



УДК 581.1

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.34.3>

Разнонаправленные эффекты тебуконазол-содержащего протравителя семян «Бункер» на рост побегов и корней озимой пшеницы

О. И. Грабельных^{1,2}, Е. А. Полякова^{1,2}, А. В. Корсукова¹,
Н. С. Забанова^{1,2}, Е. В. Бережная¹, И. В. Любушкина^{1,2},
О. А. Федотова¹, А. В. Степанов¹, Т. П. Побежимова¹, Н. В. Дорофеев¹

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

E-mail: grolga@sifibr.irk.ru

Аннотация. Изучено влияние обработки семян тебуконазол-содержащим препаратом «Бункер» на ростовые процессы побегов и корней растений озимой. Проанализированы длина побега и суммарная длина корней, сырая и сухая биомасса, а также содержание фотосинтетических пигментов, пероксида водорода (H₂O₂) и продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в тканях побегов и корней. Установлено, что действие препарата на зелёные растения пшеницы проявляется в ингибировании роста побегов, стимулировании роста корней и снижении отношения длины побега к длине корней, а также некотором повышении содержания H₂O₂ и продуктов ПОЛ в тканях побегов. Различий в содержании хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов после обработки изученным фунгицидом не выявлено. На основании полученных данных можно заключить, что протравители семян, содержащие в качестве действующего вещества тебуконазол, имеют положительный физиологический эффект, связанный с развитием корневой системы, и, соответственно, могут усилить устойчивость растений к недостатку влаги и улучшить минеральное питание.

Ключевые слова: озимая пшеница, триазолы, тебуконазол-содержащий протравитель семян, рост побегов и корней, фотосинтетические пигменты, активные формы кислорода, перекисное окисление липидов.

Для цитирования: Разнонаправленные эффекты тебуконазол-содержащего протравителя семян «Бункер» на рост побегов и корней озимой пшеницы / О. И. Грабельных, Е. А. Полякова, А. В. Корсукова, Н. С. Забанова, Е. В. Бережная, И. В. Любушкина, О. А. Федотова, А. В. Степанов, Т. П. Побежимова, Н. В. Дорофеев // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2020. Т. 34. С. 3–19. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.34.3>

Введение

Фунгициды (средства защиты растений от грибковых заболеваний) на основе производных 1,2,4-триазола широко применяются в сельском хозяйстве для протравливания семенного материала и обработки надземных органов растений [Попов, Дорожкина, Калинин, 2003]. В отличие от других доступных фунгицидов производные триазольной природы применяют не только для предотвращения заражения растений, но и для лечения [Hof,

2001]. Эти препараты активно используются против болезней растений, вызываемых базидиомицетами, аскомицетами и некоторыми дейтеромицетами [Мельников, Новожилов, Белан, 1995]. Вследствие химической стабильности они оказывают длительное защитное действие, а растворимость в воде обеспечивает их передвижение из корней в надземную часть растений [Прусакова, Чижова, 1998; Попов, Дорожкина, Калинин, 2003]. Фунгицидная активность всех азолов связана с их способностью нарушать биосинтез стероидов у грибов [Triazole plant growth ... , 1988; Попов, Дорожкина, Калинин, 2003].

Показано, что системные фунгициды и протравители семян триазольной природы, помимо основного действия (проявления фунгицидной активности), вызывают целый ряд дополнительных физиологических эффектов на растения [Физиологические эффекты действия ... , 2019]. Основными из них являются ретардантное действие [Kende, Zeevaart, 1997], эффект «зеленения» [Gilley, Fletcher, 1997; Özmen, Özdemir, Türkan, 2003; Growth and photosynthetic ... , 2005; Rogach, Poprotska, Kuryata, 2016] и повышение устойчивости растений к различным стрессам, в том числе пониженным и повышенным температурам, засолению, водному дефициту и засухе и др. [Wang, 1985; Hofstra, Fletcher, 1990; Kraus, Fletcher, 1994; Gilley, Fletcher, 1997; Прусакова, Чижова, 1998; Chloroplastic changes ... , 1999; Özmen, Özdemir, Türkan, 2003; Pre-treating paclobutrazol enhanced ... , 2006; Soumya, Kumar, Pal, 2017; Exogenous tebuconazole ... , 2019; Tebuconazole and trifloxystrobin ... , 2020]. Способность производных триазола повышать уровень устойчивости растений к различным стрессам, по-видимому, отчасти обусловлена увеличением содержания эндогенной абсцизовой кислоты (АБК), активацией антиоксидантных ферментативных и неферментативных систем и снижением содержания активных форм кислорода (АФК) и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) [Hydrogen peroxide-scavenging ... , 1992; Kraus, Fletcher, 1994; Чижова, Павлова, Прусакова, 2005; Pre-treating paclobutrazol enhanced ... , 2006; Exogenous tebuconazole ... , 2019; Tebuconazole and trifloxystrobin ... , 2020].

Ранее нами исследовалось влияние системного фунгицида профилактического и лечебного действия тебуконазола и тебуконазол-содержащего протравителя семян «Бункер» (содержание тебуконазола 60 г/л) на рост и некоторые физиолого-биохимические параметры этиолированных проростков злаков и их холодо- и морозоустойчивость. Были выявлены ретардантный эффект препарата, его влияние на углеводный, белковый, жирнокислотный и дыхательный метаболизм, а также способность повышать устойчивость к низким температурам при закаливании и раззакаливании [The tebuconazole-based protectant ... , 2015; Влияние обработки семян ... , 2016; Tebuconazole regulates fatty ... , 2016; Жирнокислотный состав проростков ... , 2018; Влияние тебуконазола ... , 2020]. Предстояло выяснить, сохраняются ли наблюдаемые эффекты тебуконазол-содержащего протравителя у зелёных растений, а также было важно оценить его влияние на окислительные процессы в клетках растений.

Целью данной работы было изучение влияния обработки семян тебуконазол-содержащим препаратом «Бункер» на рост побегов и корней озимой пшеницы на свету и физиолого-биохимические параметры (содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, активных форм кислорода и продуктов ПОЛ) в тканях побегов и корней.

Материалы и методы

В работе использовали фунгицид профилактического и лечебного действия тебуконазол-содержащий протравитель семян «Бункер» (Август, Россия), действующим веществом которого является тебуконазол (60 г/л). Очищенные от пыли и примесей семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L., сорт Иркутская) обрабатывали препаратом «Бункер» в дозе 0,5 и 1,5 мкл/г семян. В качестве контроля использовали растения пшеницы, выращенные из необработанных протравителем семян. Производитель препарата рекомендует для обработки семян пшеницы дозировку препарата 0,5 л/т семян, что соответствует 0,5 мкл/г.

