УДК 661.162.6

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НОВЫХ N-АЛКИЛ-2-ОКСО-1,2-ДИГИДРО-3-ПИРИДОНОВ НА ПРОРОСТКАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Яблонская Елена Карленовна
д.с.-х.н, профессор
РИНЦ SPIN код 2881 - 4547
yablonskay@mail.ru

Макарова Наталья Анатольевна
Старший преподаватель
РИНЦ SPIN-код 8364-2019
makarovanatalya@mail.ru

Кайгородова Елена Алексеевна
Д.х.н., профессор
РИНЦ SPIN код 2178-2519
e_kaigorodova@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13

В данной статье рассматривается синтез новых химических соединений — производных N-алкил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов — и их влияние на физиологические процессы у проростков озимой пшеницы сорта Адель. Были получены целевые структуры, подтверждено их строение физико-химическими методами и проведена оценка биологической активности в качестве потенциальных регуляторов роста растений. В рамках исследования были проведены лабораторные испытания по определению оптимальных концентраций веществ, а также изучено их воздействие на ключевые посевные качества: энергию прорастания, всхожесть, длину и массу ростков и корней. В результате экспериментов установлено, что все четыре синтезированных соединения оказывают направленное стимулирующее действие. Наиболее выраженный комплексный эффект (повышение всхожести, энергии прорастания и накопление биомассы) продемонстрировали вещества I и III. Соединение II специфически стимулирует развитие надземной части при ингибировании корневой системы, что может быть востребовано для определённых агротехнических задач. Соединение IV характеризуется высокой всхожестью, но проявляет нестабильность действия на другие показатели. Сделан вывод о перспективности использования данных производных пиридинов в сельском хозяйстве для активации прорастания семян и повышения урожайности, рекомендуется дальнейшее изучение этих веществ для внедрения в

UDC 661.162.6

4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences)

SYNTHESIS AND STUDY OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF NEW N-ALKYL-2-OXO-1,2-DIHYDRO-3-PYRIDONES ON WINTER WHEAT SEEDLINGS

Yablonskay Helena Karlenovna
Dr.Sci.Agr, professor
RSCI SPIN-code: 2881 – 4547
yablonskay@mail.ru

Makarova Natalia Anatolyevna
Senior lecturer
RSCI SPIN-code: 8364-2019
makarovanatalya@mail.ru

Kajgorodova Elena Alekseevna
Dr.Sci.Agr, professor
RSCI SPIN-code: 2178-2519
e_kaigorodova@mail.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia 350044, Kalinina, 13

This article describes the synthesis of new compounds—N-alkyl-2-oxo-1,2-dihydro-3-pyridone derivatives—and their effects on winter wheat seedlings of the Adele variety. The target structures were synthesized, their hardness was confirmed by physicochemical methods, and their biological activity as plant growth regulators was assessed. The study included laboratory tests to determine optimal concentrations of the substances and examined their effects on key crop qualities: germination energy, vigor, shoot length, and root weight. The experiments revealed that all four synthesized compounds exert a targeted stimulating effect. Substances I and III demonstrated the most pronounced combined effect (increased germination, vigor, and biomass accumulation). Compound II specifically stimulates the development of the aboveground part while inhibiting the root system, which may be useful for certain agricultural applications. Compound IV is characterized by high germination, but exhibits an inconsistent effect on other parameters. It is concluded that these pyridine derivatives hold promise in agriculture for activating seed germination and increasing yields. Further study of compounds for commercialization is recommended

производство

Ключевые слова: ПШЕНИЦА ОЗИМАЯ, РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА, ПРОИЗВОДНЫЕ ПИРИДИНОВ, СКОРОСТЬ РОСТА, ПОВЫШЕНИЕ ВСХОЖЕСТИ

Keywords: WINTER WHEAT, GROWTH REGULATORS, PYRIDINE DERIVATIVES, GROWTH RATE, INCREASED GERMINATION

http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-222-018

Ведение. Интерес к производным 2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов обусловлен широким спектром их возможной биологической активности и практического использования: лекарственные препараты, анальгетики, инотропы, картиотоники, витамины, пигменты, красители, полупродукты в тонком органическом синтезе, регуляторы роста растений [1-5,7-12,16,17,24].

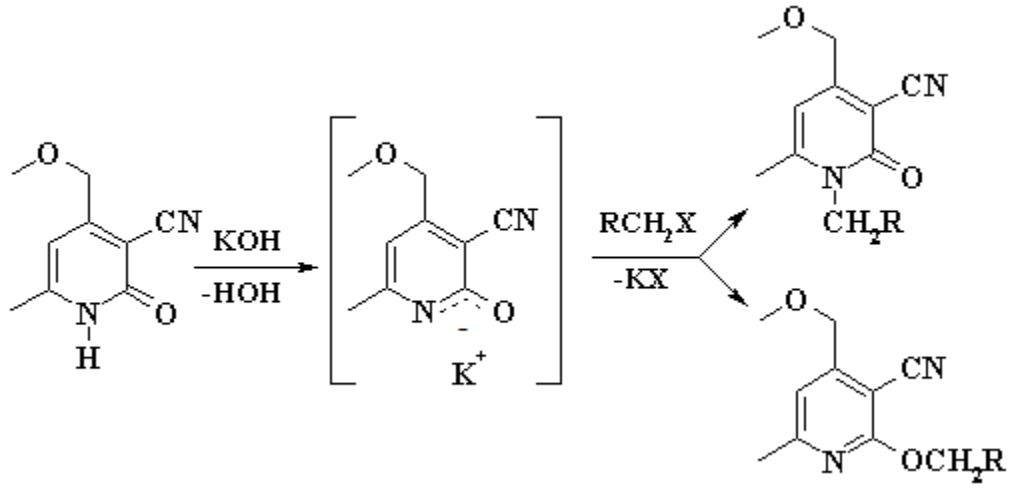
В литературе описаны возможные пути протекания алкилирования 2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов по атому кислорода - О –алкилирование и по атому азота N-алкилирование. На соотношение продуктов реакции алкилирования оказывает влияние структура 2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридинкарбонитрила, природа алкилирующих агентов, растворитель и катализаторы [2,5-7,13-18].

