

УДК 632.952:581.14:633.11“321”

## ВЛИЯНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕБУКОНАЗОЛА НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

© 2021 г. О. И. Теплякова<sup>1</sup>, В. И. Евсеенко<sup>2</sup>, А. В. Душкин<sup>2</sup>, Н. Г. Власенко<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН  
630501 Новосибирская обл., пгт. Краснообск, Россия<sup>2</sup>Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН  
630128 Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18, Россия

\*E-mail: vlas\_nata@ngs.ru

Поступила в редакцию 12.05.2020 г.

После доработки 10.06.2020 г.

Принята к публикации 13.10.2020 г.

В условиях лабораторного и полевых экспериментов (2018–2019 гг.) проведена сравнительная оценка ретардантного действия тебуконазола (ТБК) и его супрамолекулярных комплексов с глицирризиновой кислотой, динатриевой солью глицирризиновой кислоты (массовое соотношение 1 : 5) и экстрактом корней солодки (1 : 5 и 1 : 10), созданных методом механохимии для обработки семян яровой мягкой пшеницы. С целью изучения возможностей снижения количества действующего вещества на 1 т семян ТБК и его механокомплексы применяли в 2-х нормах расхода – 0.3 и 0.1 кг/т. Супрамолекулярные комплексы ТБК в условиях лабораторного эксперимента значительно слабее сдерживали процесс формирования проростков (скорость роста корней тормозилась на 5–9%; проростка – на 17.4–34.0%), чем чистый ТБК (на 24 и 52% соответственно). Сила ретардантного эффекта опытных фунгицидных комплексов зависела от нормы расхода и их состава. Лучшие результаты получены при использовании комплексов ТБК с экстрактом корней солодки, усиливших рост проростков (корней – на 33–50, проростков – на 42.2–82.0%) не только относительно варианта с применением ТБК, но и варианта без обработки семян фунгицидами (на 16–18%). Ростостимуляция пшеницы усиливалась с понижением нормы расхода фунгицидных комплексов и увеличением доли экстракта корней солодки в их составе. Этот эффект подтвержден результатами полевых исследований. Применение комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки в массовом соотношении 1 : 5 и 1 : 10 (норма расхода 0.3 и 0.15 кг/т) при предпосевной обработке семян усиливало рост и развитие пшеницы, повышала ее густоту стояния, продуктивную кустистость и урожайность – на 0.52–0.69 т/га. Более высокопродуктивные посевы яровой мягкой пшеницы формировались при использовании пониженных норм расхода и количества действующего вещества в составе фунгицидной композиции.

**Ключевые слова:** мягкая яровая пшеница, ростовые процессы, супрамолекулярные комплексы, тебуконазол, глицирризиновая кислота, натриевая соль глицирризиновой кислоты, экстракт корней солодки.

DOI: 10.31857/S0002188121010105

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим стартовым элементом технологии возделывания зерновых, позволяющим сохранить от 0.2 [1] до 0.3–0.4 т/га выращиваемой продукции [2] является контроль семенной инфекции. Для этой цели используют широкий ряд фунгицидов-протравителей [3]. Среди них велика доля препаратов на основе азолов, в частности тебуконазола (ТБК), которые эффективно подавляют возбудителей обыкновенной корневой гнили (возбудители *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker, грибы *Fusarium* spp.) [4], и в то же время вызывают как ретардантный, так и стимулирующий эффекты [5]. Тебуконазолсодержащие препараты увеличивают содержание абсцизовой кислоты в рас-

тениях пшеницы, повышая их адаптацию к низким температурам [6]. Производные триазола, стимулирующие рост корневой системы многих растений, оказывают ретардантное действие на осевые органы зерновых, влияют на устойчивость растений к абиотическим стрессам [7, 8], могут вызывать значительное варьирование морфометрических параметров [9]. Прирост биомассы растений пшеницы зависит от препаративной формы тебуконазола [10], а фитотоксический эффект – от величины дозы. С ее увеличением усиливается угнетающее воздействие действующего вещества на всхожесть, длину корней, колеоптиля и побегов пшеницы [11–13]. В засушливых условиях тебуконазол способен тормозить прорастание се-

мян, снижать полевую всхожесть, но повышать продуктивную кустистость [4]. Ретардантный эффект триазолов, усиливающийся при неблагоприятных условиях роста и развития растений, может приводить к снижению полевой всхожести хлебных злаков на 25–30% [14].

