

DOI: 10.5281/zenodo.4320984

УДК: 633.34:581.557:632.95:581.132

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОТВЕТА СОЕВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА НА ДЕЙСТВИЕ ФУНГИЦИДОВ СТАНДАК ТОП И ФЕВЕР

*Елена КИРИЧЕНКО, Анастасия ПАВЛИЩЕ,
Светлана ОМЕЛЬЧУК, Алла ЖЕМОЙДА, Сергей КОЦЬ*

Abstract. The article presents the results of the investigations of physiological aspects of the response of soybean-rhizobium symbiosis (the formation of the symbiotic apparatus and its functional activity, the level and ratio of photosynthetic pigments – chlorophyll and carotenoids in the leaves of plants, the development and productivity of soybean plants) to the seed treatment with fungicides on the day of sowing were studied in pot experiments with soil culture.

Methods. Physiological, biochemical, microbiological. **Results.** It was shown that seed treatment of early-ripening varieties of soybean Almaz with the fungicides Standak Top and Fever on the day of sowing, followed by seed inoculation with nodule bacteria strain 634b significantly inhibited the functioning of the symbiotic apparatus during the budding phase (by 55 and 62%) and full flowering (by 46 and 51%). The realization of the nodulation ability of the microsymbiont remained stable, since the difference in the number and mass of nodules on the plant, the mass of 1 nodule as well as the sensitivity of plants to inoculation (nodulation scale) did not significantly differ against the control (without fungicides) except for the initial phase of symbiosis formation. Under the action of fungicides, an imbalance in the synthesis of green photosynthetic pigments and carotenoids as well as their ratio in the first half of soybean vegetation were established, while these were almost equalized to the level of control plants during the full flowering stage and treated plants had a slightly reduced chlorophyll *a* content (by 15 and 7%), chlorophyll *b* (by 10 and 4%) and carotenoids (by 11 and 8%). Compared with Standak Top, Fever had a less toxic effect, and during the developmental stage of three true leaves, it even caused an activating effect on the photosynthetic apparatus of plants: the level of chlorophyll *a* and carotenoids significantly (5 and 18%, respectively) exceeded the control values. Such changes in the symbiotic and photosynthetic apparatus of soybean plants can be considered as components of the adaptation of soybean-rhizobium symbiosis to the treatment with fungicides and maintenance of proper development of plants in such conditions (positive changes were found in the vegetative mass and growth indicators in the range of 5–21% and 16–39% using Standak Top and Fever, respectively) with stable realization of their productive potential (seed yield at the control level). **Conclusions.** The physiological aspects of the response of soybean-rhizobium symbiosis to the effect of anthropogenic factor that we have established indicate the possibility of using the fungicides Standak Top and Fever (1.5 and 0.3 l / ton of seeds, respectively) for pre-sowing treatment of soybean seeds on the day of sowing, followed by its rhizobia bacterization.

Key words: Soybean-rhizobium symbiosis; Fungicides; Nodulation; Nitrogen fixation; Chlorophylls; Carotenoids; Yield.

Реферат. В статье изложены результаты исследования физиологических аспектов ответа соево-ризобиального симбиоза (формирование симбиотического аппарата и его функциональной активности, уровня и соотношения фотосинтетических пигментов хлорофилла и каротиноидов в листьях растений, развития и продуктивности сои) на фоне обработки семян фунгицидами в день посева в вегетационных условиях с почвенной культурой. **Методы.** Физиологические, биохимические, микробиологические. **Результаты.** Установлено, что обработка семян сои раннеспелого сорта Алмаз фунгицидами Стандак Топ и Февер в день посева с последующей инокуляцией клубеньковыми бактериями штамм 643б существенно угнетало функционирование симбиотического аппарата в фазы бутонизации (на 55 и 62%) и массового цветения (на 46 и 51%). Реализация нодуляционной способности микросимбионта оставалась стабильной, поскольку разница в количестве и массе клубеньков на растении, массе 1 клубенька и чувствительности растений к инокуляции (шкала нодуляции) достоверно не отличались от контроля (без фунгицидов) за исключением начальной фазы образования симбиоза. При действии фунгицидов установлен дисбаланс в синтезе зеленых фотосинтетических пигментов и каротиноидов, а также их соотношения в первую половину вегетации сои, который практически выравнялся до уровня контрольных растений в фазе массового цветения и характеризовался несколько сниженным содержанием хлорофилла *a* (на 15 и 7%), хлорофилла *b* (на 10 и 4%) и каротиноидов (на 11 и 8%). Февер по сравнению со Стандак Топом оказал менее токсичное, а в фазе развития трех настоящих листьев – активирующее действие на фотосинтетический аппарат растений: уровень хлорофилла *a* и каротиноидов достоверно (на 5 и 18% соответственно) превышал контрольные значения. Такие изменения симбиотического и фотосинтетического аппарата сои могут рассматриваться как составляющие адаптации соево-ризобиального симбиоза к действию фунгицидов и

поддержания в таких условиях полноценного развития растений (по формированию вегетативной массы и ростовым показателями установлены положительные изменения в пределах 5–21% и 16–39% при использовании Стандак Топа и Февера соответственно) со стабильной реализацией их продуктивного потенциала (урожай семян на уровне контроля). **Выводы.** Установленные нами физиологические аспекты ответа соево-ризобиального симбиоза на действие антропогенного фактора свидетельствуют о возможности применения фунгицидов Стандак Топ и Февер (1,5 и 0,3 л / тонну семян соответственно) для предпосевного протравливания семян сои в день посева с последующей его бактеризацией ризобиями.

Ключевые слова: Соево-ризобиальный симбиоз; Фунгициды; Нодуляция; Азотфиксация; Хлорофиллы; Каротиноиды; Урожай.

ВВЕДЕНИЕ

Протравливание семян сои – технологический процесс, который обеспечивает его обеззараживание перед посевом с целью угнетения развития фитопатогенов – возбудителей болезней растений (Сергієнко, В. та ін. 2014; Мостов'як, І. та ін. 2019). Протравливание семян обеспечивает, в частности, его активную всхожесть, в том числе, и за счет минимизации заболеваний, обусловленных наличием фитопатогенов на семенах на ранних этапах онтогенеза, а также полноценное развитие растений в последующие фазы вегетации, повышение их стрессоустойчивости и семенной продуктивности (Миколаєвський, В. та ін. 2016). На сегодня существует широкий спектр химических способов защиты растений с бактерицидным и фунгицидным действием, которые широко применяются в производстве сои (Шелудько, О. та ін. 2014). Использование фунгицидов для протравливания семян должно быть согласовано с еще одним технологическим приемом – его бактеризацией, определяющей формированием симбиотических систем и обеспечивающей более полную реализацию продуктивного потенциала растений (Kintschev, M. et al. 2014; Саєнко, Г. и др. 2018). Исходя из этого, актуальным является изучение вопроса совместимости используемых фунгицидов с ризобиальными инокулянтами (Саєнко, Г. и др. 2018) с целью разработки оптимальных технологий при выращивании сои. При этом необходимо учитывать, с одной стороны, реакцию чувствительности бактерий к фунгициду в условиях чистой культуры (Mishra, G. et al. 2013; Якименко, М. и др. 2016; Воробей, Н. та ін. 2020), с другой – при формировании симбиотических систем с растениями (Bikrol, A. et al. 2005; Вознюк, С. та ін. 2015; Омельчук, С. та ін. 2017; Саєнко, Г. и др. 2018, Мостов'як, І. та ін. 2018). Известно о стимулирующем действии препарата Максим на рост ризобий сои штаммов 648а, БМ-85, СМ-42 в условиях *in vitro* (Якименко, М. и др. 2016), тогда как к фунгициду Витавакс клубеньковые бактерии сои оказались достаточно чувствительными (Mishra, G. et al. 2013; Вознюк, С. та ін. 2016). Высокая резистентность ризобий сои показана и относительно фунгицидов Максим XL 035 FS и Аканто Плюс, тогда как Бенорад был токсичным практически для всех исследуемых штаммов. При этом резистентность штаммов была несколько выше к действию 1 нормы Бенорада по сравнению с 2 нормами фунгицида (Воробей, Н. та ін. 2020). В условиях *in situ* на фоне применения фунгицидов Максим Стар 025 FS, Максим XL 035 FS, Ламардор 400 FS, Кинто Дуо процессы формирования и функционирования симбиотических систем сои существенно изменялись (Вознюк, С., та ін. 2015; Омельчук, С. та ін. 2017), что приводило к уменьшению доли биологического азота в урожае семян сои. Так, обработка семян сои фунгицидом Максим Стар 025 FS не оказывала выраженного отрицательного действия на симбиотический аппарат, поскольку отмечена лишь негативная тенденция относительно показателей фактической нитрогеназной активности корневых клубеньков, тогда как Кинто Дуо существенно угнетал (в 1,8 раза) их функциональную активность (Вознюк, С. та ін. 2015). Установлено, что фунгициды Максим XL 035 FS и Ламардор 400 FS в дозах 1 и 2 нормы угнетали процесс нодуляции сои микросимбионтом (штамм 634б) на ранних этапах формирования симбиотических клубеньков, а также их функциональную активность до фазы массового цветения растений. Токсический эффект прямо зависел от дозы применяемого фунгицида. Препарат Максим XL 035 FS был менее токсичен по сравнению с фунгицидом Ламардор как относительно формирования и функционирования симбиоза, так и развития растений сои на протяжении вегетации (Омельчук, С. та ін. 2017).

