



Секция
**ХИМИЧЕСКИЕ
НАУКИ**

УДК 57.044:577.152.7:581.143:633.853.494

**ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ НА ЛИПОЛИТИЧЕСКУЮ
АКТИВНОСТЬ В ПРОРОСТКАХ ОЗИМОГО РАПСА
(BRASSICA NAPUS L.) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Будяну И. С.

студент, УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

Введение. Озимый рапс (*Brassica napus* L.) является ведущей масличной культурой в мире, имеющей критическое значение для производства растительного масла, биотоплива и высокобелковых кормов. Его высокая продуктивность в значительной степени зависит от эффективности прорастания семян, процесса, инициируемого и поддерживаемого активной мобилизацией запасных липидов. Ключевую роль в этом процессе играет группа ферментов липаз (КФ 3.1.1.3), катализирующих гидролиз триацилглицеридов до глицерина и свободных жирных кислот, которые затем используются в качестве источника энергии и углерода в глиоксилатном цикле и β -окислении [1]. Активность липазного комплекса служит тонким индикатором метаболического статуса проростка и может быть чувствительной мишенью для агрохимикатов [2].

В современном интенсивном земледелии предпосевная обработка семян фунгицидами и стимуляторами роста стала стандартной практикой. Триазольные фунгициды, такие как «Скарлет» (тебукона-

зол и тритиконозол), широко применяются для контроля почвенных патогенов благодаря их системному действию и высокой эффективности [3]. Однако их липофильная природа и механизм действия, направленный на ингибирование биосинтеза стеролов (C14 - деметилаза цитохрома P450), потенциально могут влиять на нецелевые ферментативные системы растений, в частности на мембраносвязанные липазы, выступая в роли ингибиторов [3]. В свою очередь, регуляторы роста, например, «Атоник Плюс», содержащие нитрофеноляты и производное пиридина, предназначены для усиления общей метаболической активности и стрессоустойчивости растений через активацию дыхания и энергетического обмена [4]. Их влияние на липидный метаболизм на ферментативном уровне изучено недостаточно.

Основная часть. Целью данной работы являлся анализ потенциального влияния комплексной обработки фунгицидом «Скарлет» и регулятором роста «Атоник Плюс» на суммарную липолитическую активность в проростках озимого рапса.

В качестве объекта исследования использовали семена озимого рапса сорта «Империял», включённого в Государственный реестр сортов Республики Беларусь. Сорт характеризуется высокой зимостойкостью и значительным потенциалом урожайности [5]. Для исследования применяли два коммерческих препарата, разрешённых к применению на территории Республики Беларусь: фунгицид «Скарлет» и регулятор роста «Атоник Плюс» [6].

Фунгицид «Скарлет» содержит два действующих вещества триазольного класса: тебуконазол (125 г/л) и тритиконозол (100 г/л) [6]. С химической точки зрения, молекулы этих соединений представляют собой производные 1,2,4 - триазола, содержащие ароматические хлорзамещённые кольца и третичный спиртовый фрагмент. Наличие гетероцикла с атомами азота и хлора в ароматической системе придаёт молекулам выраженную липофильность и устойчивость к биодegradации. Механизм фунгицидного действия основан на ингибировании цитохром P450-зависимой C14-деметилазы, ключевого фермента синтеза эргостерина в грибах. Высокое сродство к липидным фазам предполагает возможность их накопления в липидных каплях (олеосомах) проростков, где может происходить физическое блокирование интерфейса активации мембраносвязанных липаз или аллостерическое ингибирование за счёт взаимодействия азота триазольного кольца с функциональными группами фермента [3].