Семена пшеницы, обработанные и не обработанные протравителем, замачивали в течение суток в сосуде с водой и оставляли набухать в темноте в течение суток при комнатной температуре. На вторые сутки семена промывали и сливали воду, оставляя их ещё на сутки в закрытом сосуде в темноте при этой же температуре. Проклюнувшиеся семена распределяли на рамки с сеткой, размещали на пластиковые контейнеры (объемом 3,5 л) с водой и выращивали в камере KBW 720 (Binder, Германия) с температурой $23/20 \pm 0,1$ °C (фотопериод 16 ч), влажностью 70 % и освещённостью 250 мкмоль ($\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$) фотосинтетической активной радиации (ФАР). Через двое суток растения переносили на раствор Кнопа $\frac{1}{2}$ нормы и выращивали их в течение последующих 5 сут. Раствор Кнопа меняли каждый день. Для исследований отбирали растения в возрасте 5, 7 и 9 сут.

Для оценки влияния препарата «Бункер» на рост проростков пшеницы измеряли длину побега и суммарную длину корней. Степень ингибирования определяли как отношение разности длин побегов (суммарных длин корней) контрольных растений и растений, выращенных из обработанных семян, к длине побега (суммарной длине корней) контрольных растений. Для измерения сырой и сухой биомассы использовали 50 проростков каждого варианта.

Для определения содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов) свежую навеску побегов (50 мг) растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством 80%-ного охлаждённого ацетона (1 мл) и MgCO_3 . Гомогенат переносили в пробирки, обмывая ступку и пестик 3 мл ацетона, и оставляли на сутки при 4 °C. На следующий день гомогенат центрифугировали при 7000 г в течение 10 мин при 4 °C. Экстракт сливали в мерную пробирку на 10 мл, а к осадку добавляли свежий 80%-ный ацетон (1 мл), перемешивали и центрифугировали повторно. Процедуру повторяли несколько раз, каждый раз объединяя экстракты и доводя объём вытяжки растворителем до 7 мл. Содержание хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов в вытяжке определяли спектрофотометрически при длинах волн 665,

649 и 440 нм соответственно. Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* рассчитывали по формуле Вернера, а содержание суммы каротиноидов – по формуле Ветшттейна [Гавриленко, Жигалова, 2003]. Количество пигментов выражали в мг/г сырого веса.

Для определения содержания АФК и продуктов ПОЛ растительную ткань (0,5 г) предварительно замораживали в жидком азоте и гомогенизировали в 5 мл 0,1%-ной трихлоруксусной кислоты (ТХУ) на льду. Гомогенат центрифугировали при 12 000 г в течение 15 мин при 4 °С. Содержание клеточного пероксида водорода (H₂O₂) определяли с ксиленоловым оранжевым [Extracellular H₂O₂ induced ... , 2000], а содержание продуктов ПОЛ оценивали по накоплению в тканях продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-РП) [Heath, Packer, 1968].

Для определения содержания H₂O₂ супернатант разводили 0,1%-ной ТХУ (1:4) и готовили смесь супернатанта и реагента в соотношении 1:1 (по 0,5 мл каждого). Состав реагента: 0,5 мМ FeSO₄×(NH₄)₂SO₄×6H₂O, 0,5%-ной (v/v) H₂SO₄, 200 мкМ ксиленолового оранжевого (AppliChem, Германия) и 200 мМ сорбитола (Gerbu, Германия). Смесь инкубировали в течение 25 мин на минитермошейкере TS-100 (BioSan, Латвия) при температуре 26 °С, затем пробы центрифугировали при 12 000 г в течение 5 мин. Определяли поглощение конечного продукта спектрофотометрически (SmartSpec Plus, Bio-Rad, США) при 560 нм. Содержание H₂O₂ рассчитывали по калибровочной кривой и выражали в мкМ/г сырого веса.

Для определения содержания ТБК-РП 0,5 мл супернатанта добавляли к 1 мл 0,5%-ной (w/v) ТБК (Диаэм, Россия) в 20%-ной ТХУ. Смесь инкубировали на кипящей водяной бане в течение 30 мин и останавливали реакцию охлаждением, помещая пробирки в лёд. Образцы центрифугировали 5 мин при 12 000 г и измеряли абсорбцию супернатанта при 532 и 600 нм. Содержание ТБК-РП рассчитывали с использованием коэффициента экстинкции ТБК 155 мМ⁻¹ см⁻¹ после вычитания неспецифического поглощения при 600 нм и выражали в нМ/г сырого веса.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программного пакета SigmaPlot v. 14.0. Эксперименты проводили не менее чем в трёхкратной повторности. Данные представлены в виде средней арифметической (M) и стандартного отклонения (±S.D.) или в виде медианы (Me) и интерквартильной широты [25 %; 75 %]. Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка. В случае нормального распределения для доказательства наличия значимых различий между средними значениями применяли двухфакторный дисперсионный анализ с последующей процедурой множественного сравнения средних по методу LSD Фишера. Для доказательства наличия значимых различий при распределении, отличном от нормального, использовали Н-критерий Краскела – Уоллиса. Различия между экспериментальными данными считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Ранее на этиолированных проростках злаков нами было показано, что тебуконазол-содержащий протравитель «Бункер» в рекомендуемой производителем дозе 0,5 мкл/г семян ингибирует рост coleoptилей этиолированных проростков озимой пшеницы на 30 %, а увеличение дозы препарата до 1,5 мкл/г семян сопровождается усилением ростиингибирующего эффекта до 40 % [The tebuconazole-based protectant ... , 2015]. В настоящей работе мы сравнили действие препарата «Бункер» в разных дозах (0,5 и 1,5 мкл/г семян) на рост побегов и корней зелёных растений озимой пшеницы разного возраста (5, 7 и 9 сут.).

Как видно из рис. 1 и 2, *a*, изучаемый препарат оказывал значительное ингибирующее действие на рост побегов.