Фунгициды при разных способах их применения (протравливание семян, опрыскивание рас-

тений по вегетации) оказывают существенное влияние на функционирование фотосинтетического аппарата растений (Petit, A. et al. 2012; Коць, С. та ін. 2018; Мостов'як, І. та ін. 2018; Павлище, А. та ін. 2019). Фотосинтетическая активность растений и их продуктивность в значительной степени обусловлены уровнем фотосинтетических пигментов хлорофиллов и каротиноидов в листьях (Morgun, V. et al. 2019). Пигментный комплекс растений проявляет высокую степень чувствительности к факторам окружающей среды, что позволяет отнести его к тем критериям, по которым можно определять уровень адаптации растений к природным и антропогенным стрессовым факторам. При этом для процесса фотосинтеза более важным является именно соотношение, а не абсолютное содержание в листьях растений фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* к *b*, суммарного хлорофилла к каротиноидам), которое может свидетельствовать о нарушении в функционировании светособирающих комплексов и реакционных центров фотосинтезирующих систем.

Исходя из этого, цель работы состояла в исследовании некоторых физиологических аспектов ответа соево-ризобияльного симбиоза (формирование симбиотического аппарата и его функциональной активности, уровня и соотношения фотосинтетических пигментов хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений, развития и продуктивности сои) на фоне протравливания семян фунгицидами Стандак Топ и Февер в день посева.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были соево-ризобияльные симбиозы, сформированные растениями сои (*Glycine max* L. Merr.) раннеспелого сорта Алмаз с бактериями *Bradyrhizobium japonicum* 6346 на фоне протравливания семян фунгицидами Стандак Топ и Февер в день посева.

Сорт Алмаз получен методом гибридизации сортов Бельцы 3/86-х и Fiskebv-840-5-3, существенно превышал (на 6–8 ц/га) уровень урожайности родительских сортов. С 2007 г внесен в реестр сортов растений Украины, патент № 07105 (собственники – Полтавская государственная аграрная академия, Билявская Л.Г.). Сорт зернового типа применения, раннеспелый (вегетационный период 100-105 дней), содержание белка в семенах – 38–39%, масла – 24–26% [за <http://www.semagro.com.ua/products/almaz-483.html>].

Клубеньковые бактерии *Bradyrhizobium japonicum* 6346 (коллекция штаммов симбиотических и ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов Института физиологии растений и генетики – ИФРГ НАН Украины) выращивали при 28°C на маннитно-дрожжевом агаре (г/л): K_2HPO_4 – 0,5; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,4; NaCl – 0,1; маннит – 10,0; дрожжевой экстракт – 0,5; агар-агар – 16,0; дистиллированная вода – 1 л; рН 6,8–7,0 в течение 10 суток, смывали культуру стерильной водой, перемешивали до однородной суспензии и определяли количество жизнеспособных (колониеобразующих единиц) бактерий классическим микробиологическим методом серийных разведений и посева на питательную среду с последующим подсчетом колоний. Титр бактерий в суспензии составлял 10^8 кл/мл.

Обработку семян фунгицидами Стандак Топ и Февер проводили в день посева, используя рекомендованную производителями дозу (1,5 и 0,3 л/т соответственно). Февер® 300 FS, ТН – фунгицид контактно-системного действия («Bayer Crop Science AG», Германия) с активным веществом протиоконазол (300 г/л) из нового подкласса триазолинтионов. Стандак Топ («BASF», Германия) – инновационный протравитель для контроля основных болезней и вредителей сои с действующими веществами фипронил (250 г/л, класс фенилпиразолы) + тиофанатметил (225 г/л, класс бензимидазолы) + пираклостробин (25 г/л, класс стробилуринов) [<http://www.demetra-agra.com.ua> и <http://www.cropscience.bayer.ua>].

Через час обработанные фунгицидами семена инокулировали в течение часа суспензией *B. japonicum* 6346 и высевали в сосуды (20 шт. / сосуд, 6 сосудов / вариант). До урожая оставляли по 6 растений / сосуд. Контролем был вариант без обработки семян фунгицидами, но с инокуляцией ризобиями.

Особенности формирования и функционирования симбиотических систем сои при инокуляции семян ризобиями на фоне протравливания фунгицидами изучали в вегетационных условиях (10-кг сосуды Вагнера) с почвенной культурой (почва : песок – 3:1), в которую вносили питательную смесь Гельригеля с 0,25 нормы минерального азота. Природное освещение и температура воздуха, полив 60% от полной влагоемкости. Схема опыта:

Инокуляция семян ризобиями (контроль)

Инокуляция семян ризобиями + Стандак Топ

Инокуляция семян ризобиями + Февер

Анализировали:

- формирование симбиоза по нодуляционной способности ризобий сои (активности образования корневых клубеньков, их количества, массы на растении, шкалой нодуляции) (Кириченко, О. 2016);

- функциональную (нитрогеназную) активность соево-ризобиальных симбиозов – ацетиленовым методом по (Hardy, R. et al. 1973) на газовом хроматографе Agilent GC System 6850 (США). Количество этилена, образованного из ацетилена за 1 час инкубации под действием энзима нитрогеназы инкубированного образца выражали в молярных единицах этилена на 1 растение за 1 час. Нитрогеназную активность симбиоза выражали в микромолях C_2H_4 / (растение • ч) – фактическая активность, в микромолях C_2H_4 / (г клубеньков • ч) – удельная активность. Нитрогеназную активность морфо-структурной симбиотической единицы – в наномолях C_2H_4 / (1 клубенек • ч). Определения проводили в 6 биологических повторениях. Также осуществляли в 10-кратной биологической повторности оценку азотфиксирующей активности корней сои с ризосферной почвой на раннем этапе онтогенеза растений (фаза развития примордиального листка), которую выражали в наномолях C_2H_4 / (растение с почвой • ч).

- содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов, хлорофилла *a* и *b*) в листьях сои определяли спектрофотометрически на приборе «Smart Spec Plus» (США) при длине волн 480, 649 та 665 нм соответственно по методу Вельбуерна (Wellburn, A. 1994) и выражали в мг / г сырой массы листьев. Экстракцию растительного материала осуществляли по (Hiscox, J. et al. 1979). Полученные экстракты разводили в диметилсульфоксиде (1:9), что учитывалось при остаточном пересчете уровня пигментов.

