

Данные таблицы 12 показывают незначительное влияние растворов гидрооксалата метилдибутил-γ-пиперидинопропилсилана на всхожесть семян редиса.

Таблица 12 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата метилдибутил-γ-пиперидинопропилсилана

Время, часов	Длина корешков $x \pm m$, мм			
	Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$88,70 \pm 2,30$	$68,91^* \pm 2,93$	$87,99 \pm 3,97$	$86,40 \pm 3,92$
* при уровне значимости $p < 0,01$				

Из приведенных в таблице 13 данных можно сделать заключение, что гидрооксалат метилдибутил-γ-(N-циклогексил)-аминопропилсилана в своей минимальной опытной концентрации оказывает стимулирующий эффект в отношении прироста длины зародышевых корешков прорастающих семян.

Таблица 13 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата метилдибутил- γ -(N-циклогексил)-аминопропилсилана

Время, часов	Длина корешков $x \pm m$, мм			
	Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	67,82 $\pm$ 3,74	72,13 $\pm$ 2,49	67,47 $\pm$ 3,88	85,68* $\pm$ 4,02
* при уровне значимости $p < 0,01$				

3. Рострегулирующая активность гидрооксалатов бутилметил(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов

Данные таблицы 14 свидетельствуют о неоднозначном влиянии гидрооксалатов бутилметил(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов на энергию прорастания. Так, 0,00001 М и 0,000001 М растворы гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана повышают данный показатель на 16% и 17% соответственно по сравнению с контролем. Все опытные растворы гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана незначительно понижают изучаемый критерий роста и развития растений по сравнению с контролем. Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана в максимальной опытной концентрации понижает энергию прорастания, а в остальных – повышает данный показатель.

Таблица 14 – Влияние растворов гидрооксалатов бутилметил(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов на показатель энергии прорастания семян редиса

Вариант эксперимента	Энергия прорастания, %	
	Показатель	Отклонение от контроля
Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана		
Контроль	95	–
0,0001 М	87	–8
0,00001 М	98	+3
0,000001 М	97	+2
Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана		
Контроль	90	–
0,0001 М	85	–5
0,00001 М	87	–3
0,000001 М	87	–3
Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана		
Контроль	80	–
0,0001 М	80	–
0,00001 М	96	+16
0,000001 М	97	+17

Данные о влиянии гидрооксалатов бутилметил(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов на показатель всхожести семян редиса, представленные в таблице 15, в целом согласуются с данными о влиянии изучаемых соединений на энергию

прорастания. Все опытные растворы гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана повышают, а все опытные растворы гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана понижают показатель всхожести семян редиса по сравнению с контролем. Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана в максимальной опытной концентрации понижает всхожесть, а в остальных – повышает данный показатель.

Таблица 15 – Влияние растворов гидрооксалатов бутилметил(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов на показатель всхожести семян редиса

Вариант эксперимента	Всхожесть, %	
	Показатель	Отклонение от контроля
Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана		
Контроль	97	–
0,0001 М	90	–7
0,00001 М	100	+3
0,000001 М	100	+3
Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана		
Контроль	95	–
0,0001 М	87	–8
0,00001 М	90	–5
0,000001 М	92	–3
Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана		
Контроль	82	–
0,0001 М	94	+8
0,00001 М	98	+12
0,000001 М	96	+10

Приведенные в таблице 16 данные показывают незначительное влияние растворов гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана на прирост длины зародышевых корешков. Только 0,0001 М раствор исследуемого соединения достоверно понижает данный показатель по сравнению с контролем.

Таблица 16 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана

Время, часов	Длина корешков $x \pm m$, мм			
	Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$59,78 \pm 2,99$	$48,44^{**} \pm 2,99$	$64,82 \pm 2,43$	$62,88 \pm 2,89$
** при уровне значимости $p < 0,05$				

На основании данных, приведенных в таблице 17, можно говорить о незначительном влиянии растворов гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана на прирост длины зародышевых корешков.

Таблица 17 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана

Время, часов	Длина корешков $x \pm m$, мм			
	Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$37,73 \pm 1,91$	$36,74 \pm 1,73$	$37,99 \pm 1,82$	$41,84 \pm 2,31$

Как видно из приведенных в таблице 18 данных, значительным стимулирующим эффектом обладает 0,00001 М раствор гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана.