Так при алкилировании 2(1Н) – пиридинов галогеналканами в спирте в присутствии щелочи образуются преимущественно N –алкил-производные 2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов, а в ацетонитриле, диметилсульфоксиде – смесь изомеров. Увеличение длины радикала, наличие обьемного или акцепторного заместителя в шестом положении 2(1Н) – пиридона спослообствует образованию 2 алкокси производных [11,13,16,17,20-23].

Алкилирование К и Na солей замещенных 2(1Н) – пиридинов приводит к 2 алкоксипиридинам.bАналогичные результаты получают при алкилировании 2(1Н)-пиридонов в присутствии кислот, ДМФ в присутствии NaH в ацетоне, ацетонитриле или эфире [3,5].

Алкилирование 6-метил-4 метоксиметил-2-оксо-1,2-дигидро-3-придинкарбонитрила проводили разными галогеналканами в присутствии гидроксида калия (схема 1). В качестве растворителя в зависимости от природы алкилирующего агента использовали этанол, ацетонитрил или ДМФ.

Схема 1



Цель исследования. Синтезировать необходимые новые структуры производных N-алкил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов, доказать их химическую структуру и проверить их потенциальную биологическую активность на проростках озимой пшеницы (определить энергию прорастания, всхожесть, массу и длину проростков, скорость роста).

Материал и методика исследований. Исследования были проведены на базе кафедры химии КубГАУ в 2026 г. по общепринятым методикам.

В качестве объекта исследований использовали семена озимой пшеницы сорта Адель и синтезированные новые производные N-алкил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов.

Синтез соединений проводился методом алкилирования 6-метил-4-метоксиметил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридинкарбонитрила различными галогеналканами с использованием гидроксида калия. Структура полученных бесцветных кристаллических веществ подтверждена данными элементного анализа, УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии. Биологическая активность оценивалась в лабораторном скрининге на семенах озимой пшеницы (сорт Адель) по стандартным методикам ГОСТ 12038-84 при трёхкратной повторности. В качестве контроля использовалась дистиллированная вода и эталонное соединение I [25].

Таблица 1 - Спектральные характеристики синтезированных соединений

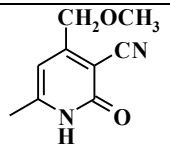
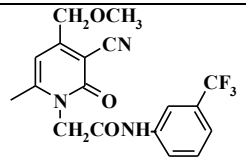
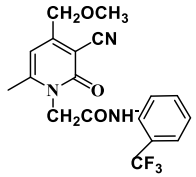
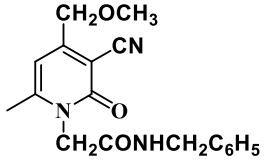
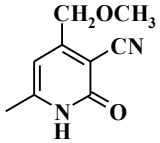
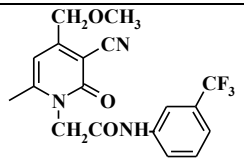
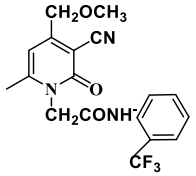
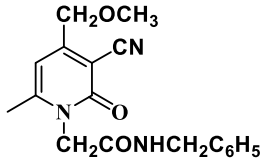
Соединение	Структура	Тпл, °С	Брутто-формула	найдено/вычислено %			УФ, λ мах, нм (lg ε)	Rf	Выход,%
				C	H	N			
1	 I	98-99	$C_9H_{10}N_2O_2$	71,40/71,62	5,80/6,01	10,27/10,44	219(4,06) 335(4,39)	0,82	93
2	 II	195-196	$C_{18}H_{13}F_3N_3O_3$	56,93/56,99	4,23/4,25	11,02/11,08	209(4,06) 245(4,52) 343(4,21)	0,29	86
3	 III	227-228	$C_{18}H_{13}F_3N_3O_3$	56,94/56,99	4,19/4,225	10,99/11,08	274(3,61) 344(3,94)	0,27	87
4	 IV	≥250	$C_{18}H_{19}N_2O_3$	56,90/56,89	4,23/4,213	10,89/11,03	224(3,76) 334(4,28)	0,58	83

Таблица 2 - Спектральные характеристики синтезированных соединений

Соединение	Структура	ИК спектр, υ, см-1			Спектр ЯМР , 1H, δ, м.д., J, Гц					
		CN	CO	NH	CH3	O-CH3	O-CH2	H	CH2-CO	Другие сигналы
1	 I	2200	1640	-	2,15	3,17	4,35	6,47	-	-
2	 II	2210	1650	3265 3220	2,5	3,48	4,49	6,42	4,92	7,31(1H,д,$J_{4,5}$= 8,8, H_4) 7,47(1H,дд,$J_{4,5}$=8,8, $J_{5,6}$= 8,8H_5), 7,78(1H,д,$J_{6,5}$= 8,8, H_6), 8,02(1H,с, H_2) 10,59(1H,уш.с,NH)
3	 III	2210	1650	3270 3220	2,44	3,44	4,47	6,39	4,98	7,37(1H,м,$J_{4,cf3}$=6,0, $J_{4,3}$= 9,0, H_4), 7,57(1H,с, H_5) 7,59(1H,уш. с, H_6) 7,65(1H,д, $J_{3,4}$= 9,0, H_3) 9,8 (1H, уш.с.NH)
4	 IV	2200	1630	3265 3220	2,45	3,15	4,46	6,43	4,96	7,03(1H,дд,$J_{4,3}$=$J_{5,4}$=8,5,H_4), 7,34(2H,дд, $J_{3,4}$=$J_{3,2}$ =$J_{5,4}$=$J_{5,6}$ H_5 , H_3) 7,57(2H,д. H_6 , $J_{3,2}$=$J_{6,5}$=8,5, H_2 , H_6), 4,25(2H,кв.CH_2) 10,23 (1H, уш.с.NH)

Оценивались энергия прорастания (на 3-и сутки), всхожесть (на 7-е сутки), а также морфометрические показатели: длина и масса ростков и корней.