Проведена также оценка развития растений за вегетацию: динамика всхожести семян, накопления вегетативной массы, рост, формирование цветков и бобов, а также урожая сои.

Отборы растений осуществляли в фазы развития примордиального листка (15-дневные растения), двух и трех настоящих листьев (25- и 30-дневные растения соответственно), массового цветения (35-дневные растения), активного плодообразования (47-дневные растения) и полной спелости семян (100-дневные растения).

Результаты статистически обработаны (*Statgraphyc Plus*) и представлены в виде средних значений и их ошибок ($M \pm m$), а также критерия значимости ($P \leq 0,05$) (Доспехов, Б. 1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Установлено, что протравливание семян фунгицидами Стандак Топ и Февер в день посева с последующей инокуляцией клубеньковыми бактериями штамм 6346 повышало уровень всхожести семян на 5-8 сутки после посева на 55, 10, 8 и 4% при использовании Стандак Топ и на 20, 2, 5 и 2% – Февер (Табл. 1). Максимальный эффект отмечен на начальном этапе прорастания семян (соответственно 55 и 20% разница с контролем).

Таблица 1. Динамика всхожести сои сорта Алмаз на фоне протравливания и бактеризации семян (20 семян / сосуд)

Вариант	Сутки после посева			
	5-е	6-е	7-е	8-е
	Количество всходов на сосуд, штук			
Ризобии + вода	6,5±0,3	12,6±0,8	15,5±0,3	17,0±1,0
Ризобии + Стандак Топ	10,1±0,5*	13,9±0,8	16,7±0,8	17,7±0,5
Ризобии + Февер	7,8±1,2	12,8±0,8	16,2±0,0*	17,4±0,4

Примечание. Во всех таблицах: * – положительно достоверно ($P \leq 0,05$), ^ – отрицательно достоверно ($P \leq 0,05$) относительно контроля (инокуляция ризобиями без применения фунгицидов).

Установлено, что образование корневых клубеньков на растениях сои начиналось в фазу развития примордиального листка (15-дневные растения). В контрольном варианте (без фунгицидов)

более 50% растений были инфицированы ризобиями. Февер более существенно угнетал процесс нодуляции растений бактериальным штаммом, поскольку количество растений с клубеньками была меньше, чем в контроле на 23% ($8,6 \pm 1,9$ штук / сосуд против $11,1 \pm 4,0$ в контроле). Стандак Топ был менее токсичным, поскольку $10,8 \pm 1,4$ растений / сосуд были инфицированы ризобиями. В фазу развития двух настоящих листьев у сои отмечена активация клубенькообразования (на 22 и 17%) в вариантах с применением фунгицидов (Рис. 1А). При этом масса таких клубеньков (как общая на растение, так и 1 клубенька) была меньше за контрольные значения (Рис. 1В, 1С).

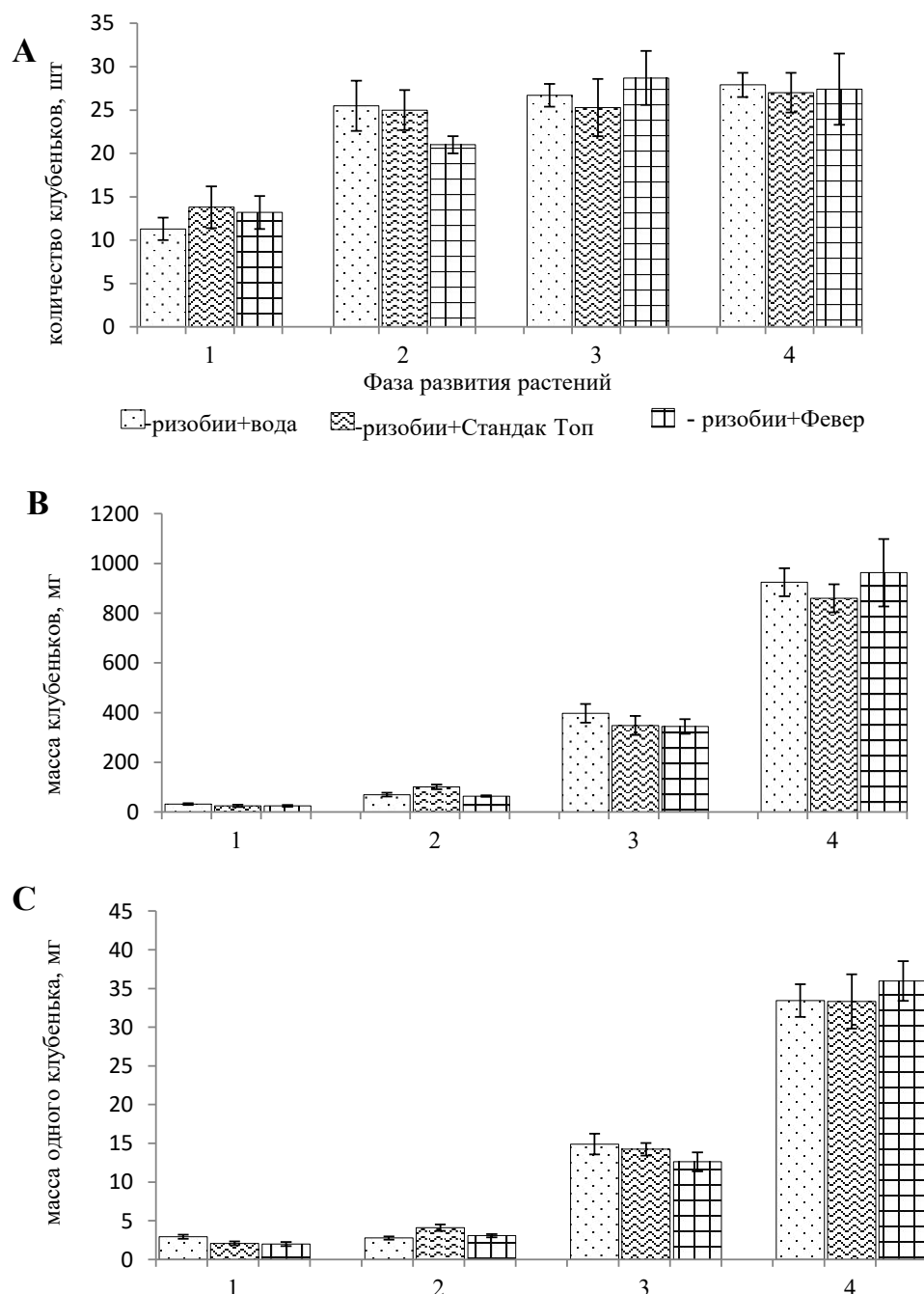


Рисунок 1. Нодуляционная активность ризобий и характеристика корневых клубеньков сои при инокуляции семян клубеньковыми бактериями на фоне применения фунгицидов в день посева: А – количество клубеньков на растении, штук; Б – масса клубеньков на растении, мг; С – масса 1 клубенька, мг. Фаза развития растений: 1 – двух настоящих листьев, 25-дневные растения; 2 – трех настоящих листьев – начала бутонизации, 30-дневные растения; 3 – массового цветения, 35-дневные растения; 4 – активного плодообразования, 47-дневные растения.

Следовательно, на корнях растений под воздействием фунгицидов сформировались мелкие клубеньки, которые по количеству превосходили контроль, но по массе были меньшими.

В фазу развития трех настоящих листьев – начала бутонизации сои только при применении Стандак Топ клубенькообразующая способность ризобий оставалась на уровне контроля при существенном увеличении массы образованных клубеньков (в 1,5 раза). Под влиянием Февера отмечена тенденция к снижению количества и массы клубеньков на растении на 18 и 9% соответственно при незначительном (на 11%) увеличении массы каждого корневого клубенька (Рис. 1). В фазе массового цветения и активного плодообразования сои реализация нодуляционной способности штамма б34б характеризовалась стабильностью на фоне действия фунгицидов.