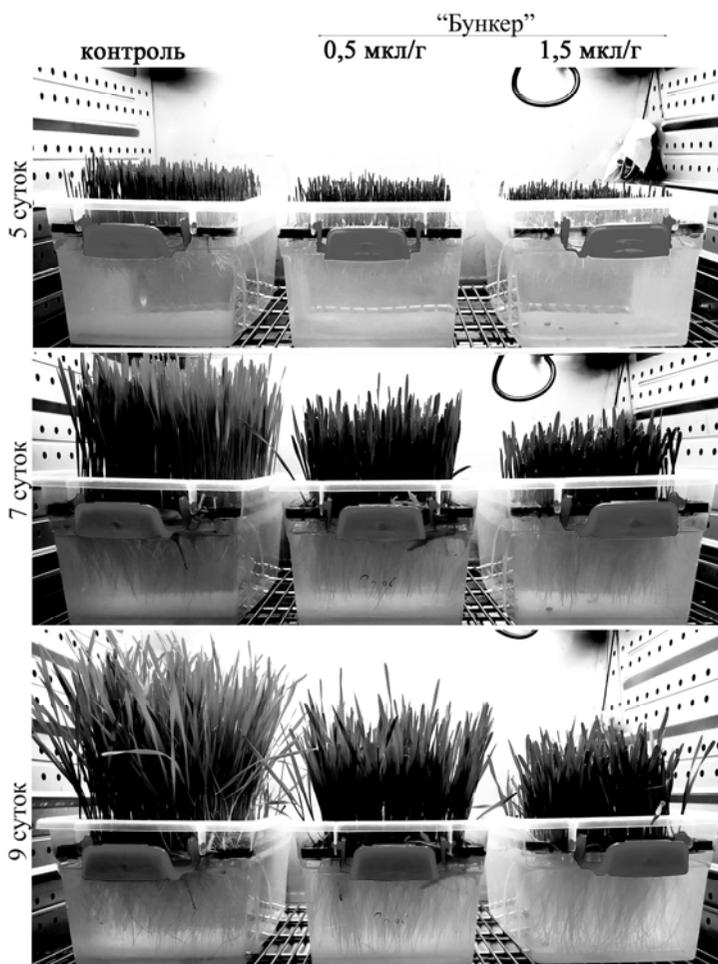


Рис. 1. Фенотип растений озимой пшеницы, выращенных из семян, обработанных тебуконазол-содержащим протравителем «Бункер» в разных дозах (0,5 и 1,5 мкл/г семян).

Примечание. Растения выращивали в камере опытной станции (фитотрон) при температуре 23/20±0,1 °С (16 ч день / 8 ч ночь) и освещённости 250 мкмоль (м² с⁻¹) ФАР на растворе Кнопа ½ нормы. Контроль – растения, выращенные из семян, не обработанных протравителем. 5, 7 и 9 – сутки роста растений

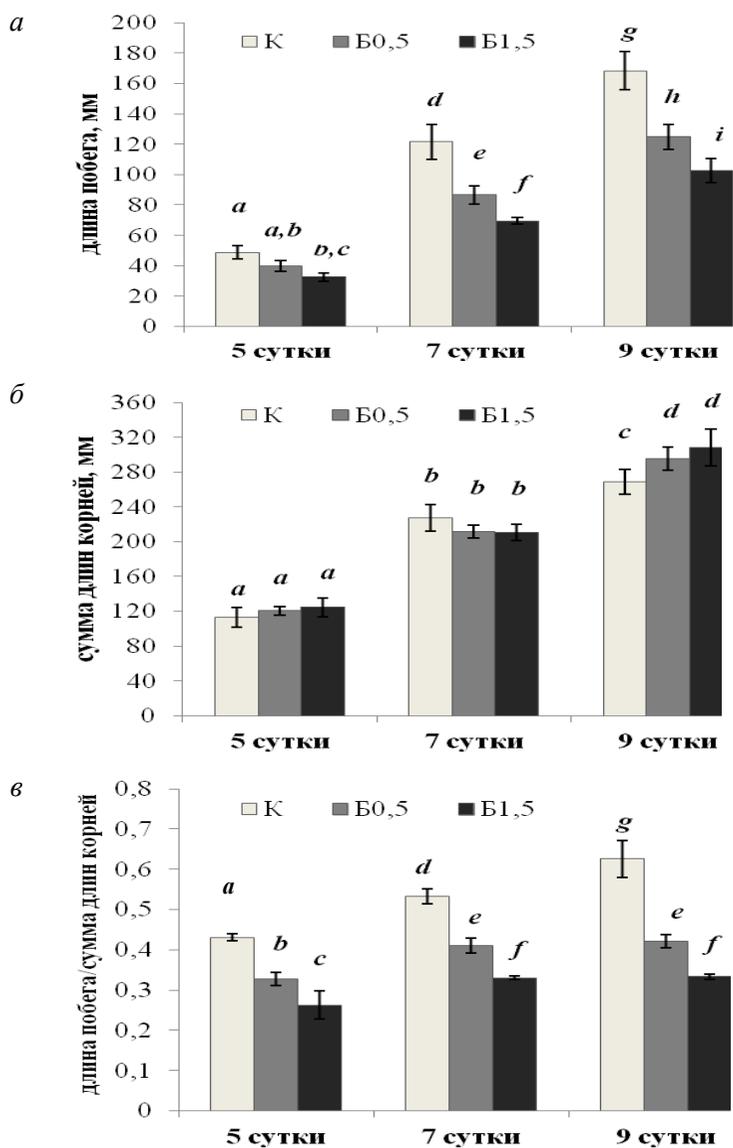


Рис. 2. Влияние тебуконазол-содержащего протравителя «Бункер» на длину побегов (а), длину корней (б) и отношение длины побега к сумме длин корней (в) у растений озимой пшеницы на 5-е, 7-е и 9-е сут. роста.

Обозначения: К – растения, выращенные из семян, не обработанных протравителем; Б0,5 – растения, выращенные из семян, обработанных протравителем «Бункер» в дозировке 0,5 мкл/г семян; Б1,5 – растения, выращенные из семян, обработанных протравителем «Бункер» в дозировке 1,5 мкл/г семян. Статистически значимые различия при $p \leq 0,05$ отмечены на диаграмме разными буквами ($M \pm S.D.$, $n = 3$, где n – независимая выборка из 50 проростков)

Степень ингибирования длины побегов проростков, выращенных из обработанных семян, по сравнению с растениями из контрольных семян, возрастала с увеличением дозы протравителя. При этом если на 5-е сутки роста наблюдалась тенденция к ингибированию длины побегов, то на 7-е и 9-е сут. роста ингибирование было статистически значимо (см. рис. 2, а). Максимальное ингибирование длины побегов наблюдали на 7-е сут. роста проростков. Так, препарат в дозе 0,5 и 1,5 мкл/г семян на 5-е сут. роста вызвал ингибирование длины побегов на 19 и 33 %, на 7-е сут. – на 29 и 43 %, на 9-е сут. – на 26 и 39 % соответственно.

Торможение роста побегов является наиболее заметным физиологическим проявлением действия на растения фунгицидов, содержащих веществами из класса триазолов [Физиологические эффекты действия ... , 2019]. В то же время их влияние на рост корней менее изучено. Аналогичного ингибирующего эффекта препарата на рост корней озимой пшеницы обнаружено не было (рис. 2, б). Наоборот, в исследуемых дозах (0,5 и 1,5 мкл/г семян) препарат вызывал статистически значимое увеличение суммы длин корней проростков в 9-суточном возрасте, по сравнению с контрольными растениями (на 10 и 15 % соответственно). На 5-е сут. роста проростков, как и на 7-е, статистически значимых отличий между длинами корней растений из контрольных и обработанных семян не было обнаружено.