Результаты и обсуждения. Синтезированные нами новые N-алкил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов бесцветные кристаллы с низкими температурами правления по сравнению с исходным 2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридинкарбонитрилом. Растворимы в спирте, ацетоне, хлороформе, ДМСО, ДМФ. Структуры синтезированных соединений подтверждены соответствующими физико-химическими методами анализа и соответствующими спектральными характеристиками (таблица 1,2).

Была изучена рострегулирующая активность синтезированных нами производных амидов пиримидинонов 1-4. К наиболее близким аналогам по структуре применяемого вещества в качестве средства для активации прорастания семян может быть отнесено вещество **1** - 6-метил-4-метоксиметил-2-оксо1,2-дигидро-3-пиридинникотинонитрил. На основе комплекса морфофизиологических показателей. Для оценки достоверности различий использовались значения $НСР_{0,05}$ (наименьшая существенная разность) [25].

Рострегулирующую активность новых производных пиридонов и их влияние на посевные качества семян определяли в на семенах озимой пшеницы сорта Адель в лабораторном скрининге модельными методами. В ходе испытаний определяли оптимальную рабочую концентрацию соединений. В качестве контроля использовали семена, обработанные водой. Семена замачивали перед посевом в растворе аналога по строению и свойствам веществе **1** с массовой долей 0,001%, 0,0001%; 0,00001% (эталон), растворами испытуемых препаратов с массовой долей 0,001%; 0,0001%; 0,00001% и дистиллированной водой (контроль) в течение суток, а затем проращивали в рулонах влажной фильтровальной бумаге в течение 7 дней при комнатной температуре. Повторность опыта трехкратная. В

каждой повторности использовано по 50 штук семян. Энергию прорастания определяли на 3-и сутки, всхожесть - на 7-е в соответствии с ГОСТом 1238-84.

Об оптимальной концентрации изучаемых синтезированных соединений влияющей на стимуляцию роста судили по совокупности показателей: энергия прорастания и всхожесть семян, длина корней и ростков, их воздушно-сухая масса в расчете на 50 шт. проростков. Полученные результаты обработаны методом дисперсионного анализа [25].

Результаты определения оптимальной стимулирующей рост концентрации соединений и их влияние на семена пшеницы приведены в таблице 3. Установлено, что все изучаемые препараты в выбранных концентрациях оказывали направленное биологическое действие на рост и развитие семян озимой пшеницы. Нами выявлены наиболее перспективные рабочие концентрации изучаемых соединений.

Ключевыми показателями при изучении рострегулирующей активности новых соединений являются показатели всхожести и энергии прорастания.

Установлено что, при действии вещества I (контроль по свойствам) наблюдается резко выраженная зависимость от концентрации и отмечаются максимальные значения всхожести 90% и энергии прорастания 86%, соответственно, полученные при концентрации 0,00001%, в сравнении с контролем. При концентрации 0,001% энергии прорастания составила 82%, а всхожесть 86%, в сравнении с контролем. При концентрации 0,0001% получены минимальные значения показателей, соответственно 74% и 80%, в сравнении с контролем.

Для этого вещества наиболее перспективной рабочей концентрацией для увеличения всхожести семян является 0,00001%, а при увеличении концентрации эти показателя уменьшаются, что может свидетельствовать

о фитотоксичности или ингибирующем действии при более высоких концентрациях.

Вещество II в концентрации 0,001% так же как и вещество I дает незначительный эффект по показателю всхожести 84% и энергии прорастания 86% в сравнении с контролем. При снижении концентрации до 0,0001% и 0,00001% наблюдается значимый рост всхожести до 94% и 90% соответственно, что указывает на ростстимулирующий эффект. Энергия прорастания увеличивается до 80% и 82% соответствеено. Т.е вещество II проявляет свою активность в низких концентрациях 0,0001 и 0,00001%

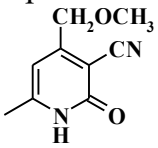
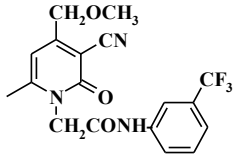
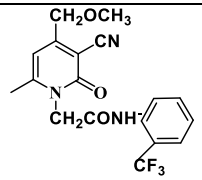
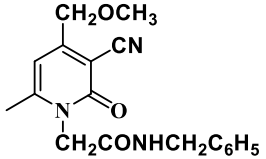
Вещество III дает максимальные значения энергии прорастания 88% и всхожести 94% в концентрации 0,001%. При дальнейшем снижении концентрации оба показателя падают, но остаются выше контрольных значений, соответственно при концентрации 0,0001% они составляют для энергии прорастания 80% и всхожести 90%, а в концентрации 0,00001 -. энергия прорастания 78% и всхожесть 80%. Т.е для этого вещества характерен ярко выраженный дозозависимый эффект для стимуляции роста растений при концентрации 0,001%.