Установленные нами закономерности в реализации нодуляционной активности клубеньковых бактерий сои на фоне протравливания семян фунгицидами подтверждались и при анализе результатов шкалы нодуляции растений ризобиями, свидетельствующими о степени чувствительности растений к инокуляции ризобияльным штаммом (Табл. 2).

Таблица 2. Шкала нодуляции растений сои ризобиями при использовании фунгицидов в день посева

Вариант	Количество клубеньков на растении, шт. (шкала)									
	0–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30	31–35	36–40	41–45	46–50
% растений с соответствующим количеством клубеньков относительно общего количества растений в варианте										
Фаза развития двух настоящих листьев, 25-дневные растения										
Ризобии + вода	8,3	50,0	16,7	25,0	0	0	0	0	0	0
Ризобии + Стандак Топ	25,0	16,7	8,3	25,0	25,0	0	0	0	0	0
Ризобии + Февер	8,3	25,0	33,3	8,3	16,7	0	0	0	0	0
Фаза развития трех настоящих листьев – начала бутонизации, 30-дневные растения										
Ризобии + вода	0	0	16,7	50,0	0	16,7	16,7	0	0	0
Ризобии + Стандак Топ	0	0	16,7	50,0	16,7	16,7	0	0	0	0
Ризобии + Февер	0	0	50,0	50,0	0	0	0	0	0	0
Фаза массового цветения, 35-дневные растения										
Ризобии + вода	0	0	16,7	0	33,3	33,3	16,7	0	0	0
Ризобии + Стандак Топ	0	0	16,7	0	16,7	50,0	16,7	0	0	0
Ризобии + Февер	0	0	0	33,3	0	33,3	0	33,3	0	0
Фаза активного плодообразования, 47-дневные растения										
Ризобии + вода	0	0	0	42,9	42,9	14,3	0	0	0	0
Ризобии + Стандак Топ	0	0	14,3	28,6	28,6	28,6	0	0	0	0
Ризобии + Февер	0	0	57,1	0	0	0	14,3	28,6	0	0

В фазе развития двух настоящих листьев в вариантах с фунгицидами Стандак Топ и Февер количество растений, образовавших более 20 клубеньков, составила соответственно 25,0 и 16,7 %. В последующие фазы вегетации сои (трех настоящих листьев и массового цветения) количество растений, сформировавших более 25 клубеньков в контрольном варианте и при использовании фунгицида Стандак Топ было аналогичным - 33,4% и 83,4% соответственно. Однако под влиянием Февера – значительно меньше (0 и 66,6% соответственно). В фазе активного плодообразования в контрольном варианте, лишь 14,3% растений сформировали 30 и более клубеньков, тогда как при использовании Стандак Топ и Февер таких растений было вдвое и втрое больше. Полученные нами результаты могут указывать на снижение уровня или полное отсутствие токсического влияния фунгицидов на процесс клубенькообразования и чувствительность растений к ризобиям в фазу вегетации сои максимально отдаленную от начала действия протравителей на семена.

Оценка функциональной активности симбиотического аппарата растений сои на фоне действия фунгицидов свидетельствует о существенном отрицательном влиянии данного антропогенного фактора на способность соево-ризобияльного симбиоза к усвоению молекулярного азота (рис. 2). Существенное угнетение (практически вдвое) нитрогеназной активности (фактической и удельной) корневых клубеньков отмечено в фазу развития двух настоящих листьев у сои. На 55

и 45% соответственно отмечено при использовании Стандак Топ, на 62 и 49% - Февера, а также в фазу массового цветения сои: соответственно на 46 и 41% (Стандак Топ), на 55 и 51% (Февер).

В фазу образования бобов уровень токсического влияния фунгицидов на функционирование симбиотического аппарата сои снизился, поскольку уменьшилась разница по нитрогеназной активности (фактической и удельной) симбиозов опытных вариантов с контролем: соответственно 23 и 17% (Стандак Топ), 35 и 42% (Февер). Необходимо отметить, что в фазу развития трех настоящих листьев – начала бутонизации растения, семена которых обработаны Стандак Топом, сформировали симбиотический аппарат, превосходящий по массе контрольные в 1,5 раза (Рис. 1В) и характеризующийся повышенной в 1,4 раза фактической нитрогеназной активностью (Рис. 2А). При этом увеличивалась также и функциональная активность (в 1,5 раза) каждой симбиотической единицы (Рис. 2С), тогда как удельная нитрогеназная активность симбиоза была на уровне контрольного значения (Рис. 2В).

Установлено, что на функциональную активность ризосферной микробиоты фунгициды не оказывали выраженного отрицательного влияния. Так как в начале вегетации сои (фаза развития примордиального листка, 15-дневные растения) когда симбиотический аппарат на корнях только начинал формироваться, значения нитрогеназной активности в опытных вариантах были на уровне контрольных. Соответственно $1,718 \pm 0,039$ и $1,886 \pm 0,028$ наномоль C_2H_4 / (растение с почвой • ч) по сравнению с $1,847 \pm 0,148$ наномоль C_2H_4 / (растение с почвой • ч) в контроле.

Несмотря на существенное угнетение функциональной активности симбиозов (Рис. 2), сформированных в условиях действия антропогенного фактора фунгицидов, отмечено активное накопление вегетативной массы и рост растений во все исследуемые фазы онтогенеза (Табл. 3).

Таблица 3. Формирование вегетативной массы растениями сои под влиянием фунгицидов и инокуляции семян

Вариант	Сырая масса растения, г		Абсолютно сухая масса растения, г		Высота надземной части, см
	надземная часть	корень	надземная часть	корень	
Фаза развития двух настоящих листьев, 25-дневные растения					
Ризобии + вода	3,81±0,30	0,64±0,06	0,73±0,05	0,09±0,01	–
Ризобии + Стандак Топ	4,18±0,14	0,77±0,04*	0,80±0,04	0,11±0,01	–
Ризобии + Февер	4,42±0,20*	0,75±0,03*	0,81±0,04	0,10±0,01	–
Фаза развития трех настоящих листьев – начала бутонизации, 30-дневные растения					
Ризобии + вода	4,94±0,18	3,12±0,39	1,17±0,11	0,32±0,03	23,3±0,6
Ризобии + Стандак Топ	6,11±0,17*	3,18±0,29	1,33±0,02*	0,34±0,03	28,3±1,7*
Ризобии + Февер	5,72±0,37*	2,27±0,18^	1,08±0,10	0,25±0,01^	32,4±1,6*
Фаза массового цветения, 35-дневные растения					
Ризобии + вода	10,19±0,41	3,55±0,25	2,35±0,13	0,49±0,03	38,8±1,7
Ризобии + Стандак Топ	9,43±0,31	3,92±0,28	2,29±0,10	0,53±0,04	37,0±0,7
Ризобии + Февер	10,14±0,54	3,36±0,30	2,27±0,16	0,47±0,03	42,0±0,7*
Фаза активного плодообразования, 47-дневные растения					
Ризобии + вода	15,45±0,93	4,05±0,44	5,13±0,28	0,73±0,07	55,7±3,6
Ризобии + Стандак Топ	16,14±1,17	4,10±0,30	4,99±0,35	0,81±0,10	55,4±2,5
Ризобии + Февер	18,09±1,42*	4,71±0,50*	6,71±0,49*	1,09±0,19*	67,0±0,6*

В варианте со Стандак Топом положительная разница с контролем составила для высоты и массы надземной части сои 21% и от 5 до 24 % соответственно, для массы корня – от 10 до 20%. В варианте с Февером – по высоте и массе надземной части сои 8-39% и 16-17% соответственно. Максимальный положительный эффект действия на растения установлен для Февера: относительно ростовых процессов – на 10-14%, вегетативной массы – на 6–12% больше по сравнению со Стандак Топом.

