

УДК 631.811.98

С.М. Ленивко, Ю.В. Кирисюк, Н.П. Ерчак**ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ МОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ
БИСИЛИЛЬНЫХ ПЯТИКООРДИНИРОВАННЫХ
СОЕДИНЕНИЙ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ ТРЕХ ВИДОВ ГАЗОННЫХ ТРАВ**

Проведена оценка влияния малых мольных концентраций (10^{-4} и 10^{-5}) водных растворов D и L оптических изомеров двух бисилильных пятикоординированных соединений (E-2066 и E-2076) на лабораторную всхожесть и рост проростков мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), полевицы обыкновенной (*Agrostis vulgaris* With.), овсяницы красной (*Festuca rubra* L.). Установлены концентрации, показывающие статистически достоверный стимулирующий эффект по изученным морфофизиологическим показателям.

Роль кремния как биогенного элемента велика для растений. Благоприятное действие кремния в составе кремнезема и силикатов, в первую очередь, на рост различных видов растений доказано многими авторами [3]. В литературе имеются сведения о возможности повышения природной устойчивости растений с помощью соединений кремния к различным абиогенным стрессовым факторам. Так, в работе В.В. Матыченкова экспериментально доказано, что при оптимальном кремниевом питании повышаются всхожесть семян и устойчивость растений к солевой токсичности, нехватке воды, низким температурам, присутствию тяжелых металлов и других загрязняющих веществ. В частности, отсутствие кремния неблагоприятно влияет на всхожесть, рост и урожайность зерновых, в основном, риса, а также сахарного тростника, подсолнечника, таких культур, как картофель, свекла, морковь, огурцы и томаты [9]. Повышенная засухоустойчивость растений связывается со способностью поликремниевых кислот удерживать молекулы воды внутри растительного организма с последующим их высвобождением в условиях почвенной и воздушной засухи [8]. Кремнийорганические соединения могут повышать устойчивость растений, стабилизируя клеточные мембраны путем упрочнения белково-липидных связей. Показано, что промышленный препарат мивал (1-хлорметилсилатран) в растительной клетке метаболизируется на два основных структурных компонента – триэтаноламин и хлорметилполисилоксан. Фундаментальное свойство полисилоксанов – гидрофобизация смачиваемых поверхностей [5; 11, с. 362].

Основным источником кремния для растений является почва. Кремний поглощается растениями в виде растворенных кремниевых кислот, силикатов и коллоидного кремнезема. Лишь немногие растения (злаки, осоки, пальмы, хвощи) могут концентрировать кремний, получая его из почвы. Ассимиляция кремнезема является не простой диффузией раствора кремнекислоты, а метаболическим процессом. Однако метаболический процесс ассимиляции кремния растениями в основе также является диффузионным, но до тех пор, пока количество доставляемого кремнезема не превысит потребности растения. После этого диффузия начинает регулироваться физиологической системой растения [1, с. 11].

Показано, что растения способны к перераспределению кремния внутри организма и обладают механизмом, обеспечивающим его целенаправленное концентрирование в органах и/или тканях, подверженных стрессу [9]. У злаков этот элемент в основном концентрируется в стебле [7]. Полагают, что поглощенная растениями кремнекислота прежде всего связывается с низкомолекулярными углеводами, а затем, по мере их трансформации в целлюлозу, накапливается с ней в стенках клеток [4, с. 121]. Накопление кремния может происходить как в оболочке, так

и внутри клетки – в виде конкреций кремнезема, причем окремнение обычно начинается с клеточной мембраны, откуда оно может распространяться как внутрь клетки, так и наружу. Кремнекислота может пропитывать или покрывать наружные стенки клеток. Везде, где стенки клеток утолщены целлюлозой или лигнином, они пропитаны и кремнеземом. Кремнийсодержащие клетки наиболее часто располагаются в эпидермисе растений [4, с. 115]. Таким образом, от способности растений накапливать кремний в своих тканях зависит крепость стебля, устойчивость к полеганию и в целом к негативному воздействию внешних факторов.

В связи с потенциальными возможностями кремния, а также с имеющимися важными практическими результатами в настоящее время ведется поиск и синтез доступных его форм для растений. Перспективность проводимых нами исследований связана с выявлением положительных фактов влияния новых синтезированных бицилильных пятикоординированных соединений на морфофизиологические показатели растений различных видов газонных трав, испытывающих повышенную нагрузку, связанную с антропогенным воздействием на условия их произрастания.