Вещество IV в концентрации 0,001% дает резкий рост всхожести до 96%, максимальный показатель среди всех изучаемых вариантов, однако энергия прорастания остаётся на уровне контроля 76%. При концентрации 0,0001% показатели энергии прорастания увеличивается до 80%, а всхожесть падают до 90%. Дальнейшее уменьшение дозы до 0,00001% приводит к падению энергии прорастания ниже контроля 64% и всхожести 86%, что свидетельствует о потере эффективности или переходе в ингибирующему эффекту. Т.е. вещество IV обладает большим потенциалом стимуляции прорастания семян по всхожести при оптимальной концентрации 0,001%, но при низких дозировках эффект снижается.

Таким образом, наиболее эффективным среди изучаемых веществ являются вещества III и IV в концентрации 0,001% (по всхожести и энергии прорастания).

При изучении морфометрических показателей в ходе анализа длины органов растений проростков выявлена специфика действия изучаемых соединений на рост.

Таблица 3 – Показатели роста проростков озимой пшеницы сорта Адель

Вариант опыта	Концент-рация,%	Энергия прораста-ния, %	Всхожесть, %	Длина		Масса	
				ростка	корня	ростка	корня
Вода		76	70	5,31	10,29	0,30	0,24
Контроль по свойствам  I	0,001	82	86	9,55	12,83	0,39	0,39
	0,0001	74	80	8,70	14,48	0,40	0,41
	0,00001	90	86	6,94	11,45	0,43	0,40
 II	0,001	76	86	6,39	10,71	0,37	0,39
	0,0001	80	94	6,46	8,69	0,41	0,34
	0,00001	82	90	11,73	7,48	0,39	0,34
 III	0,001	88	94	9,50	12,74	0,48	0,42
	0,0001	80	90	10,55	15,35	0,55	0,53
	0,00001	78	80	9,90	15,50	0,42	0,59
 IV	0,001	76	96	9,10	12,92	0,55	0,53
	0,0001	80	90	8,58	13,72	0,43	0,39
	0,00001	64	86	10,68	13,22	0,56	0,36
$НСР_{0,95}$	-	5,88	4,41	1,46	2,12	0,06	0,01

При изучении воздействия препаратов на биомассу проростков известно, что увеличение массы является интегральным показателем физиологического благополучия проростка.

Вещество I (контроль по свойствам) в концентрации 0,001% оказывает мощный стимулирующий эффект, при этом длина ростка составляет 9,55 см и корня 12,83 см что значительно превышает контроль. Масса также растет и составляет 0,39 г в обоих параметрах, в сравнении с контролем. В концентрации 0,0001% линейный рост ростка проростка снижается до 8,70 см, но длина корня достигает максимума для этого варианта 14,48 см, в сравнении с контролем, массы ростка и корня составляет 0,40 г и 0,41 г соответственно.

В концентрация 0,00001% (0,1 мг/л) наблюдается снижение длины ростка и корня ниже уровня контроля до 6,94 см и 11,45 соответственно. Массы ростка и корня составляет 0,43 г и 0,40 г соответственно.

Вещество II в концентрации 0,001% снижает рост проростков ниже контроля, длина ростка 6,39 см и корня 10,71 см соответственно. Масса остается на уровне показателей на контроле. И можно сделать вывод о том, что высокая концентрация ингибирует развитие. В концентрация 0,0001% длина ростка остается низкой 6,46 см , а длина корня падает значительно ниже контроля 8,69 см. Массы немного выше контроля. И эффект ингибирования сохраняется. В концентрации 0,00001% происходит резкий скачок длины ростка до 11,73 см в сравнении с контролем, что является одним из лучших показателей в нашем опыте. Однако длина корня остается низкой 7,48 см. Масса остается на уровне контроля. Т.е. наблюдается сильный разброс по параметрам: концентрация стимулирует исключительно надземную часть в ущерб корневой системе.

Вещество III в концентрации 0,001% оказывает положительное влияние на все показатели. Длина ростка 9,50 см и корня 12,74 см выше контроля, а масса также выше контроля и составляет для ростка 9,5 см и

корня 12,74 см соответственно. В концентрации 0,0001% вещество III показывает оптимальную концентрацию для данного варианта. Наблюдается пик развития: длина ростка 10,55 см, длина корня достигает максимума по всему опыту 15,35 см. Масса ростка и корня также увеличивается 0,55 г и 0,53 г соответственно. Данная концентрация обеспечивает наилучшее комплексное развитие проростка для вещества III. В концентрации 0,00001% длина ростка остается высокой и составляет 9,9 см, длина корня также высока и максимальна для массы корней этого варианта 15,5 см. Масса снижается по сравнению с оптимальной дозой. Эффект стимуляции сохраняется при снижении дозы.

Вещество IV в концентрации 0,001% увеличивает длину ростка до 9,10 см и длину корня 12,92 см, массу ростка и корня до 0,55 г и 0,53 г соответственно. При концентрации 0,0001% наблюдается уменьшение длины роста проростка до 8,58 см, длина корня составляет 13,72 см. В концентрации 0,00001% рост проростка составляет 10,68 см, длина корня - 13,22 см, массы ростка и корня составляют 0,56 см и 0,36 см соответственно. Данная концентрация обладает стимулирующим воздействие на семена пшеницы.

На основании проведенных нами испытаний синтезированных производных N-алкил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридонов I – IV можно сделать вывод, что наилучший эффект оказывают вещества III и IV в оптимальной ростстимулирующей концентрации — 0,001 и 0,0001%.

Нами был проведен сравнительный анализ скоростей роста проростков под воздействием изучаемых веществ (скорость роста делением и растяжение).