На фоне действия фунгицидов в день посева на семена сои отмечены определенные изменения в синтезе фотосинтетических пигментов – хлорофилла и каротиноидов в листьях вегетирующих растений (Табл. 4). В фазу развития трех настоящих листьев достаточно существенно и в равной мере (на 25–26%) проис-

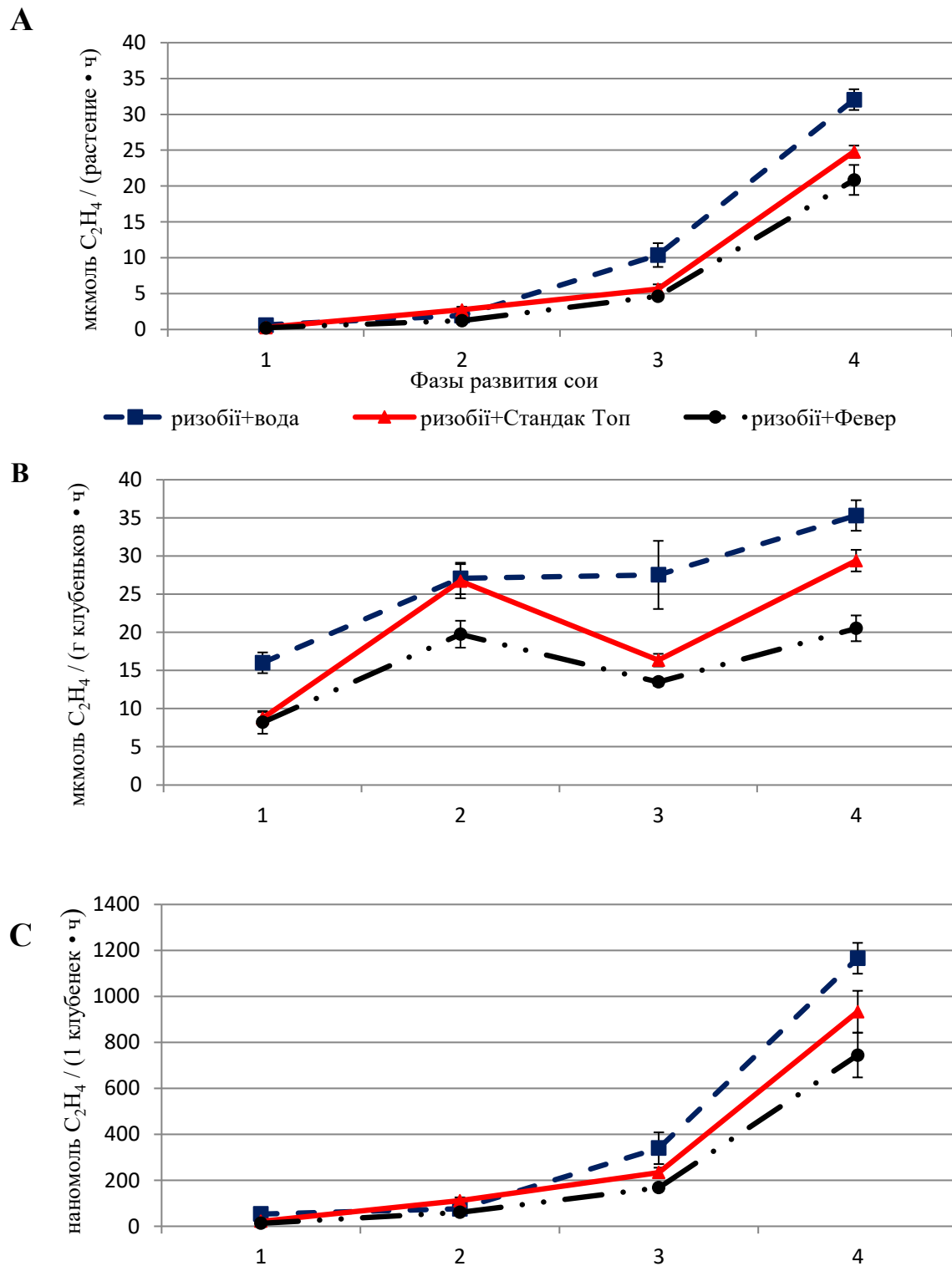


Рисунок 2. Нитрогеназная активность симбиотического аппарата сои при инокуляции семян на фоне действия фунгицидов: А – фактическая активность; В – удельная активность; С – активность 1 клубенек. Фазы развития растений: 1 – двух настоящих листьев, 25-дневные растения; 2 – трех настоящих листьев – начала бутонизации, 30-дневные растения; 3 – массового цветения, 35-дневные растения; 4 – активного плодообразования, 47-дневные растения.

ходило угнетение синтеза хлорофилла *b* по сравнению с контролем (без фунгицида). Тогда как содержание хлорофилла *a*, оставалось на уровне контроля при негативной тенденции (-4%) в случае применения Стандак Топ и достоверно превышало контроль (на 5%) при использовании Февера. Такие изменения приводили к нарушению соотношения хлорофилла *a* к *b* относительно контрольных растений соответственно на 31 и 43% в направлении значительного увеличения уровня хлорофилла *a* к *b*.

Содержание каротиноидов у растений, семена которых обрабатывали фунгицидами, достоверно повышалось (на 18%) при использовании Февера или было на уровне контроля при положительной тенденции (2%) под влиянием Стандак Топ (Табл. 4). В данную фазу онтогенеза установлены существенные отличия в соотношении суммарного содержания хлорофилла к каротиноидам, в направлении увеличения уровня последних. Он увеличился на 12 и 17% соответственно в вариантах со Стандак Топом и Февером по сравнению с контролем (без фунгицидов). В фазу массового цветения сои отмечено достоверное снижение (на 15 и 7%) уровня хлорофилла *a*, при действии фунгицидов Стандак Топ и Февер соответственно, а также хлорофилла *b* (на 10%) при использовании Стандак Топ. При этом не выявлено существенных изменений в их соотношении (*a/b*), что наблюдалось в предыдущую фазу вегетации сои. Содержание каротиноидов достоверно уменьшалось (на 11%) в листьях растений под влиянием Стандак Топ и оставалось на уровне контроля в варианте с Февером. При этом соотношение общего хлорофилла к каротиноидам вышло на уровень контроля (Табл. 4).

В фазу начала цветения сои (32- и 33-дневные растения) установлено более активное формирование генеративных органов у растений, семена которых обрабатывали фунгицидами: на 15–17% и 22% соответственно для Стандак Топ и Февера. Количество растений сформировавших цветки по отношению к общему количеству растений в варианте составило 50 и 80% (Стандак Топ), а также 37 и 83% (Февер).

В фазу полной спелости семян сои (Табл. 5) количество образованных растениями бобов в вариантах с применением фунгицидов положительно отличалось от контроля на 12 и 11% (Стандак Топ и Февер). Установлено также увеличение количества бобов в плодузлах сои данных вариантов соответственно на 16 и 11%. Количество и масса семян на растениях существенно не изменялись: положительная тенденция (соответственно 9 и 7%) отмечена при использовании Февера, отрицательная (соответственно -3 и -5%) – Стандак Топ.

Протравливание семян Февером обеспечило несколько больший (на 6%) урожай семян сои (урожай, г / сосуд), но это увеличение было недостоверным. В варианте со Стандак Топом получен урожай семян сои на уровне контроля.

