

УДК 631.811.98:631.559:633.11“324”

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРАЗОЛОПИРИДИНОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ<sup>1</sup>

© 2022 г. В. В. Тараненко<sup>1,\*</sup>, И. Г. Дмитриева<sup>2</sup>, В. С. Муравьев<sup>1</sup><sup>1</sup>Федеральный научный центр биологической защиты растений  
350039 Краснодар-39, Россия<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина  
350044 Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

\*E-mail: viktaranen@rambler.ru

Поступила в редакцию 11.02.2022 г.

После доработки 02.03.2022 г.

Принята к публикации 15.03.2022 г.

Проведен скрининг новых регуляторов роста озимой пшеницы в классе производных пиразолопиридинов, среди которых выявлены соединения, обладающие существенным и достоверным рост-стимулирующим эффектом. В 3-летних полевых испытаниях (2019–2021 гг.) потенциальных регуляторов роста на растениях озимой пшеницы сорта Безостая 100 показано, что применение изученных веществ способствовало увеличению продуктивного кущения культуры, формированию более мощной листовой поверхности, и, как следствие, усилению дыхательной и фотосинтетической активности. Наблюдала также положительное влияние исследованных продуктов на рост и развитие органов, формирующих структуру урожая. Прибавка урожая от применения регуляторов роста составила 12.5–14.8%, одновременно повысилось качество зерна. Отмечено увеличение сопротивляемости растений неблагоприятным условиям среды.

**Ключевые слова:** регуляторы роста растений, озимая пшеница, урожайность.

**DOI:** 10.31857/S0002188122060096

### ВВЕДЕНИЕ

Эффективность производства сельскохозяйственной продукции в настоящее время зависит от научно-исследовательской и инновационной деятельности, направленной на получение и внедрение новых знаний и технических решений в сельское хозяйство [1].

Регуляторы роста растений (**PPP**), созданные на основе передовых научных достижений в химии, биологии, физиологии растений, обеспечивают повышение урожайности и качества выращиваемой продукции, усиливают сопротивляемость болезням и стрессовым ситуациям, улучшают качество продукции [2]. В странах с развитым сельским хозяйством регуляторы роста широко разрабатывают и применяют [3–5].

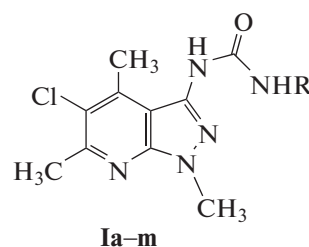
Пшеница является одной из стратегических сельскохозяйственных культур в растениеводстве России. Озимая пшеница – наиболее ценная ее разновидность. Она рано созревает, поэтому посевы меньше подвергаются летней засухе [6].

Очевидно, что разработка новых регуляторов роста, способствующих повышению урожайности

озимой пшеницы и улучшению качества зерна, является задачей актуальной. Цель работы – поиск новых регуляторов роста озимой пшеницы в классе производных пиразолопиридинов. Азотсодержащие гетероциклы являются основой многих природных биологически активных соединений [7], ранее были выявлены в их числе вещества с различными видами пестицидной активности [8–11].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Скрининг регуляторов роста проводили в ряду синтезированных производных пиразолопиридинов общей формулы **I**:



где R = алкил, циклоалкил, фенил, арил, гетерил.

Для синтеза новых соединений использовали классические, а также оригинальные методики, описанных ранее [12]. Структуры синтезированных

<sup>1</sup> Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме FGРН-2022-0006.

**Таблица 1.** Влияние регуляторов роста на структуру урожая озимой пшеницы (среднее за 2019–2021 гг.)

Вариант	Длина колоса, мм	Количество колосков в колосе	Количество зерен в колосе	Масса зерна в колосе	Масса 1000 зерен
		шт.		г	
Соединение <b>Id</b>	88	27.5	39.8	1.8	42.4
Соединение <b>Ig</b>	90	28.2	42.9	1.9	42.9
Соединение <b>If</b>	94	28.4	41.9	1.9	42.8
Контроль без обработки	81	26.6	37.0	1.6	41.0
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	2	0.5	0.5	0.1	0.8

ных веществ подтверждены элементным анализом, а также данными ИК-, ЯМР <sup>1</sup>H, ЯМР <sup>13</sup>C и масс-спектров.