В таблице 4 ниже представлены относительные скорости роста корней и ростков пшеницы сорта Адель. За единицу принят контроль (вода 1,00). Рассчитаны три показателя: скорость роста (Vроста) — отношение средней длины к контролю, скорость деления клеток (Vделения— отношение средней

массы к контролю, скорость растяжения клеток (Vрастяжения— отношение удельной длины (длина/масса) к контролю (таблица 4). Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы о механизмах действия изучаемых соединений:

Таблица 4 – Скорость роста проростков озимой пшеницы сорта Адель

Вариант	Орган	Vроста	Vделения	Vрастяжения	Средняя длина, мм	Средняя масса, г
Контроль	корень	1,0	1,0	1,0	10,29	0,24
Контроль	росток	1,0	1,0	1,0	5,31	0,30
I	Корень	1,26	1,67	0,75	12,92	0,40
	Росток	1,58	1,36	1,17	8,40	0,41
II	Корень	0,87	1,49	0,59	8,96	0,36
	Росток	1,54	1,30	1,19	8,19	0,39
III	Корень	1,41	2,14	0,66	14,53	0,51
	Росток	1,88	1,61	1,17	9,98	0,48
IV	Корень	1,29	1,78	0,73	13,29	0,43
	Росток	1,78	1,71	1,04	9,45	0,51

Вещество I оказывает выраженное действие на ростки (максимальная скорость роста Vроста=1,58), но на корневую систему действует слабее, чем вещество III и IV, скорость роста ниже.

Вещество II проявляет ингибирующее влиянием на корни, их средняя длина ниже контроля (Vроста=0,87), а скорость растяжения клеток

минимальна (Vрастяжения=0,59). При этом процесс деления клеток корней характеризуется увеличение скорости (Vделения=1,49).

Вещество III обеспечивает максимальный прирост длины и массы как корней, так и ростков, а также высокую скорость деления клеток, особенно корней (Vделения=2,14). При этом скорость растяжения клеток у него ниже, чем у контроля.

Вещество IV также увеличивает скорости деления (Vделения=1,71) и растяжения (Vрастяжения=1,04) клеток.

В таблице 5 ниже приведены абсолютные значения скоростей роста делением и растяжение клеток. За основу взяты средние значения по вариантам, длительность эксперимента — 10 дней.

Таблица 5 –Абсолютная скорость роста проростков пшеницы сорта Адель

Вариант	Орган	Скорость роста, мм/сутки	Скорость деления, мг/сутки	Скорость растяжения, мм/г·сут
Контроль	Корень	1,029	24	0,758
Контроль	Росток	0,531	30	1,47
I	Корень	0,263	16	−1.058
	Росток	0,309	11	0,279
II	Корень	−0,133	12	−1,799
	Росток	0,288	9	0,330
III	Корень	0,424	27	−1,438
	Росток	0,467	18	0,309
IV	Корень	0,300	19	−1,197
	Росток	0,414	21	0,083

Отрицательные значения скорости растяжения клеток в корнях (особенно у вещества II) свидетельствуют о том, что прирост длины корня обеспечивается исключительно за счёт деления клеток.

Вещества III и IV демонстрируют наиболее мощный физиологический эффект, максимальный абсолютный прирост длины и массы корней и ростков проростков, а также высокую скорость деления клеток.

Вещество IV выделяется большой скоростью деления клеток в проростках 21 мг/сут, что приводит к значительному увеличению их массы, однако скорость растяжения клеток в ростках у него минимальна среди всех вариантов 0,083 мм/г·сут.

Вещество I обеспечивает сбалансированный рост, для корней характерно умеренное деление при слабом растяжении, для ростков — выраженное деление и активное растяжение.

Вещество II проявляет специфические свойства, ингибирует линейный рост корня (отрицательная скорость роста), несмотря на активное деление клеток, что приводит к формированию коротких, но массивных корней. При этом на ростки вещество II оказывает стимулирующее действие.

Заключение

Таким образом, максимальный рострегулирующий эффект по комплексу определяемых нами параметров - энергии прорастания, всхожести, длины, массы обеспечивают вещества III и IV, демонстрирующие комплексный стимулирующий эффект на прорастание семян, морфогенез и накопление биомассы пшеницы сорта Адель. Они одновременной активизируют клеточное деление и поддержания физиологического баланса между ростом и растяжением. Вещество II может быть применимо для стимуляции роста проростков за счет ингибирования развития корней, что может быть востребовано в селекционных или агротехнических задачах.

Как итог, все изучаемые препараты в исследуемых концентрациях оказывали направленное биологическое воздействие на рост семян озимой пшеницы, увеличивали энергию прорастания и всхожесть, длину и массу корней, скорость роста. Таким образом, целесообразно рекомендовать исследовать новые производные N-алкил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридинкарбонитрилов для применения в качестве средств для активации прорастания семян пшеницы в сельском хозяйстве.

Литература

1.Доценко, В. В. Последние достижения в химии тиено[2,3b]пиридинов. Часть 1. Методы синтеза тиено[2,3-b]пиридинов / В. В. Доценко, Д. С. Бурый, Д. Ю. Лукина, С. Г. Кривоколыско // Известия Академии наук. Серия химическая. - 2020. - № 10. - С. 1829-1858.

2.From para- and meta-methoxy-substituted enaminedione derivatives to ortho-substituted one: effect on structure and photoluminescent properties of lanthanide(III) complexes / K. S. Smirnova, E. A. Sanzhenakova, I. P. Pozdnyakov [et al.] // Journal of Molecular Structure. – 2026. – Vol. 1352. – P. 144372. – DOI 10.1016/j.molstruc.2025.144372.

3.Яблонская, Е. К. Синтез и изучение биологической активности производных фурил(фенил)пиразолил (пиразолонил)метанов, фурил(фенил)изокса-золилметанов и 5-фурфурил(бензил)-4,6-диметил-2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридинкарбонитрилов / Е. К. Яблонская // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 69. – С. 433-345.