Объекты и методы исследования

Объектом наших исследований явились семена трех видов многолетних злаков – мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), полевица обыкновенная (*Agrostis vulgaris* With.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), используемых для составления смесей газонных трав. Выбор объекта исследования, в первую очередь, обусловлен различным процентным содержанием кремния в сухом веществе растений этих видов. Так, по данным М.Г. Воронкова, овсяница красная содержит 0,77%, полевица обыкновенная – 1,35% кремния, а наибольший процент кремния (3,53%) содержит мятлик луговой [4, с. 99–101]. Поскольку средообразующая роль злаков, а также их практическая значимость связаны с особенностями морфологии, то при выборе объекта учитывались особенности типа кушения. Так, овсяница красная является примером рыхлокустовых злаков, у которых наиболее сильные побеги находятся в средней части зоны кушения. У мятлика лугового наиболее сильные побеги закладываются в нижней части зоны кушения, что способствует быстрому разрастанию этого рыхлокустового злака [2, с. 101]. Полевица обыкновенная – рыхлодерновинное растение с укороченным корневищем [8, с. 36].

В ходе биологических исследований была проведена серия экспериментов с использованием D и L оптических изомеров двух бицилильных пятикоординированных соединений (Е-2066 и Е-2076), хорошо растворимых в воде и устойчивых к гидролизу, в малых концентрациях 10^{-4} М и 10^{-5} М. Контролем служила дистиллированная вода и эпин в концентрации, рекомендованной производителем (0,025 г/л).

В каждом варианте опыта была использована навеска приблизительно 100 семян. Проращивали семена в стаканах объемом 50 мл на фильтровальной бумаге, увлажненной исследуемым соединением определенной концентрации, при комнатной температуре. Для создания оптимальной влажности и меньшего испарения стаканы закрывали крышками из фольги. По мере подсыхания добавляли дистиллированную воду. Реакцию мятлика лугового, овсяницы красной и полевицы обыкновенной на обработку их семян различными концентрациями исследуемых соединений оценивали по проценту проросших семян на 10 сутки эксперимента и средней длине проростков. Средняя длина проростков измерялась у 30 растений в каждом варианте опыта.

Полученные данные лабораторных исследований по рострегулирующей активности малых молярных концентраций водных растворов Е-2066D, Е-2066L, Е-2076D, Е-2076L обрабатывали с использованием стандартного пакета анализа данных программы Excel. Достоверность данных определяли по t-критерию Стьюдента [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований влияния малых мольных концентраций водных растворов соединений Е-2066D, Е-2066L, Е-2076D, Е-2076L на морфофизиологические показатели растений трех видов газонных трав приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние малых мольных концентраций соединений Е-2066 и Е-2076 на лабораторную всхожесть семян трех видов газонных трав

Вариант опыта	Лабораторная всхожесть, %		
	овсяница красная	полевица обыкновенная	мятлик луговой
Е-2066D			
10 ⁻⁴ М	58,1 ± 5,3	45,5 ± 6,1	45,5 ± 6,1
10 ⁻⁵ М	85,2 ± 4,8*	55,3 ± 7,3	38,8 ± 5,4
Е-2066L			
10 ⁻⁴ М	58,5 ± 5,1	47,1 ± 4,9	46,2 ± 6,2*
10 ⁻⁵ М	69,8 ± 4,3	21,1 ± 4,2	43,8 ± 5,5
Е-2076D			
10 ⁻⁴ М	70,4 ± 5,1	64,7 ± 5,2*	31,3 ± 5,7
10 ⁻⁵ М	51,7 ± 5,4	31,3 ± 5,7	27,3 ± 5,5
Е-2076L			
10 ⁻⁴ М	62,2 ± 4,3	45,0 ± 5,0	39,4 ± 5,0
10 ⁻⁵ М	43,3 ± 4,9	57,8 ± 5,4	38,0 ± 5,1
Контроль	67,1 ± 5,6	47,6 ± 5,5	30,2 ± 5,0
Эпин	7,6 ± 3,0	36,1 ± 5,7	10,9 ± 3,2