Противоположный эффект препарата на рост побегов и корней приводил к снижению показателя отношения длины побегов к сумме длин корней у растений из обработанных семян по сравнению с контрольными независимо от возраста (рис. 2, в). Так, на 5-е сут. роста проростков из семян, обработанных препаратом в дозах 0,5 и 1,5 мкл/г семян, данное соотношение было снижено на 24 и 39 %, на 7-е сут. – на 23 и 38 %, на 9-е сут. – на 33 и 47 % соответственно.

В целом полученные результаты показали, что эффективность и направленность действия тебуконазол-содержащего протравителя на рост побегов озимой пшеницы, выращенных на свету, совпадает с действием на этиолированные проростки [The tebuconazole-based protectant ... , 2015]. Ретардантное действие фунгицидов триазольной природы обусловлено их влиянием на изопреноидный путь и изменением содержания определённых фитогормонов – подавлением биосинтеза гиббереллина, снижением выделения этилена, повышением уровней цитокинина и АБК [Levels of IAA ... , 1988; Triazole plant growth ... , 1988; Kende, Zeevaart, 1997; Прусакова, Чиждова, 1998; Hofstra, Grieg, Fletcher, 1998; Чиждова, Павлова, Прусакова, 2005]. Изменения в содержании фитогормонов под действием триазолов приводят к тому, что наряду с ретардантным действием на осевые органы растений (укорачивание длины и увеличение диаметра побегов, стеблей) может наблюдаться их ростостимулирующее действие на корневую систему растений, что в итоге приводит к снижению соотношения побег/корень [Прусакова, Чиждова, 1998; Triazole plant growth ... , 1988; Özmen, Özdemir, Türkan, 2003]. Действительно, в нашей работе выявлено стимулирование роста корневой системы и снижение отношения длины побега к суммарной

длине корней у проростков озимой пшеницы, выращенных из семян, обработанных фунгицидом триазольной природы, содержащим тебуконазол в качестве действующего вещества.

Ингибирование роста побегов и стимуляция роста корней под действием препарата «Бункер» на 9-е сут. сопровождалось статистически значимым снижением сырой биомассы побегов и увеличением сырой и сухой биомассы корней (табл. 1).

Таблица 1

Влияние тебуконазол-содержащего протравителя «Бункер» на сырую и сухую биомассу побегов и корней растений озимой пшеницы на 5-е, 7-е и 9-е сут. роста

Вариант	Побеги		Корни	
	Сырая биомасса, г	Сухая биомасса, г	Сырая биомасса, г	Сухая биомасса, г
5 сут. роста				
Контроль	1,68±0,05	0,17±0,01	0,93±0,04	0,08±0,01
Б0,5	1,29±0,12	0,15±0,02	0,97±0,06	0,09±0,03
Б1,5	1,32±0,20	0,15±0,02	1,08±0,34	0,10±0,03
7 сут. роста				
Контроль	3,46±0,67	0,35±0,06	1,54±0,16	0,11±0,01
Б0,5	2,85±0,10*	0,35±0,09	1,53±0,39	0,12±0,01
Б1,5	3,10±0,60	0,32±0,06	1,70±0,42	0,12±0,01
9 сут. роста				
Контроль	5,94±0,28	0,56±0,06	1,72±0,14	0,12±0,01
Б0,5	5,37±0,34*	0,53±0,02	1,98±0,28	0,15±0,01*
Б1,5	5,07±0,53*	0,51±0,01	2,52±0,72*	0,17±0,02*

Примечание. Сырая и сухая биомасса включают вес 50 проростков. * – указаны обнаруженные статистически значимые различия ($p \leq 0,05$, $n = 3$, $M \pm S.D.$) с вариантом Контроль в определенные сутки роста. *Обозначения:* Контроль – растения, выращенные из семян, не обработанных протравителем; Б0,5 – растения, выращенные из семян, обработанных протравителем «Бункер» в дозировке 0,5 мкл/г семян; Б1,5 – растения, выращенные из семян, обработанных протравителем «Бункер» в дозировке 1,5 мкл/г семян.

Одним из эффектов, оказываемых триазолами на растения, является увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов [Gilley, Fletcher, 1997; Özmen, Özdemir, Türkan, 2003; Growth and photosynthetic ... , 2005; Rogach, Poprotska, Kuryata, 2016]. Нами была проведена оценка влияния тебуконазол-содержащего препарата «Бункер» на содержание этих фотосинтетических пигментов в побегах озимой пшеницы, но значимых различий в их содержании обнаружено не было, за исключением некоторого повышения отношения хлорофиллов a/b в побегах растений из обработанных семян (0,5 мкл/г) на 5-е сут. (табл. 2).

В ряде работ показано участие триазолов в регуляции содержания АФК и процессов ПОЛ в клетках растений в стрессовых условиях [Hydrogen peroxide-scavenging ... , 1992; Kraus, Fletcher, 1994; Exogenous tebuconazole ... , 2019; Tebuconazole and trifloxystrobin ... , 2020]. Мы оценили влияние препарата «Бункер» на содержание в побегах и корнях одного из видов АФК – H_2O_2 , а также продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-РП) (табл. 3).

Таблица 2

Влияние тебуконазол-содержащего протравителя «Бункер» на содержание фотосинтетических пигментов в побегах озимой пшеницы на 5-е, 7-е и 9-е сут. роста

Вариант	Хлорофилл, мг/г сырого веса		a/b	a + b, мг/г сырого веса	Каротиноиды, мг/г сырого веса
	a	b			
5 сут. роста					
Контроль	0,52 [0,46; 0,58]	0,29 [0,25; 0,30]	1,90 [1,85; 1,96]	0,82 [0,71; 0,88]	0,15 [0,14; 0,17]
Б0,5	0,64 [0,54; 0,72]	0,29 [0,26; 0,31]	2,26* [2,10; 2,35]	0,92 [0,81; 1,03]	0,19 [0,15; 0,24]
Б1,5	0,52 [0,49; 0,59]	0,28 [0,24; 0,29]	2,03 [1,88; 2,17]	0,82 [0,74; 0,87]	0,16 [0,15; 0,20]
7 сут. роста					
Контроль	1,30 [1,28; 1,38]	0,67 [0,65; 0,67]	1,94 [1,92; 2,12]	1,97 [1,95; 2,07]	0,30 [0,29; 0,33]
Б0,5	1,29 [1,21; 1,41]	0,63 [0,56; 0,66]	2,14 [2,04; 2,16]	1,92 [1,79; 2,05]	0,32 [0,29; 0,34]
Б1,5	1,30 [1,28; 1,38]	0,67 [0,65; 0,67]	1,94 [1,92; 2,12]	1,97 [1,95; 2,07]	0,30 [0,29; 0,33]
9 сут. роста					
Контроль	1,96 [1,68; 2,10]	0,92 [0,80; 1,05]	2,08 [1,95; 2,13]	2,89 [2,48; 3,15]	0,43 [0,40; 0,47]
Б0,5	1,83 [1,62; 2,05]	0,83 [0,77; 0,93]	2,17 [2,10; 2,22]	2,67 [2,39; 3,00]	0,42 [0,36; 0,48]
Б1,5	1,57 [1,39; 1,87]	0,81 [0,71; 0,92]	2,03 [2,00; 2,09]	2,38 [2,11; 2,78]	0,36 [0,30; 0,41]