Стимулятор роста «Атоник Плюс» представляет собой комбинацию *n*-оксида 2,6 - диметилпиридина (50 г/кг), калиевой соли орто-нитрофенола (30 г/кг) и калиевой соли пара-нитрофенола (30 г/кг) [6]. Ключевыми с точки зрения биохимической активности являются нитрофеноляты. Нитрогруппа является сильным электроноакцептором, что приводит к делокализации электронной плотности в фенолятном анионе. Такие молекулы способны участвовать в окислительно-восстановительных реакциях, потенциально выступая в роли шунтов в дыхательной цепи, что может приводить к временному увеличению синтеза АТФ. Пиридин-N-оксид может выступать лигандом для металлосодержащих ферментов. Химизм действия препарата основан на неспецифической активации энергетического метаболизма, что может опосредованно стимулировать синтез ферментов, включая липазы [4].

Для исследования влияния комплексной обработки фунгицидом «Скарлет» и регулятором роста «Атоник Плюс» на суммарную липолитическую активность в проростках рапса были определены шесть вариантов обработки (представлены в таблице 1). Допустимые уровни применения препаратов установлены в соответствии с официальными рекомендациями [6].

Для лабораторного проращивания использовали стерильные пластиковые пищевые контейнеры. На их дно помещали два слоя стерильной фильтровальной бумаги. В каждый контейнер высевали навеску семян массой 20 г. Фильтровальную бумагу равномерно увлажняли 10 мл соответствующего рабочего раствора препарата или дистиллированной водой (контроль). Обработку семян фунгицидом «Скарлет» проводили в первый день закладки опыта. Регулятор роста «Атоник Плюс» вносили на вторые сутки эксперимента, аккуратно добавляя необходимое количество раствора на подложку. Контейнеры накрывали пищевой пленкой с перфорацией для газообмена. Проращивание вели в условиях естественного освещения при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Определение липолитической активности проводили на 3-и сутки эксперимента, отбирая проростки со сходной морфологией.

Липолитическую активность определяли титриметрическим методом [7], основанным на измерении количества жирных кислот, высвобождаемых при гидролизе триацилглицеридов рапсового масла. Ферментативный экстракт получали гомогенизацией проростков в фосфатном буфере (рН 7,4). После инкубации образовавшиеся кислоты оттитровывали 0,05 М раствором КОН.

Статистическую обработку экспериментально полученных данных проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе «Past 4.03». Результаты исследования, представленные в таблице 1, демонстрируют статистически значимые изменения липолитической активности под влиянием исследуемых средств химизации. Визуальное представление варьирования данных, подтверждающее статистическую достоверность выявленных различий, приведено на диаграмме размаха (рисунок 1).

Таблица 1 – Данные липолитической активности в проростках

Вариант опыта	Обработка	Активность фермента, мг КОН/(ч·г)	F-критерий	p (относительно В1)
В1	Контроль (вода)	0,0058 ± 0,0002	F (5, 18) = 87,47 p < 0,001	–
В2	«Скарлет» (1 ДУ)	0,0025 ± 0,0004		< 0,001
В3	«Скарлет» (2 ДУ)	0,0043 ± 0,0003		< 0,001
В4	«Атоник Плюс»	0,0075 ± 0,0002		< 0,01
В5	«Скарлет» (1 ДУ) + «Атоник Плюс»	0,0062 ± 0,0003		> 0,05 (н.д.)
В6	«Скарлет» (2 ДУ) + «Атоник Плюс»	0,0051 ± 0,0002		< 0,05

Примечание: p > 0,05 (н.д.) означает, что разница в липолитической активности между В5 и контролем (В1) статистически не значима.