4.Кайгородова, Е. А. Поиск перспективных антидотов в ряду пиридинсодержащих соединений / Е. А. Кайгородова, Н. А. Макарова, Н. Е. Косянок // Защита растений от вредных организмов : Материалы XI международной научно-практической конференции, Краснодар, 19–23 июня 2023 года. Том Выпуск 11. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 177-180.

5.Unexpected result of KOH—MeOH-promoted Thorpe—Ziegler heterocyclization of N-[(3-cyanoquinolin-2-yl)thio]acetylphenothiazines / Vl. K. Kindop, V. K. Kindop, V. V. Dotsenko [et al.] // Russian Chemical Bulletin. – 2026. – Vol. 75, No. 1. – P. 268-275. – DOI 10.1007/s11172-026-4884-7.

6.Е. К. Яблонская Влияние новых производных N-Фенил-2-(6-метил-4-метоксиметил-3-циано-2-оксо-1,2-дигидро-1-пиридинил) ацетамидов на всхожести семян озимой пшеницы сорта Адель / Е. К. Яблонская, Е. А. Кайгородова, Н. Е. Косянок, В. И. Кирьянова // International Journal of Professional Science. – 2025. – № 11-2. – С. 28-32.

7.Crop yield and the quality of sunflower seeds in the use of fertilizers and growth regulation substances / A. A. Kvashin, N. N. Neshchadim, E. K. Yablonskay, K. N. Gorpinchenko // Helia. – 2018. – Vol. 41, No. 69. – P. 227-239. – DOI 10.1515/helia-2017-0014.

8.Патент № 2356225 C1 Российская Федерация, МПК A01N 43/02, A01N 39/04, A01P 13/00. Способ снижения токсического действия гербицида группы 2,4-Д на качество зерна озимой пшеницы : № 2008109270/15 : заявл. 11.03.2008 : опубл. 27.05.2009 / Н. И. Ненько, Е. К. Яблонская, Е. В. Суркова, В. К. Плотников; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ"). – EDN QROHBA.

9.Патент № 2788530 C1 Российская Федерация, МПК A01N 43/90, A01N 35/04, A01N 37/34. Применение 6-(4,7-диметокси-1,3-бензодиоксол-5-ил)-4-(4-метоксифенил)-2-тиоксо-1,2-дигидропиридин-3-карбонитрила в качестве средства для активации прорастания семян пшеницы: № 2022113983 заявл. 24.05.2022 : опубл. 23.01.2023 / Е. А. Кайгородова, Н. Е. Косянок, С. В. Иванов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина".

10.Влияние на качество зерна озимой пшеницы антидота гербицида 2,4-д препарата фуролан / Е. К. Яблонская, В. К. Плотников, В. В. Гаража, Н. И. Ненько // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – № 1(296). – С. 103.

11.Organic Chemistry in the Creation of Molecules with Practically Useful Properties / Yu. Yu. Belyakova, I. A. Yaremenko, A. O. Terent'ev [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2026. – Vol. 96, No. 1. – P. 1-350. – DOI 10.1134/S1070363225605721.

12.Влияние совместного применения гербицида 2,4-д и его антидота фуролан на формирование качества зерна озимой мягкой пшеницы при созревании / Е. К. Яблонская, Е. В. Суркова, В. К. Плотников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – № 1(296). – С. 10-12.

13.Reaction of thieno[2,3-b]pyridines with sodium hypochlorite: An unusual and stereoselective one-pot approach to dimeric pyrrolo[2′,3′:4,5]thieno[2,3-b]pyridines / T. A. Stroganova, V. K. Vasilin, G. D. Krapivin [et al.] // Tetrahedron Letters. – 2019. – Vol. 60, No. 14. – P. 997-1000. – DOI 10.1016/j.tetlet.2019.03.012.

14.Кайгородова, Е. А. Новые биологически активные производные пирио[3,2/:4,5]тиено[3,2-d]пиримидин-4-оны / Е. А. Кайгородова, Е. К. Яблонская, А. А. Жаравина // Защита растений от вредных организмов : 15.Сборник статей по материалам XII Международной научно-практической конференции, Краснодар, 16–20 июня 2025 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 169-171.

16.New Nicotinonitrile–Coumarin Heterodimers: Synthesis and Evaluation of Agrochemical Potential / T. L. Salakhov, V. V. Dotsenko, D. Yu. Lukina [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2026. – Vol. 96, No. 2. – P. 1-12. – DOI 10.1134/S1070363225608488.

17.Synthesis of 2,2-Dimethyl-2,3-dihydropyrido[3′,2′:4,5]-thieno[3,2-d]pyrimidin-4(1H)-ones by Reaction of 3-Aminothieno[2,3-b]pyridine-2-carboxamides with Acetone / V. V. Dotsenko, S. V. Rudenko, D. Yu. Lukina [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2025. – Vol. 95, No. 5. – P. 1236-1247. – DOI 10.1134/S1070363225601954.

18.Кайгородова, Е. А. Изучение биологической активности новых тетрагидропиридо и 2,3-дигидропиридо[3,2/:4,5]тиено[3,2- d] пиримидин-4-онов / Е. А. Кайгородова, Е. К. Яблонская, А. А. Жаравина // Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2024 год : Сборник трудов конференции, Краснодар, 05 февраля 2025 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 112-114. – EDN LECBLG.

19.Влияние совместного применения гербицида 2,4-д и его антидота фуролан на формирование качества зерна озимой мягкой пшеницы при созревании / Е. К. Яблонская, Е. В. Суркова, В. К. Плотников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – № 1(296). – С. 10-12.