Примечание. Данные представлены в виде Me [25 %; 75 %], n = 6. * – указаны обнаруженные статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) с вариантом Контроль в определенные сутки роста.

Обозначения: контроль, Б0,5 и Б1,5, как в табл. 1.

Таблица 3

Влияние тебуконазол-содержащего протравителя «Бункер» на содержание H_2O_2 и ТБК-РП в побегах и корнях озимой пшеницы на 5-е, 7-е и 9-е сут. роста

Вариант	H_2O_2 , мкМ/г сырого веса		ТБК-РП, нМ/г сырого веса	
	Побеги	Корни	Побеги	Корни
5 сут. роста				
Контроль	1643±95	28±6	76 [74; 77]	11 [10; 13]
Б0,5	1738±102	35±5	87 [86; 88]	19 [14; 20]
Б1,5	1994*±52	25±6	96* [94; 106]	9 [8; 15]
7 сут. роста				
Контроль	1613±275	67±19	104 [95; 119]	11 [10; 12]
Б0,5	1952*±30	66±19	122 [113; 132]	17 [16; 19]
Б1,5	1958*±79	75±14	99 [97; 102]	19 [16; 19]
9 сут. роста				
Контроль	1875±42	68±21	68 [64; 72]	13 [10; 11]
Б0,5	1951±81	49±3	69 [63; 84]	12 [11; 13]
Б1,5	1928±230	64±7	49 [44; 68]	11 [10; 12]

Примечание. Данные по содержанию H_2O_2 представлены в виде $M \pm S.D.$ ($n = 3$), а данные по содержанию ТБК-РП в виде Me [25 %; 75 %] ($n = 3$). * – указаны обнаруженные статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) с вариантом Контроль в определенные сутки роста.

Обозначения: Контроль, Б0,5 и Б1,5, как в табл. 1.м

Повышение продукции H_2O_2 и ТБК-РП наблюдалось в тканях побегов проростков озимой пшеницы из семян, обработанных повышенной дозой препарата, на 5-е сут. роста, и обеими концентрациями на 7-е сут. Каких-либо изменений в содержании указанных продуктов в корнях под действием препарата обнаружено не было. Интересно отметить, что содержание пероксида водорода в побегах было значительно выше, чем в корнях.

Данные по влиянию препарата «Бункер» на содержание АФК и продуктов ПОЛ в клетках растений в контрольных условиях согласуются с данными других исследователей [Exogenous tebuconazole ... , 2019], которые показали, что тебуконазол совместно с трифлуксистробинном вызывают некоторое увеличение содержания пероксида водорода и малонового диальдегида в клетках огурца в отсутствие стресса, а также благоприятствуют снижению нежелательных окислительных процессов при солевом стрессе. Следует отметить, что в отличие от других препаратов, содержащих несколько действующих веществ одного или разных классов пестицидов, протравитель «Бункер» содержит только одно действующее вещество – тебуконазол, в связи с чем изучение эффектов его действия на растения является перспективным.

Заключение

Результаты исследования показали, что тебуконазол-содержащий протравитель семян оказывает разнонаправленный эффект на рост побегов и корней растений озимой пшеницы при выращивании на свету: ингибирует рост побегов и стимулирует рост корней. Несмотря на существенный ростингибирующий эффект, препарат «Бункер» не вызывает активацию окислительных процессов в тканях побегов и корней, за исключением повышения содержания H_2O_2 и ТБК-РП в побегах на начальном этапе роста. Стимулирование роста корневой системы может иметь важное значение для обеспечения устойчивости растений к недостатку влаги и улучшению минерального питания. В свою очередь, улучшение параметров развития растений в засушливый период будет способствовать повышению урожайности и качества полученной продукции. Всесторонние исследования воздействия триазолов на растения при действии неблагоприятных факторов среды весьма актуальны.

Работа выполнена с использованием коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» и оборудования ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН.

Список литературы

Влияние обработки семян тебуконазолом на содержание сахаров и морозоустойчивость проростков озимых пшеницы и ржи / А. В. Корсукова, О. И. Грабельных, О. А. Боровик, Н. В. Дорофеев, Т. П. Побежимова, В. К. Войников // *Агрохимия*. 2016. № 7. С. 52–58.

Влияние тебуконазола и тебуконазол-содержащего препарата «Бункер» на функционирование митохондрий озимой пшеницы / Т. П. Побежимова, А. В. Корсукова, О. А. Боровик, Н. С. Забанова, Н. В. Дорофеев, О. И. Грабельных, В. К. Войников // *Биологические мембраны*. 2020. Т. 37, № 3. С. 224–234. <https://doi.org/10.31857/S0233475520020103>

Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М. : Академия, 2003. 256 с.

Жирнокислотный состав проростков озимых и яровых злаков после обработки семян тебуконазол-содержащим препаратом бункер / А. В. Корсукова, Т. Г. Горностаи, О. И. Грабельных, Н. В. Дорофеев, Т. П. Побежимова, Л. В. Дударева, В. К. Войников // *Агрохимия*. 2018. № 11. С. 70–76. <https://doi.org/10.1134/S0002188118110078>

Мельников Н. Н., Новожилов К. В., Белан С. Р. Пестициды и регуляторы роста растений. М. : Химия, 1995. 575 с.

Попов С. Я., Дорожкина Л. А., Калинин В. А. Основы химической защиты растений. М. : Арт-Лион, 2003. 208 с.

Прусакова Л. Д., Чижова С. И. Применение производных триазола в растениеводстве // *Агрохимия*. 1998. № 10. С. 37–44.

Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы / Т. П. Побежимова, А. В. Корсукова, Н. В. Дорофеев, О. И. Грабельных // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2019. Т. 9, № 3. С. 461–476. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476>

Чижова С. И., Павлова В. В., Прусакова Л. Д. Содержание абсцизовой кислоты и рост растений ярового ячменя под действием триазолов // *Физиология растений*. 2005. Т. 52, № 1. С. 108–114.