С целью лучшего проникновения действующего вещества фунгицидов в растительные ткани, сокращения их норм расхода предлагаются новые модификации препаративных форм наноконструктивной природы [15–17]. К числу перспективных “вспомогательных” веществ относится глицирризиновая кислота и ее соли, которые содержатся в значительных количествах в корнях солодки уральской, широко произрастающей в восточной части РФ [18, 19]. Корни и корневища солодки помимо следов эфирного масла, витаминов, белков, горьких (до 4%) и смолистых (3–4%) веществ, липидов ( $\approx 4\%$ ), полисахаридов (4–6% пектиновых веществ и крахмала), моносахаридов и дисахаридов (всего до 20%) содержат более значимые с фармакологической точки зрения флавоноиды (3–4%) и тритерпеновые сапонины – глицирризиновую кислоту ( $\approx 20\%$ ). Вещества – тритерпеноидные соединения, флавоноиды и главным образом глицирризиновая кислота, содержащиеся в корнях солодки, биологически активны в отношении микроорганизмов [20]. Соли глицирризиновой кислоты обладают средней или достаточно высокой фунгицидной активностью по отношению к различным штаммам микроскопических грибов – *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor* spp. *Penicillium lividum*, *Trichoderma viridae* [21]. В некоторых исследованиях установлено, что комплексные соединения глицирризиновой кислоты проявляют биостимулирующие и гормональные свойства, способствуя росту и развитию растений. Несмотря на явную биологическую активность препаратов на основе глицирризиновой кислоты, исследования по изучению кислоты и ее производных как биостимуляторов сельскохозяйственных растений почти не проводятся [22].

Полученные методами механохимии фунгицидные комплексы тебуконазола с глицирризиновой кислотой и ее натриевой солью улучшают растворимость действующего вещества и его проникновение во внутренний объем зерна (в 2.2 и 2.5 раза), что обеспечивает эффективное подавление семенных инфекций при значительном снижении норм расхода препарата [23].

Цель работы – изучить влияние обработки семян фунгицидными комплексами ТБК с глицирризиновой кислотой и ее производными на ростовые процессы растений яровой мягкой пшеницы.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В лабораторном эксперименте по изучению ростовых процессов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) под влиянием супрамолекулярных комплексов тебуконазола с глицирризиновой кислотой, динатриевой солью глицирризиновой кислоты (массовое соотношение 1 : 5) и экстрактом корней солодки (в соотношении 1 : 5 и 1 : 10) с нормами расхода 0.3 и 0.1 кг/т семян использовали зерно сорта Омская 36. Комплексы приготовлены по описанным ранее методикам [23, 24]. Эти варианты опыта сравнивали с контролем без обработки семян фунгицидами, и вариантами с обработкой семян тебуконазолом с нормами расхода 0.3 и 0.1 кг/т семян. Откалиброванные по размеру зерновки (масса 1000 зерен = 41.2 г) обрабатывали препаратами с увлажнением (10 л/т), выдерживали 1 сут в закрытых пластиковых сосудах, затем помещали в чашки Петри (10 шт./чашку  $\times$  4 повторения) на увлажненную фильтровальную бумагу. Проращивание проводили при температуре 20°C и естественном освещении. В фазе 1-го листа измеряли длину корней, высоту проростка, определяли воздушно-сухую массу.

Полевые опыты проведены в 2018–2019 гг. на опытном поле СибНИИЗиХ СФНЦА РАН, на черноземе выщелоченном среднесуглинистом, после парового предшественника. Использовали семена яровой пшеницы сорта Новосибирская 31. Посев осуществляли в начале 3-й декады мая с нормой высева 6.5 млн всхожих зерен/га. Схема опыта: 1 – контроль без обработки семян фунгицидами, 2 – обработка семян фунгицидом раксил, КС (д.в. тебуконазол, 60 г/л) с нормой расхода 0.5 л/т (30 г ТБК/т, рекомендованная норма применения), 3 – обработка семян фунгицидом раксил, КС с нормой расхода 0.25 л/т, 4 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с растительными метаболитами – экстрактом корней солодки уральской, *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. в соотношении 1 : 10 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода 0.3 кг/т, 5 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 10 по массе, ВМ 24 ч; норма расхода 0.15 кг/т, 6 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 5 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода 0.15 кг/т, 7 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 5 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода 0.075 кг/т. Приготовление сухих композиций – комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки осуществляли по оригинальной механохимической технологии,

описанной ранее [24]. Протравливание проводили с увлажнением — 10 л/т семян. Площадь делянки в 2018 г. — 21.5, в 2019 г. — 10.2 м<sup>2</sup>, повторность соответственно — четырех- и восьмикратная, размещение систематическое. Оценку влияния фунгицидных комплексов на ростовые процессы яровой мягкой пшеницы проводили в динамике. В каждом варианте отбирали по 100 растений (10 × 10 точек/делянка), определяли высоту растений, воздушно-сухую биомассу надземной части. В фазе восковой спелости зерна в каждой повторности опыта определяли густоту стояния растений, их продуктивную кустистость. Учет урожая проводили 5 и 3 сентября прямым комбайнированием. Статистическая обработка данных выполнена с помощью программ “СНЕДЕКОР” [25], Statistica 7.0 и Excel 13.