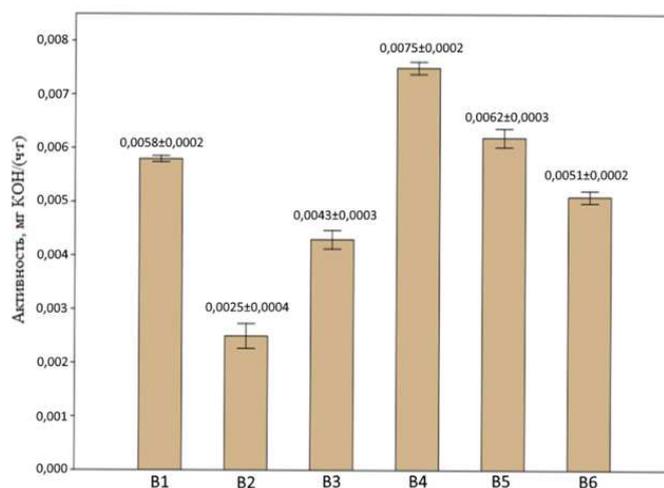


Рисунок 1 – Диаграмма размаха варьирования показателей липолитической активности в проростках озимого рапса в условиях лабораторного эксперимента

Активность ферментов липаз в контрольной группе проростков (В1) была на уровне $0,0058 \pm 0,0002$ мг КОН/(ч·г). Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил статистически значимое различие с контролем всех вариантов обработок ($F(5, 18) = 87,47$, $p < 0,001$). Обработка фунгицидом «Скарлет» в дозе 1ДУ (В2) вызвала сильное ингибирование, снизив активность более чем в два раза – до $0,0025 \pm 0,0004$ мг КОН/(ч·г) относительно контроля. Увеличение дозы фунгицида (В3) привело к достоверному частичному восстановлению активности до $0,0043 \pm 0,0003$ мг КОН/(ч·г), хотя это значение оставалось ниже контрольного. В противоположность этому, обработка «Атоник Плюс» (В4) показала выраженный стимулирующий эффект, повысив активность до максимального в опыте уровня $0,0075 \pm 0,0002$ мг КОН/(ч·г) ($p < 0,01$). В комбинированных вариантах обработки (В5, В6) наблюдали снижение суммарного ингибирующего эффекта. Так, в варианте В5 («Скарлет» 1ДУ + «Атоник Плюс») активность липаз ($0,0062 \pm 0,0003$ мг КОН/(ч·г)) статистически не отличалась от контроля ($p > 0,05$), что свидетельствует о полной нейтрализации ингибирующего действия фунгицида. В варианте В6 с двойной дозой фунгицида активность составила $0,0051 \pm 0,0002$ мг КОН/(ч·г), что было достоверно ниже контроля ($p < 0,05$), но выше, чем при действии одного фунгицида в сопоставимой дозе (В3). Таким образом, регулятор роста нивелировал ингибирующий эффект фунгицида, возвращая активность липаз к уровню, близкому к контрольному.

Обсуждение полученных результатов в контексте литературных данных позволяет предположить следующие механизмы взаимодействия агрохимикатов с липазным комплексом озимого рапса. Сильное ингибирование, зафиксированное для варианта В2, коррелирует с известными данными о липофильности триазолов. Химическая природа тебуконазола и тритиконазола обуславливает их накопление в липидных структурах [3], где они могут нарушать целостность липидного монослоя олеосом или непосредственно взаимодействовать с гидрофобными участками липаз, выступая в роли неконкурентных ингибиторов [2, 3]. Эффект частичного восстановления активности при высокой дозе (В3) может быть интерпретирован в рамках явления гормезиса, когда слабый стресс активизирует защитные и компенсаторные системы клетки [2].

Стимулирующий эффект «Атоник Плюс» (В4) может быть объяснён редокс-свойствами нитрофенолятов, их способностью активи-

ровать митохондриальное дыхание и синтез АТФ, косвенно усиливая биосинтетические процессы, включая синтез ферментов [4]. Взаимное ослабление эффектов в комбинированных обработках фунгицидом «Скарлет» и стимулятором роста «Атоник Плюс» (В5, В6) является ключевым результатом. Он предполагает, что метаболическая активация, индуцируемая стимулятором роста, может ускорять процессы детоксикации фунгицида (например, через систему цитохрома Р450 и последующую глюкозидацию) или поддерживать работу АТФ-зависимых систем репарации мембран, тем самым защищая функциональность липаз [2, 3]. Данная гипотеза находит поддержку в исследованиях, показывающих общие закономерности влияния ксенобиотиков на ферментные системы растений [2].