Таблица 4. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях сои при бактеризации семян ризобиями и протравливании фунгицидами в день посева

Вариант	Хлорофилл, мг/ г сырой массы листьев				Каротиноиды, мг/ г сырой массы листьев	Отношение хлорофилла к каротиноидам
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>	<i>a + b</i>		
Фаза развития трех настоящих листьев – начала бутонизации, 30-дневные растения						
Ризобии + вода	<u>4,11±0,05</u> 100	<u>1,16±0,04</u> 100	<u>3,5</u> 100	<u>5,27±0,04</u> 100	<u>1,02±0,01</u> 100	<u>5,2</u> 100
Ризобии + Стандак Топ	<u>3,94±0,16</u> 96	<u>0,86±0,03</u> [^] 74	<u>4,6</u> 131	<u>4,80±0,09</u> [^] 91	<u>1,04±0,02</u> 102	<u>4,6</u> 88
Ризобии + Февер	<u>4,33±0,03</u> [*] 105	<u>0,87±0,03</u> [^] 75	<u>5,0</u> 143	<u>5,20±0,03</u> 99	<u>1,20±0,16</u> [*] 118	<u>4,3</u> 83
Фаза массового цветения, 35-дневные растения						
Ризобии + вода	<u>4,72±0,05</u> 100	<u>1,74±0,13</u> 100	<u>2,7</u> 100	<u>6,46±0,09</u> 100	<u>1,11±0,06</u> 100	<u>5,8</u> 100
Ризобии + Стандак Топ	<u>4,03±0,02</u> [^] 85	<u>1,56±0,03</u> [^] 90	<u>2,6</u> 96	<u>5,59±0,03</u> [^] 87	<u>0,99±0,01</u> [^] 89	<u>5,6</u> 97
Ризобии + Февер	<u>4,38±0,12</u> [^] 93	<u>1,67±0,08</u> 96	<u>2,6</u> 96	<u>6,05±0,10</u> [^] 94	<u>1,02±0,04</u> 92	<u>5,9</u> 102

Примечание. См. здесь и в табл. 5: В числителе – абсолютные значения, в знаменателе – % к контролю (без фунгицида).

Таблица 5. Структура урожая сои сорта Алмаз на фоне протравливания и инокуляции семян

Вариант	Количество, шт.					Масса, г				K _{хоз.}
	бобов	плодо- узлов	бобов плодо- узла	семян боба	семян	семян	семян сосуд	1000 семян	растения	
	на растение				на растение					
Ризобии + вода	$12,6 \pm 0,9$ 100	$6,8 \pm 0,2$ 100	$1,9 \pm 0,1$ 100	$2,0 \pm 0,0$ 100	$23,9 \pm 1,9$ 100	$4,61 \pm 0,19$ 100	$27,78 \pm 1,25$ 100	$195,73 \pm 7,65$ 100	$8,44 \pm 0,39$ 100	$0,55 \pm 0,00$ 100
Ризобии + Стандак Топ	$14,1 \pm 0,4$ 112	$6,1 \pm 0,2$ 90	$2,2 \pm 0,1$ 116	$1,8 \pm 0,0$ 90	$23,1 \pm 0,1$ 97	$4,40 \pm 0,09$ 95	$26,37 \pm 0,55$ 94	$196,50 \pm 6,53$ 100	$7,93 \pm 0,13$ 94	$0,55 \pm 0,00$ 100
Ризобии + Февер	$14,0 \pm 0,5$ 111	$6,5 \pm 0,1$ 96	$2,1 \pm 0,1$ 111	$1,9 \pm 0,0$ 95	$26,1 \pm 0,9$ 109	$4,91 \pm 0,07$ 107	$29,44 \pm 0,38$ 106	$193,53 \pm 1,99$ 99	$8,60 \pm 0,19$ 102	$0,57 \pm 0,02$ 104

При исследовании вопроса совместимости фунгицидов применяемых с целью обеззараживания семян сои перед посевом и процесса их инокуляции бактериальными препаратами, что является обязательным технологическим приемом при выращивании этой бобовой культуры необходимо учитывать оценку степени чувствительности или резистентности бактерий к фунгициду как в условиях чистой культуры (Mishra, G. et al. 2013; Якименко, М. и др. 2016; Воробей, Н. та ін. 2020), так и при формировании симбиотических систем с растениями (Bikrol, A. et al. 2005; Вознюк, С. та ін. 2015; Омельчук, С. та ін. 2017; Мостов'як, І. та ін. 2018; Саенко, Г. и др. 2018). Показано, что клубеньковые бактерии сои штаммы 6346, 646, 614, 631, 71m, 48, 532С, 191, РС07, РС08, РС09, РС10, РС11, М8, АС15 (аналитическая селекция) в чистой культуре проявляли разную степень устойчивости к 1 или 2 нормам фунгицидов Максим XL 035 FS, Стандак Топ, Февер, Аканто Плюс (Воробей, Н. та ін. 2020). Все штаммы были устойчивыми к рекомендованной производителями 1 норме фунгицидов Аканто Плюс, Стандак Топ, Максим XL. Штаммы 6346, 646, 614, М8, 71m, 631, РС07, РС08, РС09, РС10, РС11, 532С были максимально резистентными и к 1 норме фунгицида Февер. Следовательно, применяемый нами штамм 6346 клубеньковых бактерий сои в условиях чистой культуры был устойчивым к 1 норме исследуемых нами фунгицидов Стандак Топ и Февер. Однако, симбиотическая система сои, образованная с этим микросимбионотом в вегетационных условиях с песчаной культурой (4-кг сосуды) характеризовалась сниженным в 1,2 и 2,2 раза уровнем способности к фиксации молекулярного азота в первую половину вегетации растений (Павлище, А. та ін. 2019). Анализ нодуляционной способности ризобий сои штамм 6346, проведен нами по комплексу показателей (количество и масса клубеньков на растении, масса 1 клубенька, шкала нодуляции) на фоне действия фунгицидов Стандак Топ и Февер в день посева в вегетационных условиях с почвенной культурой (10-кг сосуды Вагнера). Этот анализ свидетельствует о незначительном снижении чувствительности растений к инфицированию ризобиями в начале нодуляции (15-дневные растения) с последующим восстановлением уровня реализации клубенькообразующей способности бактериями на протяжении вегетации сои (Рис. 1, Табл. 2). Отмеченная нами активация процесса образования корневых клубеньков у обработанных фунгицидами растений в фазы двух и трех настоящих листьев (Рис. 1) может быть обусловлена полным отсутствием или меньшим количеством фитопатогенных агентов на семенах, которые могут оказывать антагонистическое действие по отношению к интродуцированным на семена ризобиям. Нами показано, что под влиянием антропогенного фактора (фунгициды в день посева), несмотря на стабильность реализации клубенькообразующей способности ризобий, функциональная активность таких клубеньков была достаточно низкой (Рис. 2), что определяет и более низкий уровень азотного питания данных растений. При выраженном токсическом действии фунгицидов на функционирование симбиотического аппарата сои способность ризосферных диазотрофов к фиксации молекулярного азота в начале вегетации растений существенно не изменялась.

Применяемые нами фунгициды оказали положительное влияние на накопление вегетативной массы и рост растений (Табл. 3), а также ускорили всхожесть семян (Табл. 1). Объяснением данных фактов может быть как снижение количества патогенных агентов на семенах, так и рострегуля-

торный эффект некоторых компонентов данных фунгицидов [за <http://www.demetra-agra.com.ua> та <http://www.cropscience.bayer.ua>], а также возможные изменения в фотосинтетической активности растений (Petit, A. et al. 2012; Коць, С. та ін. 2018; Мостов'як, І. та ін. 2018; Павлище, А. та ін. 2019).

Установленные нами в фазу развития трех настоящих листьев у сои существенные изменения в соотношении суммарного содержания хлорофилла к каротиноидам в направлении увеличения последних могут свидетельствовать об определенных изменениях функционирования фотосинтетической пигментной системы. Известно, что каротиноиды включены в передачу энергии поглощенных квантов другим пигментам, а также эти желтые фотосинтетические пигменты защищают хлорофилл от фотодеструкции (Morgun, V. et al. 2019). При этом установлено и существенное угнетение синтеза хлорофилла b , тогда как содержание хлорофилла a оставалось на уровне контроля или несколько его превышало, что привело к нарушениям в соотношении хлорофилла a к b относительно контрольных растений (Табл. 4). Следовательно, можно предположить, что очевидный дисбаланс соотношения фотосинтетических пигментов может указывать на адаптационные процессы, происходящие в фотосинтетической пигментной системе сои в условиях действия антропогенного фактора. В фазу массового цветения у растений, вероятно, произошла стабилизация в синтезе зеленых фотосинтетических пигментов, поскольку не отмечено существенных нарушений соотношения хлорофилла a к b , что наблюдалось в предыдущую фазу вегетации сои. При этом соотношение содержания общего хлорофилла к каротиноидам также было на уровне контрольных растений (Табл. 4), что может свидетельствовать о стабилизации и сбалансированном функционировании зеленых и желтых фотосинтетических пигментов растений, а также об окончательной адаптации фотосинтетической системы сои в фазы вегетации максимально отдаленные от действия стрессового фактора.