Годы исследования отличались по метеорологическим показателям. В 2018 г. температура воздуха в мае была ниже нормы на 3.3°C, осадки обильные, с превышением среднеголетних показателей в 2.3 раза. В июне температура воздуха превышала среднеголетние показатели на 2.4°C, осадки — в 1.2 раза. В июле температурный режим был близок к норме, со снижением (на 1.1 и 2.8°C) в 1-й и 3-й декадах и превышением (на 2.5°C) — во 2-й декаде. Осадки в июле выпадали в 3-й декаде, с превышением нормы в 2 раза. В 1-й декаде ощущался недостаток влаги (меньше нормы в 1.9 раза), во 2-й декаде дожди практически отсутствовали. В 1-й декаде августа температура воздуха относительно многолетних показателей была ниже на 2.1°C, во 2-й и 3-й декадах — превысила их на 2.4 и 2.0°C. Дефицит осадков (в 1.9 раза меньше нормы) наблюдали в 1-й и 2-й декадах, превышение (в 1.3 раза) — в 3-й декаде. В 2019 г. температура воздуха в мае практически соответствовала норме, незначительный недобор отмечен только во 2-й декаде — на 1.3°C. Выпавшие в 3-й декаде месяца обильные осадки обеспечили превышение показателя месячной нормы в 1.2 раза. Июнь и июль по температурному режиму оказались близки к среднеголетним показателям. Недобор тепла (на 1.2 и 0.7°C) отмечен в 3-й декаде июня и июля, превышение (на 0.7°C) — в 1-й и 2-й декадах июля. Количество выпавших осадков в период кушения пшеницы (июнь) составило 45% нормы, особенно дефицитными (в 2.0 и 7.4 раза меньше среднеголетних показателей) были 1-я и 3-я декады. В июле основные осадки, превысившие норму на 13.0 и 38.0 мм, выпали в 1-й и 2-й декадах. В августе на фоне пониженного увлажнения (в 15.0, 2.2 и 2.0 раза) подекадная температура воздуха превышала среднеголетние показатели на 3.1, 1.8 и 2.9°C.

## РЕЗУЛЬТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение фунгицидных комплексов тебуконазола с глицирризиновой кислотой, ее натриевой солью и веществами экстракта корней солодки в лабораторных условиях позволило выявить заметное влияние этих “вспомогательных” веществ на ростовые процессы яровой мягкой пшеницы (табл. 1).

Проращивание семян пшеницы в контролируемых условиях показало наличие сильного ингибирующего эффекта от их обработки тебуконазолом. Фунгицид в норме расхода 0.3 кг/т семян сдерживал рост как корней (на 23.6%), так и проростков (на 52.3%), сильнее ингибируя формирование последних. Это привело к существенному уменьшению биомассы корней и проростков пшеницы — на 18.6 и 46.6% соответственно. Снижение нормы расхода тебуконазола в 3 раза приводило к увеличению всех биометрических показателей относительно варианта с полной дозой препарата — длины корней (на 5.9%), высоты проростка (9.8%) и их биомассы (на 2.8 и 29.2%), однако и в этом случае наблюдался незначительный ретардантный эффект. Он существенно нивелировался, если тебуконазол применяли в комплексе с глицирризиновой кислотой (1 : 5). Усиленный рост и накопление биомассы проростками вызывала обработка семян комплексом с нормой расхода 0.3 кг/т. Длина корней и их биомасса увеличивались относительно варианта с тебуконазолом с соответствующей нормой расхода на 23.8 и 17.1%, высота проростков и их биомасса — на 42.2 и 37.5%. Понижение нормы расхода комплекса ослабляло ростостимуляцию корней до 19.0%, но усиливало развитие проростков, высота и биомасса которых увеличивалась на 73.2 и 79.2%. Ослабление ретардантного эффекта происходило и в случае обработки семян тебуконазолсодержащим комплексом с натриевой солью глицирризиновой кислоты (1 : 5), особенно со снижением нормы расхода препарата. Относительно вариантов с применением чистого тебуконазола с нормой расхода 3 кг/т семян интенсивность развития проростков увеличивалась на 22.6 и 42.8% (длина корней), 14.2 и 30.4% (биомасса корней), 39.4 и 70.4% (высота проростка), 29.1 и 50.3% (биомасса проростка) соответственно при нормах расхода комплекса 0.3 и 0.1 кг/т семян.