Chloroplastic changes associated with paclobutrazol-induced stress protection in maize seedlings / C. R. Sopher, M. Król, N. P. A. Huner, A. E. Moore, R. A. Fletcher // *Can. J. Bot.* 1999. Vol. 77, N 2. P. 279–290. <https://doi.org/10.1139/b98-236>

Exogenous tebuconazole and trifloxystrobin regulates reactive oxygen species metabolism toward mitigating salt-induced damages in cucumber seedling / S. M. Mohsin, M. Hasanuzzaman, M. H. M. B. Bhuyan, K. Parvin, M. Fujita // *Plants*. 2019. Vol. 8, N 10. P. 428. <https://doi.org/10.3390/plants8100428>

Extracellular H₂O₂ induced by oligogalacturonides is not involved in the inhibition of the auxin-regulated rolB gene expression in tobacco leaf explants / D. Bellincampi, N. Dipierro, G. Salvi, F. Cervone, G. De Lorenzo // *Plant Physiol*. 2000. Vol. 122. P. 1379–1385.

Fletcher R. A., Hofstra G. Improvement of uniconazole-induced protection in wheat seedlings // *J. Plant Growth Regulation*. 1990. Vol. 9. P. 207–212.

Gilley A., Fletcher R. A. Relative efficacy of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings // *J. Plant Growth Regulation*. 1997. Vol. 21, N 3. P. 169–175.

Growth and photosynthetic characteristics as affected by triazoles in *Amorphophallus campanulatus* Blume / R. Gopi, R. Sridharan, R. Somasundaram, G. M. Alagulakshmanan // *Gen. Appl. Plant Physiol*. 2005. Vol. 31, N 3-4. P. 171–180.

Heath R. L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // *Arch. Biochem. Biophys*. 1968. Vol. 125. P. 189–198.

Hof H. Critical annotations to the use of azole antifungals for plant protection // *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2001. Vol. 45, N 11. P. 2987–2990. <https://doi.org/10.1128/AAC.45.11.2987-2990.2001>

Hofstra G., Grieg I. C., Fletcher R. A. Uniconazole reduces ethylene and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and increases spermine levels in mung bean seedlings // *J. Plant Growth Regulation*. 1998. Vol. 8. P. 45–51.

Hydrogen peroxide-scavenging enzymes and antioxidants in *Echinochloa frumentacea* as affected by triazole growth regulators / N. Sankhla, A. Upadhyaya, T. D. Davis, D. D. Sankhla // *Plant Growth Regulation*. 1992. Vol. 11. P. 441–443.

Kende H., Zeevaert J. The five “classical” plant hormones // *Plant Cell*. 1997. Vol. 9, N 7. P. 1197–1210. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1197>

Kraus T. E., Fletcher R. A. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved? // *Plant Cell Physiol.* 1994. Vol. 35, N 1. P. 45–52.

Levels of IAA, cytokinins, ABA and ethylene in rice plants as affected by a gibberellin biosynthesis inhibitor, uniconazole-P. / K. Izumi, S. Nakagawa, M. Kobayashi, H. Oshio, A. Sakurai, N. Takahashi // *Plant Cell Physiol.* 1988. Vol. 29, N 1. P. 97–104. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077480>

Özmen A. D., Özdemir F., Türkan I. Effect of paclobutrazol on response of two barley cultivars to salt stress // *Biologia Plantarum.* 2003. Vol. 46, N 2. P. 263–268.

Pre-treating paclobutrazol enhanced chilling tolerance of sweet potato / K.-H. Lin, F.-H. Pai, S.-Y. Hwang, H.-F. Lo // *Plant Growth Regulation.* 2006. Vol. 49. P. 249–262.

Rogach V. V., Poprotska I. V., Kuryata V. G. Effect of gibberellin and retardants on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of the potato // *Visnyk of Dnipropetrovsk Univ. Biol., ecol.* 2016. Vol. 24, N 2. P. 416–420. <https://doi.org/10.15421/011656>

Soumya P. R., Kumar P., Pal M. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant // *Indian J. Plant Physiol.* 2017. Vol. 22, N 3. P. 267–278. <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0316-x>

Tebuconazole and trifloxystrobin regulate the physiology, antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems in conferring salt stress tolerance in *Triticum aestivum* L. / S. M. Mohsin, M. Hasanuzzaman, K. Nahar, Md. S. Hossain, M. H. M. Bhuyan, K. Parvin, M. Fujita // *Physiol. Mol. Biol. Pla.* 2020. Vol. 26. P. 1139–1154.

Tebuconazole regulates fatty acid composition of etiolated winter wheat seedlings / A. V. Korsukova, T. G. Gornostai, O. I. Grabelnych, N. V. Dorofeev, T. P. Pobezhimova, N. A. Sokolova, L. V. Dudareva, V. K. Voinikov // *J. Stress Physiol. Biochem.* 2016. Vol. 12, N 2. P. 72–79.

The tebuconazole-based protectant of seeds “Bunker” induces the synthesis of dehydrins during cold hardening and increases the frost resistance of wheat seedlings / A. V. Korsukova, O. A. Borovik, O. I. Grabelnych, V. K. Voinikov // *J. Stress Physiol. Biochem.* 2015. Vol. 11, N 4. P. 118–127.

Triazole plant growth regulators / T. D. Davis, G. L. Steffens, N. Sankhla, J. Janick // *Horticultural Rev.* 1988. Vol. 10. P. 63–105.

Wang C. Y. Modification of chilling susceptibility in seedlings of cucumber and zucchini squash by the bioregulator paclobutrazol (PP333) // *Scientia Horticulturae.* 1985. Vol. 26, N 4. P. 293–298. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(85\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(85)90013-5)

Differently Directional Effects of Tebuconazole-Based Disinfectant of Seeds “Bunker” on the Growth of Winter Wheat Shoots and Roots

O. I. Grabelnych^{1,2}, E. A. Polykova^{1,2}, A. V. Korsukova¹,
N. S. Zabanova^{1,2}, E. V. Berezhnaya¹, I. V. Lyubushkina^{1,2},
O. A. Fedotova¹, A. V. Stepanov¹, T. P. Pobezhimova¹, N. V. Dorofeev¹

