

УДК 577.1; 577.1+577.11+577.2+581.1

**И.В. Минаева¹, В.А. Цыганкова²,
С.Г. Пильо, С.В. Ключко, В.С.Броварец**
Институт биоорганической химии и нефтехимии
им. В.П. Кухаря НАН Украины,
г. Киев, Украина

СКРИНИНГ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ СРЕДИ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРИМИДИНА

***Аннотация** Проведены исследования регулирующей активности новых синтетических производных пиримидина на прорастание семян и рост растений сахарного гороха (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*). Установлено, что применение производных пиримидина в концентрации 10^{-7} М оказывает стимулирующее влияние на рост и развитие побегов и корневой системы растений в течение вегетации. Проанализирована взаимосвязь между химической структурой синтетических соединений и их биологической активностью. Предложено использование производных пиримидина, которые выявили наивысшую активность, в качестве новых эффективных стимуляторов роста и развития растений сахарного гороха (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*)*

**I.V. Minayeva, V.A. Tsygankova,
S.G. Pilyo, S.V. Klyuchko, V.S.Brovarets**
V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

SCREENING OF PLANT GROWTH STIMULANTS AMONG PYRIMIDINE DERIVATIVES

***Abstract.** The study of regulating activity of the new synthetic pyrimidine derivatives on germination of seeds and growth of sugar pea (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*) plants was conducted. It was found that the use of pyrimidine derivatives at a concentration of 10^{-7} M had a stimulating effect on the growth and development of shoot and root systems of plants during plant vegetation. The relationship between the chemical structure of synthetic compounds and their biological activity was analyzed. The application of pyrimidine derivatives that showed the highest activity as new effective stimulants of growth and development of sugar pea (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*) plants was proposed.*

Перспективным направлением усовершенствования технологии сельскохозяйственного производства является применение разнообразных химических средств управления биологическими процессами. Использование регуляторов роста растений позволяет повысить качественные характеристики растений и увеличить

урожайность сельскохозяйственных культур. Сокращаются затраты на выращивание растений, увеличивается рентабельность производства, в результате чего сельское хозяйство становится более интенсивным. Поэтому разработка и внедрение новых экологически чистых и эффективных регуляторов роста растений является актуальным направлением современной агробιοтехнологии [1].

В Институте биоорганической химии и нефтехимии (ИБОНХ) им. В.П.Кухаря НАН Украины разрабатываются новые синтетические регуляторы роста растений (кукурузы, сои, нута, пшеницы, ячменя, ржи, чечевицы, гороха, фасоли, тыквы, салата, огурца, томата, льна, рапса) на основе низкомолекулярных гетероциклических соединений, производных пиридина, пиримидина, пиразолотриазинона, фосфорилированных и N-сульфонил замещенных 1,3-оксазолов, [1,3]оксазоло[5,4-d]пиримидина и изофлавоноидов с биологической активностью либо подобной, либо превосходящей активность природных регуляторов роста (фитогормонов ауксинов (ИУК и НУК) и цитокининов (кинетина и БАП) [2-4].

Горох (*Pisum sativum L.*) - важная агрономическая однолетняя овощная культура. Ряд важных преимуществ делают культуру гороха очень востребованной и повсеместно выращиваемой: культура достаточно неприхотливая, дает хорошие урожаи, устойчива к пониженным температурам, чрезмерной влажности и кратковременным засухам, нетребовательна к предшественникам. Горох является ценным высококалорийным продуктом, содержащим множество питательных веществ, макро- и микроэлементов, белков, аминокислот и витаминов. Кроме того, горох является лучшим предшественником для многих других сельскохозяйственных культур, повышает плодородие почвы и урожайность в севообороте. Это типичный азотфиксатор, характеризующийся способностью корней поставлять малорастворимые и труднодоступные для злаков минеральные соединения из более глубоких слоев в пахотный слой.