Более выраженный ростстимулирующий эффект наблюдали при обработке семян комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношениях 1 : 5 и 1 : 10. Рост корней усиливался не только относительно вариантов с применением тебуконазола с нормой расхода 0.3 кг/т семян на 33.3 и 52.4% в первом случае и на 50.0 и

**Таблица 1.** Влияние комплексов тебуконазола с глицирризиновой кислотой, ее натриевой солью и экстрактом корней солодки на ростовые процессы яровой мягкой пшеницы сорта Омская 36 (лабораторный опыт)

Вариант	Показатели роста			
	длина корней	высота роста	биомасса корней 1-го растения	биомасса 1-го проростка
	см		мг	
Контроль (без обработки семян фунгицидами)*	11.0 ± 0.1	14.9 ± 0.3	10.8 ± 0.5	11.3 ± 0.8
ТБК 0.3 кг/т**	8.4 ± 0.2	7.1 ± 0.2	8.8 ± 0.3	6.0 ± 0.4
ТБК 0.1 кг/т	8.9 ± 0.2	7.8 ± 0.3	9.0 ± 0.01	7.8 ± 0.5
ТБК : глицирризиновая кислота (1 : 5), ВМ, 4 ч, 0.3 кг/т	10.4 ± 0.1	10.1 ± 0.1	10.3 ± 0.5	8.3 ± 0.5
ТБК : глицирризиновая кислота (1 : 5), ВМ, 4 ч, 0.1 кг/т	10.0 ± 0.1	12.3 ± 0.2	9.0 ± 0.4	10.8 ± 0.5
ТБК : натриевая соль глицирризиновой кислоты (Na <sub>2</sub> GA) (1 : 5), ВМ, 6 ч, 0.3 кг/т	10.3 ± 0.5	9.9 ± 0.1	10.0 ± 0.4	7.8 ± 0.3
ТБК : натриевая соль глицирризиновой кислоты (Na <sub>2</sub> GA) (1 : 5), ВМ, 6 ч, 0.1 кг/т	12.0 ± 0.2	12.1 ± 0.1	11.4 ± 0.3	9.0 ± 0.4
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5), ВМ, 24 ч, 0.3 кг/т	11.2 ± 0.1	10.1 ± 0.1	7.5 ± 0.3	9.8 ± 0.6
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5), ВМ, 24 ч, 0.1 кг/т	12.8 ± 0.2	14.2 ± 0.3	11.8 ± 0.6	10.3 ± 0.5
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10), ВМ, 24 ч, 0.3 кг/т	12.6 ± 0.3	12.8 ± 0.2	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.3
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10), ВМ, 24 ч, 0.1 кг/т	13.0 ± 0.1	13.6 ± 0.1	9.5 ± 0.3	10.3 ± 0.8
*Степень влияния по Снедекору, %	98.7	99.4	88.0	90.9
**Степень влияния по Снедекору, %	98.8	99.3	88.1	90.8

54.8% – во втором, но и относительно чистого контроля – на 2.0 и 16.4%, 14.5 и 18.2% соответственно. Высота проростка приближалась к показателю чистого контроля лишь в варианте с применением комплекса тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.1 кг/т семян. В остальных случаях она была меньше, чем в контроле, на 32.2, 14.1 и 8.7%. Но все же добавление экстракта корней солодки в значительной степени нивелировало ретардантный эффект тебуконазола, т.к. высота проростка пшеницы относительно варианта с этим препаратом увеличилась на 42.2 и 82.1% при обработке семян комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.3 и 0.1 кг/т семян и на 80.2 и 74.4% при обработке семян комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 10) с нормой расхода 0.3 и 0.1 кг/т семян. Таким образом, при пониженных нормах расхода фунгицидных комплексов и увеличении доли экстракта корней солодки в их составе стимуляция роста пшеницы была больше.

Комплексы тебуконазола с экстрактом корней солодки в полевых условиях. Они показали высокую эффективность против обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы. В начале вегетации пшеницы во всех вариантах обработки семян препаратами с большей нормой расхода действующего вещества проявлялся и более высокий угнетающий рост растений эффект. Его проявление зависело от условий вегетационного периода (табл. 2). Разница ретардантного эффекта между вариантами с более высокой и сниженной в 2 раза нормой расхода препаратов была очень заметной при формировании первых 2-х листьев в условиях 2018 г.: высота растений во всех вариантах с более высокой нормой расхода снижалась на 23.0, 23.0 и 23.7%, с пониженной в 2 раза нормой расхода – на 9.3 (раксил, КС), 14.4 (тебуконазол с экстрактом корней солодки, 1 : 10) и 16.5% (тебуконазол с экстрактом корней солодки, 1 : 5). Аналогичной зависимости не отмечено в условиях 2019 г. Небольшое снижение роста растений (на 5.4, 4.8 и 7.8% соответственно вариантам) наблюдали при обработке семян препаратами с более высокой нормой расхода. Ретардантный эффект отразился