Таким образом, у растений сои, семена которых обрабатывали фунгицидами в день посева с последующей их инокуляцией ризобиями, наблюдался дисбаланс в синтезе зеленых и желтых фотосинтетических пигментов, который в дальнейшем практически выравнивался до контроля. При этом Февер оказывал менее токсичное, а в фазу развития трех настоящих листьев даже активирующее действие на фотосинтетический аппарат сои по сравнению со Стандак Топом. Вероятно, за счет такого дисбаланса в синтезе хлорофиллов a и b , а также повышения уровня каротиноидов в первую половину вегетации сои происходила адаптация фотосинтетического аппарата растений в условиях действия фунгицидов.

Фунгициды Февер (подкласс триазолинтионов) и Стандак Топ (один из действующих компонентов которого тиофаннат-метил принадлежит к классу бензимидазолов) являются азольными фунгицидами. Механизм действия азолов связан с их способностью нарушать биосинтез стерина в организме грибов, в частности, синтез эргостерина через блокировку реакции отщепления метильной группы от ланостерина в 14-м положении (C^{14} -деметилование). Поскольку стерин отвечает за прочность клеточных мембран, азолы не угнетают прорастание спор, но ингибируют дальнейшее удлинение ростовых трубок, дифференциацию клеток и рост мицелия гриба (Попов, С. и др. 2003). Проникая в растение в значительном количестве, эти фунгициды могут нарушать синтез гиббереллинов в растениях как регуляторы роста. Установлено отрицательное влияние азолов (Xia, X. et al. 2006) и бензимидазолов (García, P. et al. 2002) на интенсивность фотосинтеза и движение устьиц. Кроме того, азолы характеризуются ретардантной способностью (Прусакова, Л. и др. 2004), в частности, могут тормозить удлинение междоузлий у зерновых культур (Кур'ята, В. та ін. 2017). Под влиянием препарата тебуконазола на кукурузу увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений (Yang, L. et al. 2016). Применение паклобутразола под озимый рапс привело к уменьшению высоты растений, площади листьев, но при этом увеличивалось содержание хлорофилла и урожай семян за счет усиления разветвления стеблей и увеличения количества колосьев (Kumar, S. et al. 2012). Также известно, что триазолы положительно влияют на уровень гормонов цитокининовой природы в листьях, активируют биосинтез хлорофилла и ускоряют дифференциацию хлоропластов (Попов, С. и др. 2003). Отмеченное нами более активное формирование генеративных органов (цветков и бобов) растениями вариантов с применением фунгицидов может быть обусловлено способностью азолов проявлять рострегуляторное действие.

Таким образом, применение фунгицидов Стандак Топ и Февер для обработки семян сои в

день посева с последующей его инокуляцией ризобияльным штаммом обеспечило полноценное развитие растений на протяжении вегетации и формирование урожая с незначительным положительным эффектом при использовании Февера, что свидетельствует о целесообразности применения данных фунгицидов для предпосевного протравливания семян с целью его обеззараживания. Эффективность применения фунгицидов Стандак Топ и Февер (1,5 и 0,3 л / тонну семян соответственно) в день посева для протравливания семян сои сорта Алмаз с последующей инокуляцией активными и эффективными штаммами клубеньковых бактерий подтверждена также и в полевых условиях Черкасской области (г. Умань, Украина). Стабилизация процессов клубенькообразования на корнях растений и симбиотическая азотфиксация зафиксирована нами в фазу массового цветения сои. Урожай семян данной культуры в вариантах с фунгицидами был на уровне или несколько выше (на 3-6%) контроля (Павлище, А. та ін. 2018).

ВЫВОДЫ

Таким образом, физиологический ответ соево-ризобияльного симбиоза в условиях действия антропогенного фактора (обработка семян фунгицидами Стандак Топ и Февер в день посева) проявлялся в относительной стабильности реализации такой симбиотической характеристики микросимбионта как клубенькообразующая способность при существенном угнетении функциональной активности симбиотического аппарата в первую половину вегетации сои. Также этот ответ проявлялся в дисбалансе синтеза фотосинтетических зеленых и желтых пигментов и их соотношения, что может рассматриваться как составляющая адаптации симбиотической и фотосинтетической систем к действию фунгицидов и поддержания в таких условиях полноценного развития растений со стабильной реализацией их продуктивного потенциала. Установленные нами физиологические аспекты ответа соево-ризобияльного симбиоза на действие антропогенного фактора свидетельствуют о возможности применения фунгицидов Стандак Топ и Февер (1,5 и 0,3 л / т семян соответственно) для предпосевной обработки семян в день посева с последующей их бактериализацией ризобияльным штаммом.

Работа выполнена в рамках научной программы отделения общей биологии НАН Украины на 2017-2021 гг. «Фундаментальные основы прогнозирования и предупреждения негативного влияния изменения климатических условий на биотические системы Украины» по теме «Разработка биотехнологических способов регуляции адаптационной способности соево-ризобияльных симбиозов и их внедрение в производство» (№ государственной регистрации 0117U004111).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВОЗНЮК, С. В., ТИТОВА, Л. В., ЛЯСКА, С. І., ІУТИНСЬКА, Г. О. (2015). Вплив фунгіцидів та комплексного інокулянту Ековітал на ризосферний мікробіоценоз, стійкість до захворювань та продуктивність сої. В: Мікробіологічний журнал, 77(4), С. 8-14. <https://doi.org/10.15407/microbiolj77/04/008>.
2. ВОЗНЮК, С. В., ТИТОВА, Л. В., РАТУШИНЬСЬКА, О. В., ІУТИНСЬКА, Г. О. (2016). Формування та функціонування симбіотичних систем та мікробіоценозу ризосфери сої за використання різних фунгіцидів. В: Мікробіологічний журнал, 78(4), С. 59–70. <https://doi.org/10.15407/microbiolj78.04.059>.
3. ВОРОБЕЙ, Н. А., КУКОЛ, К. П., КОЦЬ, С. Я. (2020). Оцінка токсичності впливу фунгіцидів на бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* у чистій культурі. В: Мікробіологічний журнал, 82(3), С. 40-49. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>.
4. ДОСПЕХОВ, Б. А. (1985). Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. С. 164-168.
5. КИРИЧЕНКО, О. В. (2016). Комплексна оцінка нодуляційної здатності бульбочкових бактерій та особливості формування симбіотичних систем сої за інокуляції насіння мікробними композиціями. В: Мікробіол. журн. 78(4), С. 90-101. <https://doi.org/10.15407/microbiolj78.04.090>.
6. КОЦЬ, С. Я., КІРІЗІЙ, Д. А., ПАВЛИЩЕ, А. В. (2018). Взаємодія процесів асиміляції азоту і вуглецю у рослин сої, оброблених речовинами із фунгіцидною активністю та бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином. В: Доповіді НАН України, №7, С. 88-95. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.07.088>
7. КУР'ЯТА, В. Г., РОГАЧ, В. В., БУЙНА, О. І., КУШНІР, О. В., БУЙНИЙ, О. В. (2017). Вплив гібереллової кислоти та тебуконазолу на формування листкового апарату та функціонування донорно-акцепторної