Сахарный горох (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*) – один из подвидов гороха посевного, объединяющий большое количество сортов. Главной отличительной чертой, отличающей сахарные сорта гороха от луцильных, является отсутствие жесткого несъедобного пергаментного слоя на внутренней стороне створок бобов-лопаток. Благодаря этому зеленые бобы можно употреблять в пищу целиком, вместе с семенами: они очень нежные и сладкие. В сахарном горохе отсутствует токсичный фазин, вследствие чего бобы можно употреблять в сыром виде.

Целью данной работы является исследование влияния синтетических производных пириимидина на рост и развитие растений сахарного гороха (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*) на протяжении первых 3 недель вегетации.

Тестируемые химические соединения Поиск новых регуляторов роста сахарного гороха (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*) был осуществлён среди синтетических производных пириимидина: №1 – 2-этилсульфанил-6-метилпириимидин-4-ол, №2 – 6-метил-2-пропилсульфанилпириимидин-4-ол, №3 – 2-бензилсульфанил-6-метилпириимидин-4-ол, №4 – 2-изопропил-6-метил-пириимидин-4-ол, №5 – 4-гидроксипириимидин-2-тиолят натрия, №6 – 2 метилсульфанилпириимидин-4-ол, №7 – 2-бензилсульфанилпириимидин-4-ол.

Рострегулирующую активность синтетических соединений, применяемых в концентрации 10^{-7} М, сравнивали с активностью природного экзогенного ауксина ИУК (2-(1*H*-индол-3-ил)уксусная кислота), а также с активностью синтетических регуляторов роста растений, проявляющих подобную ауксином активность: Метиур (натриевая соль 6-метил-2-меркапто-4-гидроксипириимидина), Каметур (калиевая соль 6-метил-2-меркапто-4-гидроксипириимидина), Ивин (*N*-оксид-2,6-диметилпириидина) и 2,4-Д (2,4-дихлорофенокси)уксусная кислота), применяемых в аналогичной концентрации.

Условия выращивания растений Проростки сахарного гороха выращивали в лабораторных условиях. Проводили предпосевную обработку семян: стерилизацию 1 % раствором перманганата калия в течение 15 минут (для устранения грибковых заражений), после чего семена промывали 3 раза в отфильтрованной воде и замачивали в течение 24 часов в водных растворах соединений при концентрации 10^{-7} М при комнатной температуре (+27°C) в темноте. Контрольный раствор содержал отфильтрованную воду. Обработанные семена высаживали в кюветы с грунтом, проростки выращивали в световом блоке при температуре 26-28 °С, влажности воздуха 60-80%, освещении интенсивностью 3000 люкс и режиме 16/8 часов при световом дне в течение 3 недель. После чего измеряли морфометрические параметры трехнедельных растений [5].

Результаты и обсуждение Проведенные исследования показали, что производные пириимидина, используемые в концентрации 10^{-7} М в водном растворе, оказывают подобную ауксину ИУК активность, стимулируя формирование и развитие корневой системы и рост побегов у растений сахарного гороха (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef.*).

Проведенный анализ и статистическая интерпретация полученных в ходе скрининга данных свидетельствуют, что морфометрические показатели 3-недельных растений гороха, выращенных с предварительной обработкой семян в 10^{-7} М водном растворе производных пиримидина, превышали аналогичные показатели растений, выращенных на отфильтрованной воде (контроль) (Рис. 1 и Рис. 2).

По показателю прироста веса растений активность проявили (в порядке снижения средних значений): соединения №3 и №5 – 15,7 %, Каметур – 14,5 %, соединение № 2 – 13,3 %, 2,4-Д – 9,6 %, Ивин – 7,2 %, Метиур – 4,8 %, соединения № 4 и № 6 – 2,4 %, ИУК и № 1 – 1,2 %, по отношению к контролю. По показателю привеса корней активность проявили: 2,4-Д – 47,4 %, Каметур и соединения №3, №5 – 15,8 %, Ивин и соединение №2 – 10,5 %, соединение № 4 - 5,3%, по отношению к контролю. По показателю прироста длины побегов активность проявили: Каметур – 19,5%, № 3 – 17,8%, 2,4-Д – 16,9%, № 5 – 15,8%, ИУК – 13,5 %, № 6 – 10,7 %, Метиур – 10,2 %, Ивин – 9,3 %, № 4 – 8,5 %, № 2 – 8,3 %, № 7 – 6,1 %, по отношению к контролю. По показателю прироста длины главного корня активность проявили: соединение № 3 – 62,6 %, № 2 – 62,5 %, № 5 – 56,5 %, Каметур – 53,6 %, №6 – 52,4%, №7 – 48,6%, №4 – 39,8%, Ивин – 34,2%, Метиур – 33,2%, 2,4-Д – 24,1 %, № 1 – 13,2 %, ИУК – 10,4 %, по отношению к контролю (Рис. 1):