**Таблица 2.** Влияние обработки семян яровой мягкой пшеницы комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки на ее ростовые процессы в начале вегетации

Вариант	Высота растений, см				Воздушно-сухая биомасса надземной части 1-го растения, мг			
	2 листа		3 листа		2 листа		3 листа	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	13.9	16.7	27.5	34.8	15.6	23.1	85.2	250
Раксил, КС 0.5 л/т	10.7	15.8	23.7	32.1	12.0	23.3	73.5	259
Раксил КС 0.25 л/т	12.6	16.7	25.7	35.3	14.6	24.5	75.8	292
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10) 0.3 кг/т	10.7	15.9	25.4	35.4	12.8	25.6	87.2	303
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10) 0.15 кг/т	11.9	16.7	26.0	37.4	13.1	26.0	88.1	325
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5) 0.15 кг/т	10.6	15.4	24.1	36.8	13.2	27.2	85.3	321
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5) 0.075 кг/т	11.6	17.1	28.4	37.4	14.4	28.0	107.0	339
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	0.4	0.3	0.5	0.4	0.8	0.5	3.0	3.9
Степень влияния по Снедекору, %	95.0	87.3	96.1	97.9	83.0	96.8	96.5	99.4

( $r = 0.88$ ) на формировании вегетативной массы. В условиях 2018 г. ни в одном из вариантов опыта растения не накопили биомассу, равную контролю. При ослаблении ретардантного эффекта у растений, сформированных из семян, обработанных комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 10 с нормой расхода 0.15 кг/т и в соотношении 1 : 5 с нормой расхода 0.075 кг/т, накопление биомассы увеличивалось на 9.2 и 20.0% относительно варианта с раксилем в рекомендованной норме применения. Следует отметить, что обработка семян раксилем с пониженной в 2 раза нормой расхода также приводила к повышению биомассы растений на 21.6%. В 2019 г. при обработке семян комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки наблюдали усиление накопления биомассы растениями как относительно варианта с применением раксилы 0.5 кг/т семян – на 9.9–20.2%, так и чистого контроля – на 10.8–21.2%. В фазе начала кущения задержку роста растений в опытных вариантах наблюдали только в одном (2018 г.) из 2-х лет проведения полевых экспериментов. Во всех вариантах опыта высота растений была меньше чем в контроле (на 5.5–13.8%), за исключением варианта протравливания семян тебуконазолом с экстрактом корней солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.075 кг/т, где ретардантный эффект не проявился. В этот период развития растений отмечена заметная разница во влиянии испытанных комплексов и химического контроля на накопле-

ние вегетативной массы растений. Ее показатель к фазе кущения пшеницы увеличивался у растений, защищенных тебуконазолом с экстрактом корней солодки (1 : 10) с нормой расхода 0.3 и 0.15 кг/т семян на 18.6 и 19.9%, а тебуконазолом с экстрактом корней солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.15 и 0.075 кг/т – на 16.0 и 45.6% соответственно, в последнем случае растения накопили биомассу на 25.6% больше, чем в контроле.

В 2019 г. рост растений тормозился на 7.8% только в варианте с обработкой семян раксилем в рекомендуемой норме расхода. Протравливание комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношениях 1 : 10 и 1 : 5 положительно влияло на ростовой процесс пшеницы и к фазе кущения пшеницы высота растений превышала контроль на 1.7 и 7.5, 5.7 и 7.5% соответственно нормам расхода препаратов. Показатель накопленной вегетативной массы увеличился относительно чистого контроля на 21.1 и 29.7%, 28.2 и 35.5%, что вероятно, можно объяснить лучшим кущением растений.