На первом этапе биоскрининга рострегулирующую активность новых соединений определяли в условиях лабораторного опыта по стандартной методике [13]. Перспективные вещества отбирали для дальнейшего изучения в полевых условиях. Исследования выполняли на экспериментальном поле ФНЦБЗР, г. Краснодар (центральная зона Краснодарского края).

Полевые опыты проводили в 2018–2021 гг. Почва – чернозем выщелоченный обыкновенный малогумусный, характеризуется следующими показателями: содержание гумуса в пахотном слое – от 2.9 до 3.2%, верхний слой имеет нейтральную и слабокислую реакцию (рН<sub>H2O</sub> 6.7–7.0), объемная масса – 1.23–1.35 г/см<sup>3</sup>, порозность – 52.0–54.0%.

Климат зоны – умеренно-континентальный, умеренно-влажный и теплый. Среднегодовая температура воздуха составляет 10.0–10.8°C, среднегодовое количество осадков – 600–645 мм, распределение их по месяцам неравномерное, коэффициент увлажнения равен 0.25–0.40.

Суммарное количество осадков за период от посева до созревания озимой пшеницы (октябрь–июль) составило в 2018/2019 г. – 614.4 мм, в 2019/2020 г. – 464.0 мм, в 2020/2021 – 576.2 мм при среднемноголетней норме 549 мм. В целом погодные условия для проведения исследования были благоприятными для роста и развития растений озимой пшеницы в полевые сезоны 2019 и 2021 гг., сезон 2020 г. был засушливым.

Предшественником во все годы проведения опытов была озимая пшеница. Обработка почвы по типу полупара включала в себя трехкратное улучшение стерни тяжелой дисковой бороной БДТ-3 на глубину 10–12 см, с последующим прикатыванием кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Предпосевную культивацию выполняли на глубину заделки семян 5–6 см. Посев озимой пшеницы сорта Безостая 100 проводили семенами первого класса в оптимальный срок для цен-

тральной зоны Краснодарского края селекционной сеялкой центрального точного высева с нормой высева 5.0 млн всхожих семян/га. Удобрения не применяли (нулевой фон). Расположение делянок – рендомизированное, учетная площадь делянки 5.0 м<sup>2</sup>, повторность опыта четырехкратная.

Для нанесения потенциальных рострегуляторов на вегетирующие растения пшеницы готовили их водные растворы с добавлением 0.001% эмульгатора ОП-7. Обработку осуществляли дважды: в фазе кушения и в фазе флагового листа, норма расхода действующего вещества 30 г/га. Опрыскивание проводили с помощью опрыскивателя ОЭМП-16. Для эталона сравнения использовали препарат Ретацел, его наносили в те же сроки и в рекомендованных дозах. Уход за вариантами включал обработку гербицидом Прима, СЭ (0.6 л/га) в конце фазы кушения и инсектицидом Каратэ Зеон, МКС (0.2 л/га) в фазе колошения.

В соответствии с руководством по регистрационным испытаниям [14], в опыте проводили следующие наблюдения, учеты и анализы: фенология, густота стояния растений, биометрия растений после созревания, содержание основных элементов питания в зерне определяли с помощью анализатора “ФТ-7”.

Уборку полученного урожая выполняли по делянкам. С каждой делянки отбирали сноп для определения биометрических показателей. Обмолот каждой делянки проводили селекционным немецким комбайном “Hege-125”. После обмолота с каждой делянки отбирали образец зерна согласно ГОСТ 12042-80 для определения массы 1000 зерен.