Таблица 18 – Длина зародышевых корешков семян редиса, обработанных растворами гидрооксалата бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана

Время, часов	Длина корешков $x \pm m$, мм			
	Контроль	0,0001 М	0,00001 М	0,000001 М
144	$56,05 \pm 3,71$	$50,04 \pm 3,32$	$69,73^* \pm 3,70$	$61,98 \pm 3,54$
* при уровне значимости $p < 0,01$				

Заклучение

Сравнительный анализ активности гидрооксалатов γ -аминопропилсиланов показал, что одно и то же соединение проявляет себя по-разному в отношении различных показателей роста и развития растений. Так, опытные растворы гидрооксалата метилбис(фенилметил)- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана повышают энергию прорастания и всхожесть семян редиса по сравнению с контролем, но вызывают ингибирующий эффект в отношении прироста длины зародышевых корешков.

Исследование показало, что активность одного соединения в лабораторном и полевом эксперименте может несколько отличаться. Так, гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана в концентрации 0,0001 М оказывает незначительное влияние на энергию прорастания, всхожесть и общий прирост длины зародышевых корешков прорастающих семян редиса в лабораторных условиях (значения соответствующих показателей в опыте и контроле практически одинаковы). Однако в полевых условиях у семян, обработанных данным раствором гидрооксалата, повышается энергия прорастания и всхожесть на 13% и 7% соответственно по сравнению с контролем. Кроме того, в данной концентрации изучаемое соединение достоверно повышает урожайность корнеплодов редиса по сравнению с контролем.

В связи с вышесказанным можно отметить, что перспективным направлением дальнейших исследований гидрооксалатов γ -аминопропилсиланов могло бы стать выявление механизма их действия на растительные объекты.

Проведенное исследование позволило выявить наиболее перспективные соединения и их концентрации, оказывающие стимулирующий эффект в отношении различных критериев роста и развития растений. Гидрооксалат метилдибутил- γ -(N-циклогексил)аминопропилсилана в концентрации 0,000001 М повышает энергию про-

растения и всхожесть семян редиса на 15% и 5% соответственно по сравнению с контролем и достоверно повышает прирост длины зародышевых корешков. Гидрооксалат бутилметил(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана в концентрациях 0,00001 М и 0,000001 М повышает энергию прорастания семян редиса на 16% и 17% соответственно по сравнению с контролем, а всхожесть – на 12% и 10% соответственно. Растворы указанного соединения также стимулируют прирост длины зародышевых корешков. Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана в концентрации 0,0001 М повышает энергию прорастания и всхожесть редиса в полевых условиях на 13% и 7% соответственно по сравнению с контролем и способствует повышению урожайности корнеплодов редиса.

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 др.] ; 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. Ламакова, В.А. Біялагічная актыўнасць крэмнійарганічных злучэнняў 2*Гідрааксалаты метылдыбутыл- γ -амінапрапілсіланаў / В.А. Ламакова [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2006. – № 3. – С. 81–90.
6. Ламакова, В.А. Біялагічная актыўнасць крэмнійарганічных злучэнняў 4. Гідрааксалаты метылбутылбензіл- γ -амінапрапілсіланаў / В.А. Ламакова [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2007. – № 1. – С. 100–107.
7. Ерчак, Н.П. Гидрооксалат метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропил-силана / Н.П. Ерчак [и др.] // Журнал общей химии. – 2008. – Т. 78. – Вып. 9. – С. 1580–1581.
8. Erchak, N. Dibenzyl(methyl)[γ -(1-piperidyl)propyl]silane Hydrooxalate / N. Erchak [et al.] // Zhurnal Obshchei Khimii. – 2008. – Vol. 78. – № 9. – P. 1819–1820.
9. Коваленко, В.В. Гидрооксалаты метилбис(фенилметил)- γ -пирролидинопропилсилана и метилбис(фенилметил)- γ -пиперидинопропилсилана / В.В. Коваленко, А. Ювко, Э. Лиепиньш // Латвийский химический журнал. – 2008. – № 4. – С. 398–399.
10. Коваленко, В.В. Рострегулирующая активность гидрооксалатов метилбис(фенилметил)- γ -аминопропилсиланов / В.В. Коваленко, О.О. Ломакова, Н.П. Ерчак // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2010. – № 1. – С. 52–59.
11. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Министерство 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 институт растениеводства : Изд-во стандартов, 1975. – 23 с.
13. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 316 с.

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

N.P. Erchak, A. Jówko, V.V. Kavalenka, V.A. Lamakova. Comparative Activity of Hydrooxalates of γ -Aminopropylsilanes

The growth regulating activity of hydrooxalates of γ -aminopropylsilanes which are new organosilicon compounds synthesized at the department of chemistry of Brest State University named after A. Pushkin was studied. There were defined the concentrations of their aqueous solutions which stimulate as well as inhibit germination energy of radish seeds, their germination capacity, general length growth of the embryonic roots of the germinating seeds and their productivity. The most worthwhile compounds and their concentrations were found.