¹*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

²*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

Abstract. Derivatives of a triazole are used not only as fungicides to prevent infection of plants, but also for treatment. These drugs are actively used against plant diseases caused by basidiomycetes, ascomycetes, and some deuteromycetes. Due to their chemical stability, they have a long-term protective effect, and their solubility in water ensures their movement from the roots to the aerial part of plants. The aim of this work was to study the effect of seed treat-

ment with tebuconazole-containing preparation “Bunker” on the growth of shoots and roots of winter wheat in the light and physiological and biochemical parameters. We used a fungicide of prophylactic and therapeutic action tebuconazole-containing seed treater “Bunker” (August, Russia), the active ingredient of which is tebuconazole (60 g/L). The shoot length and total root length, wet and dry biomass, as well as the content of photosynthetic pigments, reactive oxygen species – hydrogen peroxide (H_2O_2) and lipid peroxidation products (LPO) reacting with thiobarbituric acid (TBA-RP) in the tissues of shoots and roots were analyzed. The content of chlorophylls *a* and *b* and carotenoids in the extract was determined spectrophotometrically at wavelengths of 665, 649, and 440 nm, respectively. The obtained results indicate that the action of the drug is aimed at inhibiting the growth of shoots and reducing the ratio of shoot length to root length, while on the 7-9th day of growth, the effectiveness of its action is higher, and the most significant effect is exerted by an increased dose of the disinfectant (1.5 μ L/g). It was found statistically significant stimulation of root growth on the 9th day of cultivation, regardless of the dose of the dressing agent. Despite the significant growth-inhibiting effect, treatment with Bunker was not accompanied by activation of oxidative processes in shoot tissues, with the exception of an increase in the content of H_2O_2 and TBA-RP at the initial stage of growth (5 days). In root tissues, the content of H_2O_2 and TBA did not change under the action of the studied preparation. No differences in the content of chlorophylls *a* and *b* and carotenoids in the tissues of wheat shoots after treatment with the studied fungicide were found. Based on the data obtained, it can be concluded that seed dressing agents containing tebuconazole as an active ingredient can be used to ensure plant resistance to moisture deficiency and improve mineral nutrition.

Keywords: winter wheat, triazoles, tebuconazole-containing seed disinfectant, shoot and root growth, photosynthetic pigments, reactive oxygen species, lipid peroxidation.

For citation: Grabelnykh O.I., Polykova E.A., Korsukova A.V., Zabanova N.S., Berezhnaya E.V., Lyubushkina I.V., Fedotova O.A., Stepanov A.V., Pobezhimova T.P., Dorofeev N.V. Differently Directional Effects of Tebuconazole-Based Disinfectant of Seeds “Bunker” on the Growth of Winter Wheat Shoots and Roots. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2020, vol. 34, pp. 3-19. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.34.3> (in Russian)

References

- Korsukova A.V., Grabelnykh O.I., Borovik O.A., Dorofeev N.V., Pobezhimova T.P., Voinikov V.K. Vliyanie obrabotki semyan tebukonazolom na sodержanie sakharov i morozoustoichivost' prorostkov ozimyykh pshenitsy i rzhi [The effect of seed treatment with tebuconazole on sugar content and frost resistance of winter wheat and rye seedlings]. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 2016, no. 7, pp. 52-58. (in Russian)
- Pobezhimova T.P., Korsukova A.V., Borovik O.A., Zabanova N.S., Dorofeev N.V., Grabelnykh O.I., Voinikov V.K. Vliyanie tebukonazola i tebukonazol-soderzhashchego preparata “Bunker” na funktsionirovanie mitokhondrii ozimoi pshenitsy [The influence of tebuconazole and tebuconazole-based disinfectant “Bunker” on the functioning of winter wheat mitochondria]. *Biologicheskie membrany [Biochemistry (Moscow) Supplement. Series A: Membrane and Cell Biology]*, 2020, vol. 37, no. 3, pp. 224-234. <https://doi.org/10.31857/S0233475520020103> (in Russian)
- Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. *Bolshoi praktikum po fotosintezu* [Great Workshop on Photosynthesis]. Moscow, Academia Publ., 2003, 256 p. (in Russian)
- Korsukova A.V., Gornostai T.G., Grabelnykh O.I., Dorofeev N.V., Pobezhimova T.P., Dudareva L.V., Voinikov V.K. Zhirnokislotsnyi sostav prorostkov ozimyykh i yarovyykh zlakov posle obrabotki semyan tebukonazol-soderzhashchim preparatom bunker [Fatty acid composition of seedlings of winter and spring cereals after seed treatment with tebuconazole-containing preparation hopper]. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 2018, no. 11, pp. 70-76. <https://doi.org/10.1134/S0002188118110078> (in Russian)

Mel'nikov N.N., Novozhilov K.V., Belan S.R. *Pestitsidy i regulatory rosta rastenii: Spravochnik*. [Pesticides and Plant Growth Regulators: A Guide.]. Moscow, Khimiya Publ., 1995, 575 p. (in Russian)

Popov S.Ya., Dorozhkina L.A., Kalinin V.A. *Osnovy khimicheskoi zashchity rastenii* [Fundamentals of chemical plants protection]. Moscow. Art-Lion Publ., 2003, 208 p. (in Russian)

Prusakova L.D., Chizhova S.I. Primenenie proizvodnykh triazola v rastenievodstve [Application of triazole derivatives in plant cultivation]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 1998, no. 10, pp. 37-44. (in Russian)

Pobezhimova T.P., Korsukova A.V., Dorofeev N.V., Grabelnykh O.I. Fiziologicheskie efekty deistviya na rasteniya fungitsidov triazolnoi prirody [Physiological effects of triazole fungicides in plants]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Proc. of Universities. Appl. Chem. Biotechnol.], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 461-476. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476> (in Russian)

Chizhova S.I., Pavlova V.V., Prusakova L.D. Soderzhanie abstsizovoi kisloty i rost rastenii yarovogo yachmenya pod deistviem triazolov [The content of abscisic acid and the growth of spring barley plants under the action of triazoles]. *Fiziologiya rastenii* [Russ. J. Plant Physiol], 2005, vol. 52, no. 1, pp. 108-114. (in Russian)

Sopher C.R., Król M., Huner N.P.A., Moore A.E., Fletcher R.A. Chloroplastic changes associated with paclobutrazol-induced stress protection in maize seedlings. *Can. J. Bot.*, 1999, vol. 77, no. 2, pp. 279-290. <https://doi.org/10.1139/b98-236>

Mohsin S.M., Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M., Parvin K., Fujita M. Exogenous tebuconazole and trifloxystrobin regulates reactive oxygen species metabolism toward mitigating salt-induced damages in cucumber seedling. *Plants*, 2019, vol. 8, no. 10, pp. 428. <https://doi.org/10.3390/plants8100428>

Bellincampi D., Dipierro N., Salvi G., Cervone F., De Lorenzo G. Extracellular H₂O₂ induced by oligogalacturonides is not involved in the inhibition of the auxin-regulated rolB gene expression in tobacco leaf explants. *Plant Physiol.*, 2000, vol. 122, pp. 1379-1385.