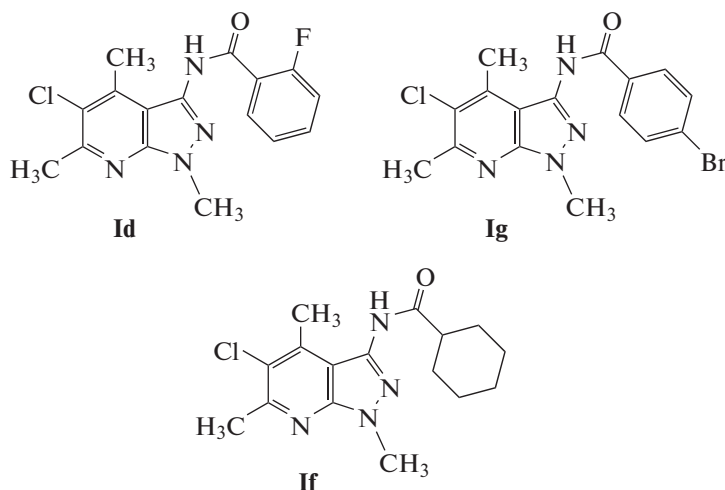
Для получения урожайных данных зерно приводили к 14%-ной влажности согласно ГОСТ 10250-80, результаты повергали математической обработке методом дисперсионного анализа с использованием программы STATISTICA [15].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поданным лабораторных исследований, для полевых испытаний были отобраны 3 вещества **Id**, **Ig** и **If**, которые стимулировали рост стебля и корня проростков более чем на 20%:

**Таблица 2.** Влияние соединения **Ig** на физиолого-биохимические процессы озимой пшеницы

Вариант	Площадь листовой поверхности, см <sup>2</sup>	Содержание пигментов, мг/г сырого вещества			Интенсивность дыхания, мл/г/ч	Активность каталазы мл O <sub>2</sub> /г/мин	Содержание витамина С, мг/100 г сырого вещества
		хлорофилл		каротиноиды			
		<i>a</i>	<i>b</i>				
Соединение <b>Ig</b>	479	4.47	1.29	1.30	2.44	21.2	4.98
Контроль	467	4.05	0.95	1.00	2.21	20.3	4.69
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	8	0.23	0.11	0.16	0.12	0.1	0.28



В течение 3-летнего периода (2019–2021 гг.) эти соединения изучали в условиях поля на растениях озимой пшеницы сорта Безостая 100.

Следует отметить, что из-за неодинаковых погодных условий данные эксперимента отличались. Тем не менее, все изученные вещества проявили высокую стимулирующую активность. У растений, обработанных регуляторами роста, повышалась общее и продуктивное кущение, формировалась более мощная листовая поверхность во всех фазах развития растений по сравнению с контролем. Количество продуктивных стеблей в среднем увеличилось на 8–12%, высота растений – на 5–9 см. Данные о влиянии регуляторов роста на развитие органов, формирующих структуру урожая, приведены в табл. 1. Их применение способствовало увеличению длины колоса на 8.5–11.9, количества колосков в колосе – на 3.4–6.8, количество зерен колосе – на 7.5–16.0% (средние показатели за период испытаний). Масса зерна в колосе превышала контрольный вариант на 12.5–18.1, масса 1000 зерен – на 2.2–4.6%.

Увеличение ассимиляционного аппарата растений привело к усилению фотосинтетической активности культуры, ускорению процессов ды-

хания и обмена веществ в растениях (табл. 2). На примере соединения **Ig** установлено, что в обработанных растениях содержание хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов было больше, чем в растениях без обработки (контроль). Под его влиянием увеличилась интенсивность дыхания, активность каталазы, повысилось содержание витамина С.

Использование регуляторов роста позволило получить стабильную и существенную прибавку урожая относительно контроля (табл. 3). В сред-

**Таблица 3.** Влияние регуляторов роста на урожайность озимой пшеницы (2019–2021 гг.), ц/га

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Соединение <b>Id</b>	61.0	47.8	78.8	62.5
Соединение <b>Ig</b>	62.2	48.7	80.0	63.6
Соединение <b>If</b>	59.7	48.5	78.1	62.1
Ретацел (эталон)	57.9	45.8	76.0	59.8
Контроль	54.1	42.0	70.2	55.4
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	2.2	1.9	2.4	