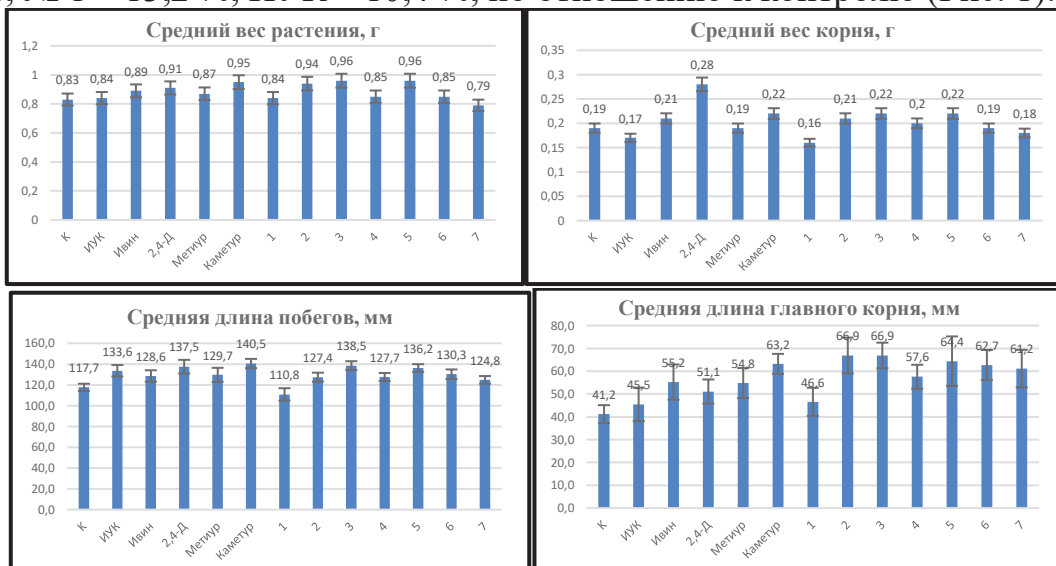


Рисунок 1. Морфометрические показатели 3-недельных растений сахарного гороха (средний вес растения (г), средний вес корня (г), средняя длина побегов (мм), средняя длина главного корня (мм)), выращенных с предварительной обработкой семян в 10^{-7} М водном растворе производных пиримидина, по сравнению с аналогичными показателями контрольных растений, выращенных на отфильтрованной воде (К)

По показателю прироста количества боковых корней активность проявили: соединение № 4 – 27,4%, № 2 – 16,2%, № 3 – 15,5%, Каметур

– 11,2%, соединение № 6 – 10,1%, соединение № 5 – 9,1%, соединение № 7 – 5,8%, ИУК – 3,7%, Ивин – 0,7%, по отношению к контролю. По показателю прироста длины боковых корней активность проявили: соединение № 7 – 64,4 %, № 3 – 51,7 %, № 5 – 44,5 %, Метиур – 33,8 %, ИУК – 28,2 %, Каметур и № 2 – 24,1 %, Ивин – 13,7 %, соединение № 4 – 9,5 %, 2,4-Д – 5,9 %, по отношению к контролю. По показателю прироста количества побегов с листьями на растении активность проявили: соединение № 5 – 45,9%, 2,4-Д – 44,1%, Каметур – 39,0%, Ивин – 25,7% , № 2 и № 7 – 17,6 %, Метиур – 15,5 %, № 6 – 14,7 %, № 1 и № 3 – 13,5 %, ИУК – 9, 5%, № 4 – 7,7%, по отношению к контролю. По показателю прироста количества листьев на растении активность проявили: 2,4-Д – 22,9 %, Каметур – 15,9 %, ИУК – 15,5 %, № 5 – 14,8 %, №3 – 13,9%, Ивин – 12,3%, №2 – 11,1%, Метиур – 11,0%, №7 – 7,6%, №4 – 7,1%, № 6 – 6,4%, № 1 – 1%, по отношению к контролю (Рис. 2):