К концу вегетации пшеницы во всех опытных вариантах достоверно увеличивалась высота растений: при применении раксилы – на 2.7 и 4.3% в 2018 г., на 0.8 и 2.0% в 2019 г., комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки – на 6.0–8.8 и 3.2–4.2% соответственно (табл. 3). В первый год эксперимента биомасса 1-го растения (без зерна) при обработке тебуконазолом с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 10 превосходила кон-

**Таблица 3.** Влияние обработки семян яровой мягкой пшеницы комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки на показатели роста растений в фазе восковой спелости зерна

Вариант	Высота растений, см		Воздушно-сухая биомасса надземной части 1-го растения, г	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	95.8	99.4	1.65	2.44
Раксил, КС 0.5 л/т (30 г ТБК/т)	98.4	100	2.03	2.55
Раксил КС 0.25 л/т (15 г ТБК/т)	99.9	101	1.84	2.55
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10) 0.3 кг/т	102	103	2.28	2.67
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10) 0.15 кг/т	103	104	2.12	2.68
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5) 0.15 кг/т	103	103	2.15	2.66
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5) 0.075 кг/т	104	104	2.21	2.68
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	1.4	0.3	0.18	0.04
Степень влияния по Снедекору, %	91.0	98.8	73.9	90.5

**Таблица 4.** Влияние комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки на густоту стояния, продуктивный стеблестой и урожайность мягкой яровой пшеницы

Вариант	Густота стояния растений		Число продуктивных стеблей		Урожайность, т/га	
	шт./м <sup>2</sup>					
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	475	335	511	379	5.69	4.57
Раксил, КС 0.5 л/т (30 г ТБК/т)	544	390	608	462	5.89	4.86
Раксил КС 0.25 л/т (15 г ТБК/т)	542	409	660	494	6.09	5.02
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10) 0.3 кг/т	582	464	774	541	6.24	5.05
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 10) 0.15 кг/т	555	421	708	504	6.38	5.11
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5) 0.15 кг/т	573	426	766	510	6.35	5.09
ТБК : экстракт корней солодки (1 : 5) 0.075 кг/т	548	441	754	531	6.48	5.13
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	29	7	22	11	0.13	0.07
Степень влияния по Снедекору, %	74.7	98.6	97.7	98.1	90.6	93.3

трольный показатель на 38.2 и 28.5%, в соотношении 1 : 5 – на 30.3 и 33.9%, при использовании раксил – на 23.0 и 11.5%. В 2019 г. биомасса растений увеличилась относительно контроля на 9.0–9.8%.

Предпосевная обработка семян пшеницы фунгицидными комплексами оказала существенное влияние на формирование плотности посева, продуктивную кустистость, что в конечном итоге привело к повышению зерновой продуктивности культуры (табл. 4). Густота стояния растений в вариантах применения фунгицидных комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки пре-

высила контроль на 22.5 и 16.8, 20.6 и 15.4% – в первый, на 38.5 и 25.7, 27.2 и 31.6% – во второй год проведения эксперимента. В оба года число растений в вариантах с протравливанием семян коммерческим препаратом раксил также превышало контроль на 14.5 и 14.1%, 16.4 и 22.1% соответственно при более высокой и пониженной норме расхода препарата. Но еще более важный показатель, на который оказало влияние протравливание семян, – это количество продуктивных стеблей, которое увеличилось в вариантах протравливания семян фунгицидными комплексами

на 42.7 и 33.0, 34.6 и 40.1% в 2018 г. и на 51.5 и 38.6, 49.9 и 47.6% – 2019 г., что значительно больше аналогичных показателей в варианте применения раксила (21.9 и 30.3%, 19.0 и 29.2% соответственно).

Плотность посева определяла сбор зерна пшеницы ( $r_{\text{шт. растений/кв. м}} \times \text{урожайность} = 0.75$  и  $0.90$ ,  $d = 0.56$  и  $0.81$ ,  $r_{\text{шт. продуктивных стеблей/растение}} \times \text{урожайность} = 0.92$  и  $0.95$ ,  $d = 0.85$  и  $0.90$  соответственно в 2018 и 2019 гг.). Ее урожайность значительно превысила контроль и в случае обработки семян комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 10) 0.3 и 0.15 кг/т – на 0.55 и 0.48 т/га, или на 9.7–10.5% в 2018 г., на 0.69 и 0.54 т/га, или на 12.1 и 11.8% в 2019 г., так и комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 5) 0.15 и 0.075 кг/т – на 0.66 и 0.52 т/га, или на 11.6 и 11.4% и на 0.79 и 0.56 т/га, или на 13.9 и 12.3% соответственно. Сбор зерна в вариантах с обработкой семян препаратом раксил с нормами расхода 0.25 и 0.5 л/т повысился на 0.20 и 0.29 т/га, или на 3.5 и 6.3% и на 0.40 и 0.45 т/га, или на 7.0 и 9.8% относительно контроля, но оставался существенно меньше, чем при защите семенного материала от семенной и почвенной инфекции супрамолекулярными комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что супрамолекулярные комплексы тебуконазола с глицирризиновой кислотой, ее натриевой солью, компонентами экстракта корней солодки в значительной степени нивелировали ретардантное действие тебуконазола на этапе начального развития растений яровой пшеницы в контролируемых условиях. В полевых условиях применение комплекса тебуконазола с экстрактом корней солодки также существенно снижало подавляющий эффект тебуконазола на ростовые процессы растений пшеницы. Ростстимулирующие свойства экстракта корней солодки проявлялись по-разному в зависимости от метеоусловий периода вегетации. Протравливание семян яровой пшеницы супрамолекулярными комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки усилили интенсивность ее роста и развития, повысили густоту стояния растений в посевах, формирование продуктивных стеблей, и в итоге – урожайность. Это свидетельствовало о перспективности включения веществ экстракта корней солодки в комплексные фунгицидные протравители, которые обеспечивают усиление роста и развития растений яровой мягкой пшеницы при понижении норм расхода и количества действующего вещества в их составе. Это позволяет включать комплексы в экологизированные схемы за-