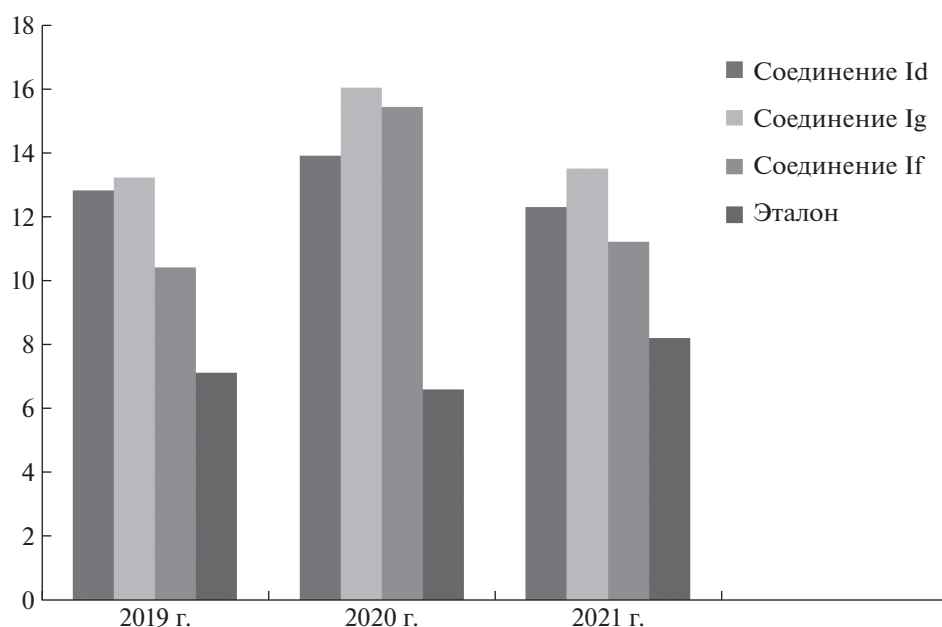


Рис. 1. Прибавка урожая озимой пшеницы от применения регуляторов роста, %.

нем за 3-летний период урожай от применения регуляторов роста повысился на 12.1–14.8%. Интересно отметить, что в засушливом 2020 г. на фоне значительного снижения урожая культуры рострегуляторы обеспечили более высокую прибавку (рис. 1).

Этот факт свидетельствовал о том, что изученные вещества обладали иммуномодулирующими свойствами, помогали растениям адаптироваться к стрессовым ситуациям, в данном случае – к засухе. Во всех вариантах урожай зерна растений, обработанных потенциальными регуляторами роста, превышал таковой в варианте с применением эталона.

Под влиянием регуляторов роста интенсивнее осуществлялось накопление белка и сырой клейковины в зерне озимой пшеницы (табл. 4). По

данным эксперимента, содержание белка в зерне увеличилось на 0.5–1.8% в сравнении с контрольным вариантом, содержание клейковины – на 0.7–4.6%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследованные регуляторы роста озимой пшеницы способствовали увеличению линейного роста растений, количества продуктивных стеблей, длины колоса и количества колосков в колосе. Как следствие, повысился урожай культуры, средняя прибавка за 3-летний период составила 12.5–14.8%, повысилось также качество зерна. За счет увеличения ассимиляционного аппарата растений усиливался фотосинтетический потенциал и сопротивляемость неблагоприятным условиям среды.

Таблица 4. Влияние регуляторов роста на показатели качества зерна озимой пшеницы, %

Вариант	2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	белок	клейковина	белок	клейковина	белок	клейковина
Соединение Id	15.6	41.8	16.1	42.0	15.4	42.3
Соединение Ig	15.8	43.0	15.9	42.9	16.0	43.4
Соединение If	15.3	41.9	15.7	43.3	15.6	42.6
Ретацел (эталон)	15.4	40.1	15.2	41.3	15.0	40.4
Контроль	14.8	38.4	14.3	41.3	14.6	39.4
HCP <sub>05</sub>	0.9	1.1	0.9	1.2	0.7	1.5