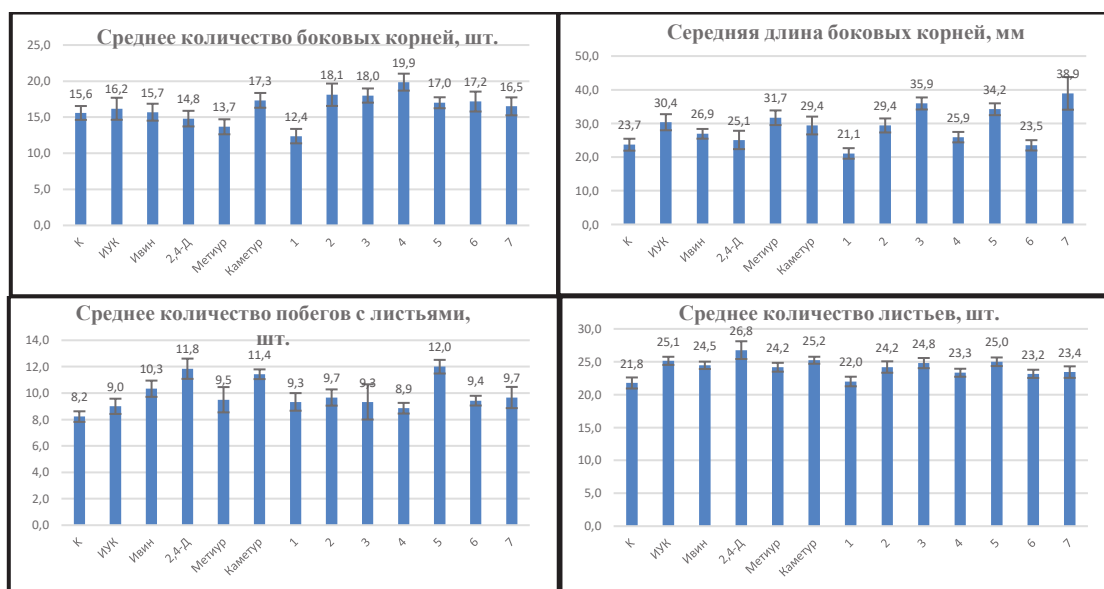


Рисунок 2. Морфометрические показатели 3-недельных растений сахарного гороха (среднее количество боковых корней (шт), средняя длина боковых корней (мм), среднее количество боковых побегов (шт), среднее количество листьев (шт)), выращенных с предварительной обработкой семян в 10^{-7} М водном растворе производных пиримидина, по сравнению с аналогичными показателями контрольных растений, выращенных на отфильтрованной воде (К)

Результаты проведенных исследований показали, что при обработке семян растений сахарного гороха водными растворами синтетических регуляторов роста Метиура, Каметура, Ивина и 2,4-Д, а также растворами тестируемых химических соединений - производных пиримидина №№ 1-7 в низкой, не токсичной для окружающей среды и здоровья человека концентрации 10^{-7} М, значительно улучшаются морфометрические параметры растений на протяжении периода вегетации.

В целом, путем обобщенного анализа по всем морфометрическим показателям, было установлено, что наивысшую ростстимулирующую активность проявили (в порядке снижения ростстимулирующей активности): Каметур (калиевая соль 6-метил-2-меркапто-4-гидроксипиримидина); производные пиримидина: соединения № 3 и №5, ауксин 2,4-Д (2,4-дихлорофенокси)уксусная кислота), а также соединение №2. Менее выраженную ростстимулирующую активность проявили: Метиур (натриевая соль 6-метил-2-меркапто-4-гидроксипиримидина); соединение №7, Ивин (*N*-оксид-2,6-диметилпиридина); соединения №6 и №4, а также ауксин ИУК (2-(1*H*-индол-3-ил)уксусная кислота).