щиты растений с целью формирования высокопродуктивных экологически сбалансированных агроценозов мягкой яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кекало А.Ю., Немченко В.В. Технологии защиты яровой пшеницы от фитопатогенов // Аграрн. вестн. Урала. 2017. № 04(158). С. 26–30.
2. Говоров Д.Н., Живых А.В., Щетинин П.Б. Фитоэкспертиза и предпосевная обработка семян – важнейшие приемы технологии возделывания зерновых // Защита и карантин раст. 2018. № 8. С. 12–13.
3. Дымов Ю.А. Исследование биологической эффективности ряда перспективных протравителей в отношении корневых гнилей на яровой пшенице // Вестн. Орел ГАУ. 2016. № 4(61). С. 84–90. <https://doi.org/10.15217/4848>
4. Гришечкина Л.Д. Препараты на основе тебуконазола для защиты пшеницы яровой от семенной и почвенной инфекции // АгроXXI. 2014. № 1–3. С. 31–34.
5. Korsukova A.V., Borovik O.A., Grabelnykh O.I., Voinikov V.K. The Tebuconazole – based protectant of seeds “Bunker” induces the synthesis of dehydrins during cold hardening and increases the frostresistance of wheat seed lings // . Stress Physiol. Biochem. 2015. V. 11. № 4. P. 118–127.
6. Korsukova A.V., Gornostai T.G., Grabeinykh O.I., Dorofeev N.V., Pobezhimova T.P., Sokolova N.A., Dudareva L.V., Voinikov V.K. Tebuconazole regulates fatty acid composition of etiolated winter wheat seed lings // J. Stress Physiol. Biochem. 2016. V. 12. № 2. P. 72–79.
7. Побезимова Т.П., Корсукова А.В., Дорофеев Н.В., Грабельных О.И. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы // Изв. вузов. Прикл. хим. и биотехнол. 2019. Т. 9. № 3. С. 461–476. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476>
8. Корсукова А.В., Боровик О.А., Грабельных О.И., Дорофеев Н.В., Побезимова Т.П., Войников В.К. Повышение холодостойкости проростков яровой пшеницы при обработке семян тебуконазолом // Изв. вузов. Прикл. хим. и биотехнол. 2015. № 4(15). С. 30–36.
9. Чибис С.П., Кротова Л.А., Мухина Я.В. Результаты исследований влияния химических соединений на проростки пшеницы сорта Павлоградка // Вестн. ОмскГАУ. 2019. № 1(33). С. 61–68.
10. Volova T.G., Prudnikova S.V. Zhila N.O. Fungicidal activity of slow-release P(3НВ)/ТЕВ formulations in wheat plant communities infected by *Fusarium moniliforme* // Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. № 25(1). P. 552–561. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0466-4>
11. Байбакова Е.В., Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л. Исследование влияния современных протравителей на всхожесть и рост проростков зерновых культур // Изв. вузов. Прикл. хим. и биотехнол. 2016. Т. 6. № 3. С. 57–64. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-3-57-64>