20. Synthesis of New Phenothiazine/3-cyanoquinoline and Phenothiazine/3-aminothieno[2,3-b]pyridine(-quinoline) Heterodimers / V. V. Dotsenko, V. K. Kindop, V. K. Kindop [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2025. – Vol. 26, No. 19. – P. 9798. – DOI 10.3390/ijms26199798. .

21.Кайгородова, Е. А. 2-Гидрокси(арил(алкил)-метил-3-R- карбоксамидо-тиено-[2,3-b] пиридины - высокоэффективные средства для улучшения посевных качеств семян пшеницы / Е. А. Кайгородова, Е. К. Яблонская // Защита растений от вредных организмов : Материалы IX международной научно-практической конференции, Краснодар, 17–21 июня 2019 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 105-108.

22. 4H-3,1-Бензоксазины и их дигидропроизводные: синтез, реакционная способность и биологическая активность / Е. В. Громачевская, Е. А. Кайгородова, Л. Д. Конюшкин, А. В. Беспалов // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2024. – Т. 73, № 5. – С. 1109-1135.

23.Кайгородова, Е. А. Новые биологически активные производные пирио[3,2/:4,5]тиено[3,2-d]пиримидин-4-оны / Е. А. Кайгородова, Е. К. Яблонская, А. А. Жаравина // Защита растений от вредных организмов : Сборник статей по материалам XII Международной научно-практической конференции, Краснодар, 16–20 июня 2025 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 169-171.

24.Яблонская, Е. К. Биологическое действие новых производных пиридинилацетамидов на семенах озимой пшеницы сорта Адель / Е. К. Яблонская, Н. Е. Косянок, Е. А. Кайгородова // Агропродовольственная экономика. – 2026. – № 2. – С. 37-41.

25. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта. / Б. А. Доспехов - М.: Колос, 1985. - 351 с.

References

1.Docenko, V. V. Poslednie dostizheniya v ximii tieno[2,3b]piridinov. Chast` 1. Metody` sinteza tieno[2,3-b]piridinov / V. V. Docenko, D. S. Bury`j, D. Yu. Lukina, S. G. Krivokoly`sko // Izvestiya Akademii nauk. Seriya ximicheskaya. - 2020. - № 10. - S. 1829-1858.

2.From para- and meta-methoxy-substituted enaminedione derivatives to ortho-substituted one: effect on structure and photoluminescent properties of lanthanide(III) complexes / K. S. Smirnova, E. A. Sanzhenakova, I. P. Pozdnyakov [et al.] // Journal of Molecular Structure. – 2026. – Vol. 1352. – P. 144372. – DOI 10.1016/j.molstruc.2025.144372.

3.Yablonskaya, E. K. Sintez i izuchenie biologicheskoj aktivnosti proizvodny`x furil(fenil)pirazolil (pirazolonil)metanov, furil(fenil)izoksa-zolilmetanov i 5-furfuril(benzil)-4,6-dimetil-2-okso-1,2-digidro-3-piridinkarbonitrilov / E. K. Yablonskaya // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 69. – S. 433-345.

4.Kajgorodova, E. A. Poisk perspektivny`x antidotov v ryadu piridinsoderzhashhix soedinenij / E. A. Kajgorodova, N. A. Makarova, N. E. Kosyanok // Zashhita rastenij ot

vredny`x organizmov : Materialy` XI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnodar, 19–23 iyunya 2023 goda. Tom Vy`pusk 11. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2023. – S. 177-180.

5.Unexpected result of KOH—MeOH-promoted Thorpe—Ziegler heterocyclization of N-[(3-cyanoquinolin-2-yl)thio]acetylphenothiazines / Vl. K. Kindop, V. K. Kindop, V. V. Dotsenko [et al.] // Russian Chemical Bulletin. – 2026. – Vol. 75, No. 1. – P. 268-275. – DOI 10.1007/s11172-026-4884-7.

6.E. K. Yablonskaya Vliyanie novy`x proizvodny`x N-Fenil-2-(6-metil-4-metoksimetil-3-ciano-2-okso-1,2-digidro-1-piridinil) acetamidov na vsxozhesti semyan ozimoj pshenicy sorta Adel` / E. K. Yablonskaya, E. A. Kajgorodova, N. E. Kosyanok, V. I. Kir`yanova // International Journal of Professional Science. – 2025. – № 11-2. – S. 28-32.

7.Crop yield and the quality of sunflower seeds in the use of fertilizers and growth regulation substances / A. A. Kvashin, N. N. Neshchadim, E. K. Yablonskay, K. N. Gorpinchenko // Helia. – 2018. – Vol. 41, No. 69. – P. 227-239. – DOI 10.1515/helia-2017-0014.

8.Patent № 2356225 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01N 43/02, A01N 39/04, A01P 13/00. Sposob snizheniya toksicheskogo dejstviya gerbicida gruppy` 2,4-D na kachestvo zerna ozimoj pshenicy : № 2008109270/15 : zayavl. 11.03.2008 : opubl. 27.05.2009 / N. I. Nen`ko, E. K. Yablonskaya, E. V. Surkova, V. K. Plotnikov ; zayavitel` Gosudarstvennoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego professional`nogo obrazovaniya Kubanskij gosudarstvenny`j texnologicheskij universitet (GOUVPO KubGTU).

9.Patent № 2788530 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01N 43/90, A01N 35/04, A01N 37/34. Primenenie 6-(4,7-dimetoksi-1,3-benzodioksol-5-il)-4-(4-metoksifenil)-2-tiokso-1,2-digidropiridin-3-karbonitrila v kachestve sredstva dlya aktivacii prorastaniya semyan pshenicy : № 2022113983 : zayavl. 24.05.2022 : opubl. 23.01.2023 / E. A. Kajgorodova, N. E. Kosyanok, S. V. Ivanov [i dr.] ; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina.