Анализ химической структуры исследуемых химических соединений указывает на то, что наличие определённых боковых заместителей играет важную роль в связывании их молекул с активными сайтами молекул-мишеней, что обуславливает их высокую рострегулирующую активность. Наивысшую активность проявили: Каметур (калиевая соль 6-метил-2-меркапто-4-гидроксипиримидина); соединение №3, содержащее бензилтиогруппу в положении 2, гидроксильную группу в положении 4 и метильную группу в положении 6; соединение №5, являющееся натриевой солью 4-гидроксипиримидин-2-тиолята; ауксин 2,4-Д (2,4-дихлорофенокси)уксусная кислота); соединение №2, содержащее пропилтиогруппу в положении 2, гидроксильную группу в положении 4 и метильную группу в положении 6. Менее выраженную активность проявили: Метиур (натриевая соль 6-метил-2-меркапто-4-гидроксипиримидина); соединение №7, которое содержит бензилтиогруппу в положении 2 и гидроксильную группу в положении 4; Ивин (*N*-оксид-2,6-диметилпиридина); соединение №6, которое содержит метилтиогруппу в положении 2 и гидроксильную группу в положении 4; соединение №4, которое содержит изопропильный заместитель в положении 2, гидроксильную группу в положении 4 и метильную группу в положении 6, а также ИУК (2-(1*H*-индол-3-ил)уксусная кислота).

Выводы Полученные результаты подтверждают перспективность применения синтетических производных пиримидина, которые проявили наивысший уровень ростстимулирующей активности - соединений №№ 2, 3, 5, а также проявили менее выраженную активность - соединений №№ 4, 6 и 7 в качестве новых эффективных стимуляторов роста растений сахарного гороха. Предложено также практическое использование синтетических регуляторов роста, которые проявляют ауксиноподобную активность: производных

пиримидина - Каметура и Метиура, производного пиридина - Ивина, а также синтетического производного фенола - ауксина 2,4-Д для улучшения ростовых показателей растений сахарного гороха на протяжении периода вегетации, а также для повышения урожайности этой культуры.

Список использованных источников

1. Марчук Ю. М., Кондратюк О. О., Богуславец В. Ю., Ткачук О. О., Шевчук О. А. Аналіз масштабів застосування регуляторів росту стимулюючої дії в рослинництві. «Science without borders – 2018»: Materials of the XIII international scientific and practical conference. 2018. - Vol. 9. – P. 42–45.
2. Циганкова В.А., Волощук І.В., Андрусевич Я.В., Штомпель О.І., Копіч В.М., Ключко С.В., Броварець В.С. Застосування Івіну, Метиуру та Каметуру для регуляції росту рослин кукурудзи (*Zea mays* L.) сорту Діалог ФАО 300. Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів: збірник матеріалів доп. учасн. IV Всеукраїнської наук. конф., 10 квітня 2020 р. Дніпро, 2020. - С. 158–161.
3. Tsygankova V., Andrusevich Ya., Shtompel O., Kopich V., Solomyanny R., Bondarenko O., Brovarets V. Phytohormone-like effect of pyrimidine derivatives on regulation of vegetative growth of tomato. *International Journal of Botany Studies*. 2018, 3(2). P. 91-102.
4. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Shtompel O.I., Kopich V.M., Solomyanny R.M., Brovarets V.S. Study of regulating activity of synthetic low molecular weight heterocyclic compounds, derivatives of pyrimidine on growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings. *International Journal of ChemTech Research*. – 2019. - Vol.12 No.05. - P. 26-38.
5. Voytsehovska O.V., Kapustyan A.V., Kosik O.I., Musienko M.M., Olkhovich O.P., Panyuta O.O., Parshikova T.V., Glorious P.S. *Plant Physiology: Praktykum*, ed. Parshikova T.V. – Lutsk: Teren, 2010. - 420 p.