Планируется дальнейшее проведение исследований описанных соединений на других сортах озимой пшеницы и в качестве иммуномодуляторов против фитопатогенов данной культуры.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синяшин О.Г., Шаповал О.А., Шулаева М.М. Инновационные регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве // Плодородие. 2016. № 5. С. 38–42.
2. Шаповал О.А., Можарова И.П., Барчукова А.Я. Регуляторы роста растений в агротехнологиях основных сельскохозяйственных культур. М.: ВНИИА, 2015. 347 с.
3. Nickell L.G. Plant growth regulating chemicals. CRC Press, 2018. 266 p.
4. Rademacher W. Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production // J. Plant Growth Regul. 2015. V. 34. P. 845–872.
5. He S.L., Wang S.Q., Wang Q.Y. Allelochemicals as growth regulators. Review // Allelopat. J. 2019. V. 48. P. 15–26.
6. Бершадская С.И., Нецадим Н.Н., Квашин А.А. Урожайность и качество зерна различных сортов озимой пшеницы в зависимости от предшественника, удобрений и других приемов выращивания // Научн. журн. КубГАУ. 2016. № 120. С. 1305–1321.
7. Джилкрист Т. Химия гетероциклических соединений: Пер. с англ. М.: Мир, 1996. 464 с.
8. Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Назаренко Д.Ю., Стрелков В.Д. Антидотная и рострегулирующая активность N1-арил-N2-(замещенный никотинонитрил)гидразонов // Агрохимия. 2014. № 7. С. 33–37.
9. Дядюченко Л.В., Тараненко В.В., Дмитриева И.Г. Изучение рострегулирующих свойств производных пиридин-2-сульфанилацетанилидов на растениях сои // Агрохимия. 2020. № 5. С. 12–16.
10. Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Заводнов В.С., Макарова Н.А. Синтез замещенных изоксазоло[5,4-b]пиридинов и их антидотная активность // Политемат. сетев. электр. научн. журн. КубГАУ. 2016. № 122. С. 471–480.
11. Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Стрелков В.Д., Доценко С.П., Кайгородова Е.А. Синтез новых 2-алкилтионикотинонитрилов и на их основе 3-аминотиено-[2,3-b]пиридинов, а также скрининг потенциальных антидотов и регуляторов роста растений // Тр. КубГАУ. 2006. № 3. С. 129–134.
12. Дмитриева И.Г., Дядюченко Л.В., Стрелков В.Д., Кайгородова Е.А. Синтез и превращения замещенных 4,6-диметилпиразоло[3,4-b]-пиридил3-азидов и -сульфонилхлоридов // Химия гетероцикл. соед. 2008. № 10. С. 1556–1565.
13. Гост 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Введ. 19.12.1984. М.: Изд-во стандартов, 1985. 57 с.
14. Руководство проведения регистрационных испытаний регуляторов роста растений, дефолиантов и десикантов в сельском хозяйстве. М.: Минсельхоз РФ, 2018. 223 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

## Study of the Effect of the Pyrazolopyridine Derivatives on Winter Wheat Productivity

V. V. Taranenko<sup>a, #</sup>, I. G. Dmitrieva<sup>b</sup>, and V. S. Muravyov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Federal Research Center of Biological Plant Protection  
Krasnodar-39 350039, Russia

<sup>b</sup>I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University  
ul. Kalinina 13, Krasnodar 350044, Russia

<sup>#</sup>E-mail: viktaranen@rambler.ru

Screening of new growth regulators of winter wheat in the class of pyrazolopyridine derivatives was carried out, among which compounds with a significant and reliable growth-stimulating effect were identified. In 3-year field trials (2019–2021) of potential growth regulators on plants of winter wheat of the Bezostaya 100 variety, it was shown that the use of the studied substances contributed to an increase in productive tillering of the crop, the formation of a more powerful leaf surface, and, as a consequence, increased respiratory and photosynthetic activity. The positive effect of the studied products on the growth and development of organs forming the structure of the crop was also observed. The increase in yield from the use of growth regulators amounted to 12.5–14.8%, at the same time the quality of grain increased. An increase in the resistance of plants to adverse environmental conditions was noted.

*Key words:* plant growth regulators, winter wheat, yield.