12. Павлюк Н.Т., Шенцев Г.Д. Влияние протравителей на посевные качества семян зерновых культур // Вестник ВоронежГАУ. 2016. № 4(51). С. 21–25. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2016.4.21>
13. Демиденко Г.А. Влияние препарата “Бункер” на рост и развитие семян пшеницы Тулунская 12 // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 3. С. 69–77.
14. Абеленцев В.И. Факторы, снижающие эффективность обеззараживания семян // Защита и карантин раст. 2007. № 3. С. 28–29.
15. Петрова Н.Г., Гультяева Е.И., Кунгурцева О.В. Нанофунгициды против комплекса листовых болезней яровой пшеницы // Защита и карантин раст. 2018. № 8. С. 19–21.
16. Asrar J., Ding Y., La Monica R.E., Ness L.C. Controlled release of tebuconazole from a polymer matrix micro-particle: release kinetics and length of efficacy // J. Agric. Food Chem. 2004. № 52. P. 4814–4820. <https://doi.org/10.1021/jf0306385>
17. Массалимов И.А., Удовенко И.Ф., Киреева М.С., Ви-харева И.Н. Применение водных серосодержащих композиций в качестве средств защиты растений // Башкир. хим. журн. 2006. Т. 13. № 4. С. 97–100.
18. Толстиков Г.А., Балтина Л.А., Шульц Э.Э., Покров-ский А.Г. Глицерризиновая кислота // Биоорг. химия. 1997. Т. 23. № 9. С. 691–709.
19. Абрамова Г.А., Палагина М.В. Солодка уральская и ее использование в пищевой и фармацевтической промышленности // Вестн. ТГЭУ. 2005. № 1. С. 77–87.
20. Хабибрахманова В.Р., Халед Ш.М., Габдрахманова А.Р., Сысоева М.А. Переработка шрота корня солодки. II. Тритерпеноидные и флавоноидные вещества этанольных экстрактов // Химия раст. сырья. 2016. № 2. С. 97–102. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021121s>
21. Дикусар Е.А., Поткин В.И., Козлов Н.Г., Гаджилы Р.А., Тлеганов Р.Т., Ювченко А.П., Желдакова Р.А. Синтез и изучение фунгицидной активности аминокислотных солей глицерризиновой кислоты // Химия раст. сырья. 2011. № 4. С. 53–56.
22. Исаев Ю.Т., Аскарлов И.Р., Рустамов С.А., Хожиматов М.М. Получение комплексных соединений глицирама с биуретом и их биологическая активность // Universum: хим. и биол. 2019. № 4(58). С. 15–18.
23. Душкин А.В., Метелева Е.С., Хомиченко Н.Н., Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Халиков М.С., Халиков С.С. Новый пестицидный препарат на основе комплексов тебуконазола и производных глицерризины // Усп. совр. естествознания. 2016. № 11. С. 296–300. / <https://doi.org/10.17513/use.36227>
24. Метелева Е.С., Евсеенко В.И., Теплякова О.И., Халиков С.С., Поляков Н.Э., Апанасенко И.Е., Душкин А.В., Власенко Н.Г. Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян злаковых культур // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. № 3(26). С. 279–294. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-5-1>
25. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск, 2012. 282 с.

## The Effect of Supramolecular Complexes of Tebuconazole on Growth Processes of Spring Soft Wheat

O. I. Teplyakova<sup>a</sup>, V. I. Evseenko<sup>b</sup>, A. V. Dushkin<sup>b</sup>, and N. G. Vlasenko<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences  
r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk region 630501, Russia

<sup>b</sup>Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of RAS  
ul. Kutateladze 18, Novosibirsk 630128, Russia

<sup>\*</sup>E-mail: vlas\_nata@ngs.ru

In laboratory and field experiments (2018–2019), a comparative assessment of the retardant effect of tebuconazole (TBC) and its supramolecular complexes with glycyrrhizic acid, disodium salt of glycyrrhizic acid (mass ratio 1 : 5) and licorice root extract (1 : 5 and 1 : 10), created by the method of mechanochemistry for the treatment of seeds of spring soft wheat. In order to study the possibilities of reducing the amount of active substance per ton of seeds, TBC and its mechanical complexes were used in two consumption rates – 0.3 and 0.1 kg/t. Supramolecular complexes of TBC in the laboratory experiment significantly less restrained the process of seedlings formation (root growth rate was slowed down by 5–9%? sprout – by 17.4–34%) than pure TBC (by 24 and 52%, respectively). The strength of the retardant effect of experimental fungicide complexes depended on the rate of consumption and their composition. The best results were obtained when using TBC complexes with licorice root extract, which increased the growth of seedlings (roots by 33–50%, sprouts – by 42.2–82%), not only relative to the option with the use of TBC, but also the option without treatment of seeds with fungicides (by 16–18%). Wheat growth stimulation increased with a decrease in the rate of consumption of fungicide complexes and an increase in the proportion of licorice root extract in their composition. This effect is confirmed by the results of field research. The use of tebuconazole complexes with licorice root extract in a mass ratio of 1 : 5 and 1 : 10 (consumption rate of 0.3 and 0.15 kg/t) during pre-sowing seed treatment increased the growth and development of wheat, productive tillage capacity, density of planting and yield – by 0.52–0.69 t/ha. More highly productive crops of spring soft wheat were formed using lower consumption rates and the amount of active substance in the fungicidal composition.

**Key words:** soft spring wheat, growth processes, supramolecular complexes, tebuconazole, glycyrrhizic acid, sodium salt of glycyrrhizic acid, licorice root extra.