Примечание – * – достоверно при уровне значимости $P < 0,05$

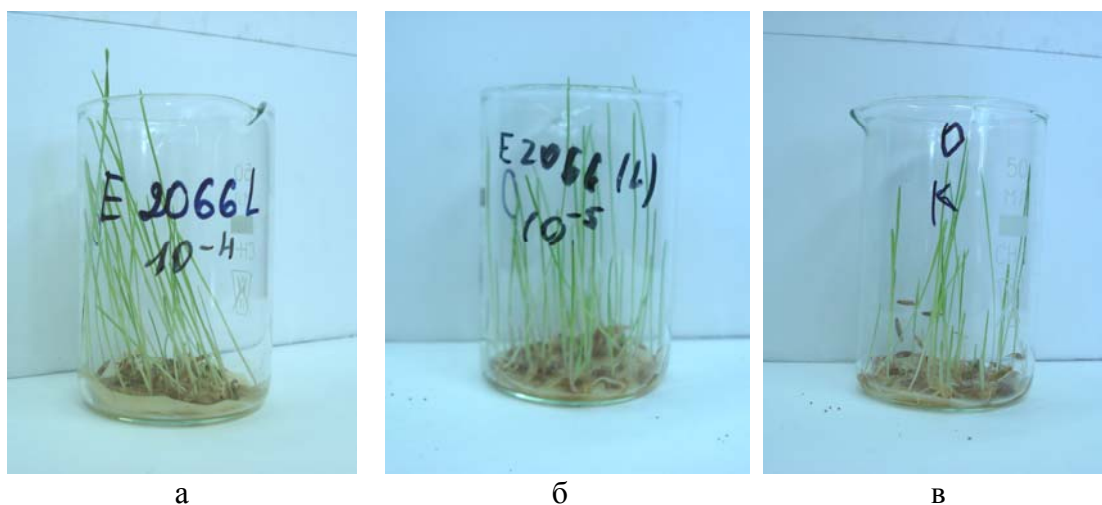
Таблица 2 – Влияние малых мольных концентраций соединений Е-2066 и Е-2076 на длину проростка трех видов газонных трав

Вариант опыта	Длина проростка, мм		
	овсяница красная	полевица обыкновенная	мятлик луговой
Е-2066D			
10 ⁻⁴ М	42,1 ± 2,42	12,4 ± 1,15	18,5 ± 1,21
10 ⁻⁵ М	35,5 ± 2,77	16,4 ± 1,03	11,4 ± 1,18
Е-2066L			
10 ⁻⁴ М	48,3 ± 2,49**	15,6 ± 0,83	18,3 ± 1,06
10 ⁻⁵ М	50,4 ± 2,43**	10,5 ± 0,69	17,4 ± 1,48
Е-2076D			
10 ⁻⁴ М	43,4 ± 2,68	18,6 ± 0,64	23,7 ± 2,15**
10 ⁻⁵ М	42,2 ± 3,64	21,9 ± 1,32	13,3 ± 1,12
Е-2076L			
10 ⁻⁴ М	41,1 ± 2,05	13,4 ± 0,91	14,7 ± 1,07
10 ⁻⁵ М	42,8 ± 3,36	16,5 ± 0,72	14,0 ± 1,10
Контроль	39,0 ± 2,40	17,3 ± 1,23	15,4 ± 1,13
Эпин	21,0 ± 7,4	13,9 ± 0,75	7,2 ± 2,02

Примечание – ** – достоверно при уровне значимости $P < 0,01$

Наибольший достоверный стимулирующий эффект по показателю «лабораторная всхожесть» семян овсяницы красной был отмечен при применении 10^{-5} М концентрации соединения E-2066D (на 18,1% по сравнению с контролем). Также стимулирующий эффект был показан при обработке семян овсяницы красной 10^{-5} М раствором соединения E-2066L и 10^{-4} М раствором соединения E-2076D. Однако полученные данные оказались статистически недостоверными. По данному показателю наибольший достоверный стимулирующий эффект отмечен при воздействии 10^{-4} М раствором соединения E-2076D на семена полевицы обыкновенной (на 17,1% по сравнению с контролем). При обработке семян полевицы обыкновенной 10^{-5} М растворами соединений E-2066D и E-2076L наблюдалось также повышение показателя лабораторная всхожесть, хотя полученный результат статистически недостоверен. При обработке семян мятлика лугового соединением E-2066L в концентрации 10^{-4} М, процент проросших семян оказался на 16% выше по сравнению с контролем (при $P < 0,05$). Превышение контрольных данных по данному показателю у мятлика лугового наблюдалось еще в пяти вариантах опыта.

Оценка полученных результатов по второму показателю у трех видов газонных трав показала, что средняя длина проростков семян овсяницы красной по всем вариантам опыта, кроме 10^{-5} М раствора соединения E-2066D, превышала данные контроля. Причем воздействие исследуемыми концентрациями соединения E-2066L на семена овсяницы красной приводят к статистически достоверному эффекту по длине проростков (рисунок 1).