Fletcher R.A., Hofstra G. Improvement of uniconazole-induced protection in wheat seedlings. *J. Plant Growth Regulation*, 1990, vol. 9, pp. 207-212.

Gilley A., Fletcher R.A. Relative efficacy of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. *J. Plant Growth Regulation*, 1997, vol. 21, no. 3, pp. 169-175.

Gopi R., Sridharan R., Somasundaram R., Alagulakshmanan G.M. Growth and photosynthetic characteristics as affected by triazoles in *Amorphophallus campanulatus* Blume. *Gen. Appl. Plant Physiol.*, 2005, vol. 31, no. 3-4, pp. 171-180.

Heath R.L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys*, 1968, vol. 125, pp. 189-198.

Hof H. Critical annotations to the use of azole antifungals for plant protection. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2001, vol. 45, no. 11, pp. 2987-2990. <https://doi.org/10.1128/AAC.45.11.2987-2990.2001>

Hofstra G., Grieg I.C., Fletcher R.A. Uniconazole reduces ethylene and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and increases spermine levels in mung bean seedlings. *J. Plant Growth Regulation*, 1998, vol. 8, pp. 45-51.

Sankhla N., Upadhyaya A., Davis T.D., Sankla D.D. Hydrogen peroxide-scavenging enzymes and antioxidants in *Echinochloa frumentacea* as affected by triazole growth regulators. *Plant Growth Regulation*, 1992, vol. 11, pp. 441-443.

Kende H., Zeevaart J. The five "classical" plant hormones. *Plant Cell Physiol.*, 1997, vol. 9, no. 7, pp. 1197-1210. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1197>

Kraus T.E., Fletcher R.A. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved? *Plant Cell Physiol*. 1994, vol. 35, no. 1, pp. 45-52.

Izumi K., Nakagawa S., Kobayashi M., Oshio H., Sakurai A., Takahashi N. Levels of IAA, cytokinins, ABA and ethylene in rice plants as affected by a gibberellin biosynthesis inhibitor, uniconazole-P. *Plant Cell Physiol.*, 1988, vol. 29, no. 1, pp. 97-104. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077480>

Özmen A.D., Özdemir F., Türkan I. Effect of paclobutrazol on response of two barley cultivars to salt stress. *Biologia Plantarum*, 2003, vol. 46, no. 2, pp. 263-268.

Lin K.-H., Pai F.-H., Hwang S.-Y., Lo H.-F. Pre-treating paclobutrazol enhanced chilling tolerance of sweet potato. *Plant Growth Regulation*, 2006, vol. 49, pp. 249-262.

Rogach V.V., Poprotska I.V., Kuryata V.G. Effect of gibberellin and retardants on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of the potato. *Visnik Dnipropetrovs'kogo Universitetu. Seria Biologia, ekologia* [Bull. Dnipropetrovsk Univ. Biol., ecol.], 2016, vol. 24, no. 2, pp. 416-420. <https://doi.org/10.15421/011656> (in Ukrainian)

Soumya P.R., Kumar P., Pal M. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian J. Plant Physiol.*, 2017, vol. 22, no. 3, pp. 267-278. <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0316-x>

Mohsin S.M., Hasanuzzaman M., Nahar K., Hossain Md.S., Bhuyan M.H.M.B., Parvin K., Fujita M. Tebuconazole and trifloxystrobin regulate the physiology, antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems in conferring salt stress tolerance in *Triticum aestivum* L. *Physiol. Mol. Biol. Pla.*, 2020, vol. 26, pp. 1139-1154.

Korsukova A.V., Gornostai T.G., Grabelnykh 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 seedlings. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 2016, vol. 12, no. 2, pp. 72-79. (in Russian)

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 frost resistance of wheat seedlings. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 118-127. (in Russian)

Davis T.D., Steffens G.L., Sankhla N., Janick J. Triazole plant growth regulators. *Horticultural Rev.*, 1988, vol. 10, pp. 63-105.

Wang C.Y. Modification of chilling susceptibility in seedlings of cucumber and zucchini squash by the bioregulator paclobutrazol (PP333). *Scientia Horticulturae*, 1985, vol. 26, no. 4, pp. 293-298. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(85\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(85)90013-5)

Грabelных Ольга Ивановна
доктор биологических наук,
главный научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
профессор
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск,
ул. К. Маркса, 1
e-mail: grolga@sifibr.irk.ru

Grabelnykh Olga Ivanovna
Doctor of Sciences (Biology),
Principal Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: grolga@sifibr.irk.ru

Полякова Елизавета Алексеевна
ведущий инженер
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
студент

Polykova Elizaveta Alekseevna
Leading Engineer
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Student

- Иркутский государственный университет*
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: polyackova.elizaveta.727@mail.ru
- Irkutsk State University*
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: polyackova.elizaveta727@mail.ru
- Корсукова Анна Викторовна*
кандидат биологических наук,
младший научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: avkorsukova@gmail.com
- Korsukova Anna Viktorovna*
Candidate of Science (Biology),
Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: avkorsukova@gmail.com
- Забанова Наталья Сергеевна*
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003 Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: pavnatser@mail.ru
- Zabanova Natalya Sergeevna*
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Assistant Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: pavnatser@mail.ru
- Бережная Екатерина Владиславовна*
аспирант
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: ekaterina809@mail.ru
- Berezhnaya Ekaterina Vladislavovna*
Postgraduate
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: ekaterina809@mail.ru
- Любушкина Ирина Викторовна*
кандидат биологических наук,
научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: ostrov1873@yandex.ru
- Lyubushkina Irina Viktorovna*
Candidate of Science (Biology),
Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Assistant Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: ostrov1873@yandex.ru
- Федотова Ольга Андреевна*
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
- Fedotova Olga Andreevna*
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,

ул. Лермонтова, 132
e-mail: ol.borovik@mail.ru

Russian Federation
e-mail: ol.borovik@mail.ru

Степанов Алексей Владимирович
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: saw33@list.ru

Stepanov Aleksey Vladimirovich
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: saw33@list.ru

Побежимова Тамара Павловна
доктор биологических наук,
главный научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: pobezhimova@sifibr.irk.ru

Pobezhimova Tamara Pavlovna
Doctor of Sciences (Biology),
Principal Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: pobezhimova@sifibr.irk.ru

Дорофеев Николай Владимирович
кандидат биологических наук,
зам. директора по прикладной
и инновационной работе
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, д. 132
e-mail: nicdoro@gmail.ru

Dorofeev Nikolay Vladimirovich
Candidate of Science (Biology),
Vice-Director
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: nicdoro@gmail.ru