10.Vliyanie na kachestvo zerna ozimoj pshenicy antidota gerbicida 2,4-d preparata furolan / E. K. Yablonskaya, V. K. Plotnikov, V. V. Garazha, N. I. Nen`ko // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Pishhevaya texnologiya. – 2007. – № 1(296). – S. 103.

11.Organic Chemistry in the Creation of Molecules with Practically Useful Properties / Yu. Yu. Belyakova, I. A. Yaremenko, A. O. Terentev [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2026. – Vol. 96, No. 1. – P. 1-350. – DOI 10.1134/S1070363225605721.

12.Vliyanie sovmestnogo primeneniya gerbicida 2,4-d i ego antidota furolan na formirovanie kachestva zerna ozimoj myagkoj pshenicy pri sozrevanii / E. K. Yablonskaya, E. V. Surkova, V. K. Plotnikov [i dr.] // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Pishhevaya texnologiya. – 2007. – № 1(296). – S. 10-12.

13.Reaction of thieno[2,3-b]pyridines with sodium hypochlorite: An unusual and stereoselective one-pot approach to dimeric pyrrolo[2′,3′:4,5]thieno[2,3-b]pyridines / T. A. Stroganova, V. K. Vasilin, G. D. Krapivin [et al.] // Tetrahedron Letters. – 2019. – Vol. 60, No. 14. – P. 997-1000. – DOI 10.1016/j.tetlet.2019.03.012.

14.Kajgorodova, E. A. Novy`e biologicheski aktivny`e proizvodny`e pirio[3,2/:4,5]tieno[3,2-d]pirimidin-4-ony` / E. A. Kajgorodova, E. K. Yablonskaya, A. A. Zharavina // Zashhita rastenij ot vredny`x organizmov : 15.Sbornik statej po materialam XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnodar, 16–20 iyunya 2025 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. I.T. Trubilina, 2025. – S. 169-171.

16.New Nicotinonitrile–Coumarin Heterodimers: Synthesis and Evaluation of Agrochemical Potential / T. L. Salakhov, V. V. Dotsenko, D. Yu. Lukina [et al.] // Russian

Journal of General Chemistry. – 2026. – Vol. 96, No. 2. – P. 1-12. – DOI 10.1134/S1070363225608488.

17.Synthesis of 2,2-Dimethyl-2,3-dihydropyrido[3′,2′:4,5]-thieno[3,2-d]pyrimidin-4(1H)-ones by Reaction of 3-Aminothieno[2,3-b]pyridine-2-carboxamides with Acetone / V. V. Dotsenko, S. V. Rudenko, D. Yu. Lukina [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2025. – Vol. 95, No. 5. – P. 1236-1247. – DOI 10.1134/S1070363225601954.

18.Kajgorodova, E. A. Izuchenie biologicheskoj aktivnosti novy`x tetragidro-pirido i 2,3-digidropirido[3,2/:4,5]tieno[3,2- d] jpirimidin-4-onov / E. A. Kajgorodova, E. K. Yablonskaya, A. A. Zharavina // Sbornik statej po materialam ezhegodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2024 god : Sbornik trudov konferencii, Krasnodar, 05 fevralya 2025 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. I.T. Trubilina, 2025. – S. 112-114.

19.Vliyanie sovmestnogo primeneniya gerbicida 2,4-d i ego antidota furolan na formirovanie kachestva zerna ozimoj myagkoj pshenicy pri sozrevanii / E. K. Yablonskaya, E. V. Surkova, V. K. Plotnikov [i dr.] // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Pishhevaya texnologiya. – 2007. – № 1(296). – S. 10-12.

20. Synthesis of New Phenothiazine/3-cyanoquinoline and Phenothiazine/3-aminothieno[2,3-b]pyridine(-quinoline) Heterodimers / V. V. Dotsenko, V. K. Kindop, V. K. Kindop [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2025. – Vol. 26, No. 19. – P. 9798. – DOI 10.3390/ijms26199798.

21.Kajgorodova, E. A. 2-Gidroksi(aril(alkil)-metil-3-R- karboksamido-tieno-[2,3-b] piridiny` - vy`sokoe`ffektivny`e sredstva dlya uluchsheniya posevny`x kachestv semyan pshenicy / E. A. Kajgorodova, E. K. Yablonskaya // Zashhita rastenij ot vredny`x organizmov : Materialy` IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnodar, 17–21 iyunya 2019 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2019. – S. 105-108.

22. 4N-3,1-Benzoksaziny` i ix digidroproizvodny`e: sintez, reakcionnaya sposobnost` i biologicheskaya aktivnost` / E. V. Gromachevskaya, E. A. Kajgorodova, L. D. Konyushkin, A. V. Bespalov // Izvestiya Akademii nauk. Seriya ximicheskaya. – 2024. – T. 73, № 5. – S. 1109-1135.

23.Kajgorodova, E. A. Novy`e biologicheski aktivny`e proizvodny`e pirio[3,2/:4,5]tieno[3,2-d]pirimidin-4-ony` / E. A. Kajgorodova, E. K. Yablonskaya, A. A. Zharavina // Zashhita rastenij ot vredny`x organizmov : Sbornik statej po materialam XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnodar, 16–20 iyunya 2025 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. I.T. Trubilina, 2025. – S. 169-171.

24.Yablonskaya, E. K. Biologicheskoe dejstvie novy`x proizvodny`x piridinilacetamidov na semenax ozimoj pshenicy sorta Adel` / E. K. Yablonskaya, N. E. Kosyanok, E. A. Kajgorodova // Agroprodovol`stvennaya e`konomika. – 2026. – № 2. – S. 37-41.

25. Dospexov, B. A. Metodika polevogo opy`ta. / B. A. Dospexov - M.: Kolos, 1985. - 351 s.