а – 10^{-4} М раствор соединения E-2066L,
б – 10^{-5} М раствор соединения E-2066L, в – контроль

Рисунок 1 – Проростки овсяницы красной

Несколько хуже оказался результат по стимулированию роста проростков мятлика лугового. Так, только в четырех из восьми испытуемых концентраций наблюдался ростстимулирующий эффект. При этом различия опытных и контрольных групп семян были не столь значительны. Только данные стимулирующего рост проростков мятлика лугового при воздействии на его семена соединения E-2076D в концентрации 10^{-4} М подтверждены статистически. Обработка семян полевицы обыкновенной опытными концентрациями исследуемых соединений вызвала незначительный ингибирующий эффект по данному показателю, за исключением концентрации 10^{-5} М раствора соединения E-2076D. Применение эпина в качестве стимулятора прорастания семян и роста проростков, исследуемых трех видов газонных трав, оказалось неэффективным.

Заклучение

Проведенные в настоящей работе исследования по оценке влияния малых мольных концентраций D и L оптических изомеров двух биссилильных пятикоординированных соединений (Е-2066 и Е-2076) подтвердили установленную нами ранее биологическую эффективность применения малых мольных концентраций бис(фенилметильных) производных кремния [6] при обработке семян газонных трав.

Выявленный статистически достоверный (при $P < 0,05$) стимулирующий эффект по показателю лабораторная всхожесть при обработке семян овсяницы красной, полевицы обыкновенной и мятлика лугового в проведенных вариантах опыта не коррелирует с таковым по показателю длина проростков. Это, по-видимому, связано с тем, что физиологические процессы выхода семян из состояния покоя и роста проростков находятся под контролем различных фитогормонов и их концентраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабий, Л.Г. Кремний в водах зоны активного водообмена Белоруссии / Л.Г. Бабий. – Минск : Наука и техника, 1985. – 110 с.
2. Бавтуто, Г.А. Учебно-полевая практика по ботанике: для вузов / Г.А. Бавтуто. – Минск : Высш. шк., 1990. – 269 с.
3. Воронков, М.Г. Кремний в живой природе / М.Г. Воронков, И.Г. Кузнецов. – Новосибирск : Наука, 1984. – С.50–61.
4. Воронков, М. Г. Кремний и жизнь. Биохимия, фармакология и токсикология соединений кремния / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Я. Лукевиц. – 2-е изд. – Рига : Зинатне, 1978. – 587 с.
5. Воронков, М. Г. Новый биостимулятор – «Мивал» в сельском хозяйстве / М.Г. Воронков, И. Г. Кузнецов, В.М.Дьяков. – М. : Наука, 1982. – С.87–89
6. Гидрооксалат метилбис(фенилметил)-γ-пиперидинопропилсилана / Н.П. Ерчак, В.В. Коваленко, С.М. Ленивко [и др.] // Журнал общей химии. – 2008. – Т. 78. – Вып. 9. – С. 1580–1581.
7. Колесников, М.П. Формы кремния в растениях / М.П. Колесников // Успехи биологической химии. – 2001, т. 41. – С. 301–332.
8. Матыченков, В.В. Кремниевые удобрения как фактор повышения засухоустойчивости растений / В.В. Матыченков [и др.] / Агрохимия. – 2007, № 5. – С. 63–67.
9. Матыченков, В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: автореф. дис. ... док. биол. Наук : 24.12.2008 / В.В. Матыченков; Институт фундаментальных проблем биологии РАН. – Пущино, 2008. – 34 с.
10. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – 3-е изд. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 320 с.
11. Сельскохозяйственная биотехнология / В.С. Шевелуха [и др.]; под ред. В.С. Шевелухи. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 2003. – 469 с.

S.M. Lenivko, J.V. Kirisjuk, N.P. Erchak. The Influence of Small Mole Concentrations of Bissilyl Pentacoordinated Compounds on Morphophysiological Characteristics of Three Kinds of Lawn Grasses

There was estimated in the laboratory the influence of small mole concentrations (10^{-4} M and 10^{-5} M aqueous solutions of D and L optical isomers of the two bissilyl pentacoordinated compounds E-2066 and E-2076) on germinating power and sprouts growth of *Poa pratensis* L., *Agrostis vulgaris* With. and *Festuca rubra* L. Concentrations revealing statistically reliable stimulating effect according to morphophysiological characteristics were defined.