- системи рослин овочевих пасльонових культур. В: Regulatory Mechanisms in Biosystems, №8(2), С. 162-168. <https://doi.org/10.15421/021726>.
8. МИКОЛАЄВСЬКИЙ, В. П., СЕРГІЄНКО, В. Г., ТИТОВА, Л. В. (2016). Розвиток хвороб та продуктивність сої різних сортів за обробки насіння мікробними препаратами. В: Агробіологія, № 2, С. 96-103. http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2016_2_18.
 9. МОСТОВ'ЯК, І. І., КРАВЧЕНКО, О. В. (2018). Формування фотосинтетичної продуктивності посівів сої за використання різних видів фунгіцидів та інокулянта у Правобережному Лісостепу України. В: Вісник Уманського нац. ун-ту садівництва, № 2, С. 21-24. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnuc_2018_2_6
 10. МОСТОВ'ЯК, І. І., КРАВЧЕНКО, О. В. (2019). Симбіотичний апарат сої на фоні використання різних видів фунгіцидів та мікробного препарату. В: Таврійський науковий вісник, № 108, С. 72-77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>.
 11. ОМЕЛЬЧУК, С. В., ЖЕМОЙДА, А. В., ПАВЛИЩЕ, А. В. (2017). Формування, функціонування та продуктивність соєво-ризобіального симбіозу за дії фунгіцидів ламардор і максим. В: Физиология растений и генетика, 49(1), С. 54-63. <https://doi.org/10.15407/frg2017.01.054>.
 12. ПАВЛИЩЕ, А. В., ЖЕМОЙДА, А. В., КІРІЗІЙ, Д. А., РИБАЧЕНКО, Л. І. (2019). Функціонування симбіотичного і фотосинтетичного апаратів сої за впливу протруйників фунгіцидної дії та екзогенного лектину. В: Физиология растений и генетика, 51(6), С. 517-528. <https://doi.org/10.15407/frg2019.06.517>
 13. ПАВЛИЩЕ, А. В., ЯКИМЧУК, Р. А., ОМЕЛЬЧУК, С. В., ЖЕМОЙДА, А. В., КОЦЬ, С. Я. (2018). Симбіотичні властивості та насіннева продуктивність сої у польових умовах за різних способів обробки насіння фунгіцидами. В: Физиология растений и генетика, 50(4), С. 358-368 <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.358>
 14. ПОПОВ, С. Я., ДОРОЖКИНА, Л. А., КАЛИНИН, В. А. (2003). Основы химической защиты растений. М. : Арт-Лион.
 15. ПРУСАКОВА, Л. Д., ЧИЖОВА, С. И., ПАВЛОВА, В. В. (2004). Оценка ретардантной активности триазолов в α -амилазном биотесте на эндосперме ярового ячменя. В: Физиология растений, 51(4), С. 626–630.
 16. САЕНКО, Г. М., БУШНЕВА, Н. А. (2018). Совместимость фунгицидных протравителей сои с инокулянтами. В: Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур, №3(175), С. 124-127. <https://dx.doi.org/10.25230/2412-608X-2018-3-175-124-127>
 17. СЕРГІЄНКО, В. Г., МИКОЛАЄВСЬКИЙ В. П. (2014). Моніторинг хвороб сої в Лісостепу України. В: Карантин і захист рослин, №10(11), С. 9-11. https://nbuv.gov.ua/UJRN/Kirz_2014_10-11_5
 18. ШЕЛУДЬКО, О., КЛУБУК, В., СТАВРАТІЙ, В., РЕПЛІВСЬКИЙ, Е., МАРКОВСЬКА, О., САЛГАЛОВ, О. (2014). Застосування фунгіцидів на по сівах зрошуваної сої. В: Пропозиція, №1, С. 90-92.
 19. ЯКИМЕНКО, М. В., БЕГУН, С. А., СОРОКИНА, А. И. (2016). Совместимость коллекционных штаммов ризобий сои с фунгицидами и ростстимулирующими препаратами. В: Дальневосточный аграрный вестник, №2, С. 38–41.
 20. ВІКРОЛ, А., SAXENA, N., SINGH, K. (2005). Response of *Glycine max* in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. In: African J. Bacteriol, № 4(7), pp. 667-671. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3122>
 21. GARCIA, P. C., RUIZ, J. M., RIVERO, R. M., LUIS, R., PEZ-LEFEBRE, L., SANCHEZ, E., ROMERO, L. (2002). Is the application of carbendazim harmful to healthy plants? Evidence of weak phytotoxicity in tobacco. In: J. Agric. Food Chem., № 50(2), pp. 279–283. <https://doi.org/10.1021/jf010748g>
 22. HARDY, R., BURNS, R., HOLSTEN, R. (1973). Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. In: Soil. Biol. Biochem., № 5(1), pp. 41–83. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(73\)90093-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(73)90093-X)
 23. HISCOX, J., ISRAELSTAM, R. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. In: Canadian Journal of Botany, № 57(12), pp. 1332–1334. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
 24. KINTSCHEV, M. R., GOULART, A. C. P., MERCANTE, F. M. (2014). Compatibility between rhizobium inoculation and fungicide application in seeds of common beans. In: Summa phytopathol, № 40(4), pp. 338-346. <https://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/1906>
 25. KUMAR, S., GHATY, S., SATYANARAYANA, J., GUHA, A. (2012). Paclotrazol treatment as a potential strategy for higher seed and oil yield in field-grown *Camelina sativa* L. In: Crantz. BSK Research Notes, №13(5), pp. 137–145. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-137>
 26. MISHRA, G., KUMAR, N., GIRI, K., PANDEY, S., (2013). In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting *Rhizobacteria*. In: Africal journal of Agricultural Research, vol. 8(45), pp. 5630–5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>.
 27. MORGUN, V. V., PRIADKINA, G. A., STASIK, O. O., ZBORIVSKA, O. V. (2019). Relationships between

- canopy assimilation surface capacity traits and grain productivity of winter wheat genotypes under drought stress. In: Agricultural Science and Practice, № 6(2), pp.18-28 <https://doi.org/10.15407/agrisp6.02.018>.
28. PETIT, A.-N., FONTAINE, F., VATSA, P., CLEMENT, C., VAILLANT-GAVEAU, N. (2012). Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. In: Photosynthesis Research, №111, pp. 315-326. <https://doi.org/10.1007/s11120-012-9719-8>.
29. WELLBURN, A (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. In: Journal of Plant Physiology, № 144(3), pp. 307-313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2).
30. XIA, X., HUANG, Y., WANG, L., HUANG, L., YU, Y., ZHOU, Y., YU, J. (2006). Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. In: Pesticide Biochemistry and Physiology, №86, pp. 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.01.005>.
31. YANG, L., YANG, D., YAN, X., CUI, L., WANG, Z., YUAN, H. (2016). The role of gibberellins in improving the resistance of tebuconazole-coated maize seeds to chilling stress by microencapsulation. In: Scientific Reports, № 6(35447), pp. 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep35447>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КИРИЧЕНКО Елена Васильевна  <https://orcid.org/0000-0002-2166-3530>

доктор биологических наук, старший научный сотрудник отдела симбиотической азотфиксации Института физиологии растений и генетики НАН Украины

E-mail: azoleki@ukr.net

ПАВЛИЩЕ Анастасия Васильевна  <https://orcid.org/0000-0001-7613-3131>

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник отдела симбиотической азотфиксации Института физиологии растений и генетики НАН Украины

E-mail: zapadenka2015@gmail.com

ОМЕЛЬЧУК Светлана Васильевна

младший научный сотрудник отдела симбиотической азотфиксации Института физиологии растений и генетики НАН Украины

E-mail: svitlana.omelchuk12@gmail.com

ЖЕМОЙДА Алла Владимировна

инженер I категории отдела симбиотической азотфиксации Института физиологии растений и генетики НАН Украины

КОЦЬ Сергей Ярославович  <https://orcid.org/0000-0002-3477-793X>

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины
заведующий отделом симбиотической азотфиксации Института физиологии растений и генетики НАН Украины

E-mail: azot@ifrg.kiev.ua

Data prezentării articolului: 26.11.2020

Data acceptării articolului: 10.12.2020