Заключение. На основании проведённого эксперимента можно сделать следующие теоретические выводы:

1. Триазольные фунгициды, в силу своей липофильной природы, являются потенциальными ингибиторами липазной активности в прорастающих семенах рапса, что согласуется с данными об их побочных эффектах на нецелевые ферменты;

2. Регуляторы роста на основе нитрофенолятов могут оказывать противоположное, стимулирующее действие на липидный катаболизм, вероятно, через активацию энергетического метаболизма;

3. Совместное применение данных классов препаратов может приводить к взаимодействию, выражающемуся во взаимном ослаблении эффектов, что свидетельствует о необходимости тщательного подбора совместимых баковых смесей для предпосевной обработки семян с учётом возможных биохимических конфликтов;

4. Полученные данные и методология могут служить основой для планирования дальнейших детальных *in vivo* исследований по оценке фитотоксичности и физиологической совместимости агрохимикатов на молекулярно-биохимическом уровне, с использованием липолитической активности в качестве чувствительного биохимического маркера.

Список использованных источников

1. Жуйкова, Т. В., Колесниченко, М. В. Физиолого-биохимические аспекты прорастания семян масличных культур (на примере рапса) / Т. В. Жуйкова, М. В. Колесниченко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 4(67). – С. 45–52.

2. Власюк, П. А., Кривобок, Н. М. Влияние ксенобиотиков на активность ферментных систем проростков сельскохозяйственных культур / П. А. Власюк, Н. М. Кривобок // Физиология и биохимия культурных растений. – 2016. – Т. 48, № 3. – С. 210–218.

3. Мелехова, О. П., Егорова, Е. И., Телегина, Т. А. Триазольные фунгициды: механизм действия, резистентность и побочные эффекты на растения / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. А. Телегина // *Агрохимия*. – 2020. – № 8. – С. 86–96.
4. Петров, В. С., Сидорова, Л. В. Регуляторы роста растений на основе нитрофенолятов: механизм физиологического действия и эффективность применения / В. С. Петров, Л. В. Сидорова // *Плодородие*. – 2019. – № 5(110). – С. 34–38.
5. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений // Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск, 2025. – URL: <http://sorttest.by/registry.php> (дата обращения: 10.12.2025).
6. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь // Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений. – Минск, 2025. – URL: <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> (дата обращения: 10.12.2025).
7. Новиков, Н. Н. Лабораторный практикум по биохимии растений : учеб. пособие / Н. Н. Новиков, Т. В. Таразанова. – М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. – 97 с.

УДК 661.847.22, 54.057

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ОКСИД ЦИНКА, ДОПИРОВАННЫЙ ЕВРОПИЕМ: ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И СИНХРОТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зернов Я. Г.

лаборант-исследователь, ДВФУ

Резниченко Т. В.

лаборант-исследователь, ДВФУ

Храмов Е. В.

научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский Институт»

Шурыгин А. В.

заведующий молодежной лабораторией структурного материаловедения,

к. ф.-м. н., ДВФУ

Введение. Перспективы применения наноструктурированного оксида цинка, допированного ионами европия, являются многообещающими в области оптоэлектроники, фотокатализа и создания новых люминесцентных материалов. Полупроводник ZnO служит эффективной матрицей для внедрения редкоземельных ионов европия, что позволяет объединить преимущества квантово-размерных эффектов наночастиц с характерной, узкополосной люминесценцией ионов Eu^{3+} .

Ключевым условием для проявления таких гибридных фотолюминесцентных свойств является эффективный не прямой (сенсibilизированный) перенос энергии от возбужденной полупроводниковой матрицы к 4f-уровням ионов европия. Именно этот процесс определя-