

ВЛИЯНИЕ КОРНЕВИНА И РИЗОТОРФИНА НА ГОРМОНАЛЬНЫЙ СТАТУС И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИМБИОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ ФАСОЛИ

О.Г. ВОЛОБУЕВА, кандидат биологических наук

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МОСКОВСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА

В условиях полевого опыта с растениями фасоли сортов Гелиада и Шоколадница изучено влияние обработки семян этих растений препаратами Корневин и Ризоторфин на содержание и соотношение фитогормонов в листьях, стеблях и корнях с клубеньками в фазу бутонизации-начала цветения (период наиболее активной азотфиксирующей активности у фасоли), на эффективность симбиоза. Установлена взаимосвязь между содержанием и соотношением фитогормонов и показателями ультраструктуры клубеньков и азотфиксирующей активности бобовых растений. Выявлено, что наиболее отзывчивым на действие Корневина оказался сорт Гелиада. Обработка семян растений этого сорта приводила к увеличению площади бактериоидов и снижению площади и числа включений поли-β-оксимасляной кислоты (ПОМ), на фоне увеличения ауксинов в листьях и стеблях, цитокининов в листьях и корнях с клубеньками, гиббереллинов в стеблях и корнях с клубеньками и снижения абсцизовой кислоты (АБК) в стеблях и корнях с клубеньками. Наиболее отзывчивым на действие Ризоторфина оказался сорт Шоколадница. Обработка семян этого сорта Ризоторфином приводила к повышению азотфиксирующей активности в клубеньках на фоне увеличения площади и количества бактериоидов, включений волютина, при минимальном количестве включений ПОМ, на фоне увеличения цитокининов во всех вегетативных органах растений.

Ключевые слова: фасоль, ризобии, биопрепарат Ризоторфин, регулятор роста Корневин, фитогормоны, азотфиксация, симбиоз.

INFLUENCE OF KORNEVIN AND RHIZOTORFIN ON THE HORMONAL STATUS AND EFFECTIVENESS OF THE BEAN SYMBIOTIC SYSTEM

O.G. Volobueva

THE RUSSIAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY - RSAU – K.A. TIMIRYAZEV MAA

Abstract: *In condition of field experiment with a bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Heliada and Shokoladnitsa was studied the effect of seed treatment with the biopreparation based on root nodule bacteria Rhizotorfin and growth regulator Kornevin on the content and ratio of phytohormones in leaves, stems and roots with nodules during the budding-beginning of flowering phase (the period of the most active nitrogen-fixing activity in beans) and the symbiosis efficiency. Interrelation between indicators and indicators of ultrastructure of tubers and nitrogen-fixing activity of leguminous plants are established. It was established that the most responsive to the treatment of Kornevin was the Heliada variety. The treatment of Heliada seeds led to an increase in the area of bacteroids and a decrease in the area and number of inclusions of poly-β-hydroxybutyric acid (PHB), against the background of an increase in auxins in leaves and stems, cytokinins in leaves and roots with nodules, gibberellins in stems and roots with nodules and lower ABA in stems and roots with nodules. The most responsive to the treatment of Rizotorfin was the variety Shokoladnitsa. The treatment of Shokoladnitsa seeds with Rhizotorfin led to an increase in nitrogen-fixing activity in nodules against the background of an increase in the area and number of*

bacteroids, volutin inclusions, with a minimum number of PHB inclusions, against the background of an increase in cytokinins in all vegetative organs of plants.

Keywords: beans, biopreparation Rhizotorfin, growth regulator Kornevin, phytohormones, nitrogen-fixing activity, symbiosis.

В последние годы происходит поворот в сторону более глубокого изучения роли фитогормонов в сложных динамических системах «микроорганизм-симбионт – растение-хозяин» и выяснение природы и характера взаимодействия микро- и макроорганизма [1, 2]. Формирование бобово-ризобияльного симбиоза обусловлено специфическими механизмами сигнальных взаимодействий и взаимной метаболической интеграции геномов ризобий и бобового растения [3, 4]. Использование биопрепаратов и регуляторов роста может быть высокоэффективным только на основе изучения уровня естественных гормонов в растительном организме [5]. При воздействии на растения экзогенными препаратами в них изменяется содержание и соотношение эндогенных гормонов [6, 7]. В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал, в котором анализируется содержание фитогормонов в растениях [8, 9, 10]. Однако гормональный статус бобового растения при симбиозе с клубеньковыми бактериями изучен недостаточно. В связи с чем, при симбиотических отношениях макро- и микросимбионта изучали влияние биопрепарата Ризоторфина и регулятора роста Корневина на содержание и соотношение эндогенных фитогормонов в листьях, стеблях и корнях с клубеньками растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница в фазу бутонизации-начала цветения (период наиболее активной азотфиксирующей активности у фасоли) и эффективность симбиотической системы.

Цель работы – изучение влияния предпосевной обработки семян фасоли сортов Гелиада и Шоколадница препаратами Корневин и Ризоторфин на содержание, соотношение фитогормонов в листьях, стеблях и корнях с клубеньками и эффективность симбиотической системы.

Материалы и методика исследований

Исследования проведены (2008-2009 гг.) в условиях полевого опыта ФГБНУ ФНЦ зернобобовых и крупяных культур (Орловская область). Условия проведения опыта изложены ранее [11]. Объектами исследования были растения фасоли сортов Гелиада и Шоколадница. Семена растений замачивали в течение 3 ч в растворе Корневина в концентрации 10^{-6} М, затем подсушивали, перед посевом обрабатывали Ризоторфином. Варианты опыта: 1 – контроль, без обработки; 2 – обработка семян Ризоторфином; 3 – обработка семян Корневином на фоне инокуляции Ризоторфином. Повторность 4-кратная, расположение вариантов рендомизированное, площадь делянки 4-4,4 м². Ризоторфин (*Rhizobium leguminosarum* *bv.phaseoli*, штамм 700) получен во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (г. Санкт-Петербург, Пушкин). Регулятор роста Корневин – синтетический аналог ауксинов. Действующее вещество 4 (индолил-3) масляная кислота (ИМК) – в растении постепенно превращается в фитогормон гетероауксин. Содержание фитогормонов (индолилуксусная кислота (ИУК), цитокининов (ЦК) – по зеатину, абсцизовой кислоты (АБК) в листьях, стеблях и корнях с клубеньками определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) по методике, разработанной в лаборатории регуляторов роста и развития сельскохозяйственных растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (И.В. Скоробогатова и др., 1999). Биологическую активность ГК (гибберелловая кислота) определяли по росту гипокотилей салата сорта Берлинский, содержание – по калибровочной кривой, для построения которой использовали гибберелловую кислоту (Россия). Условия хроматографирования для определения фитогормонов были изложены ранее [12]. Содержание фитогормонов определяли в фазу бутонизации-начала цветения – период высокой азотфиксирующей активности у фасоли в Центре молекулярной биотехнологии РГАУ МСХ имени К.А. Тимирязева в 2012 году. Одновременно в эту фазу определяли: массу корней с клубеньками, массу и количество клубеньков и в них активность нитрогеназы по методике В.П. Орлова с соавторами(1984). Для электронно-микроскопических исследований

фиксацию клубеньков в глютаральдегиде проводили по методу Sabatini. Исследования проводили в Институте физиологии растений РАН в 2013 году. Срезы получали на ультрамикротоме «LKB-3» (LKB, Швеция), контрастировали 1%-ным цитратом свинца. Их просматривали под электронным микроскопом «TEMSCAN 100CX2» (JEOL, Япония). Морфометрические исследования электронно-микроскопических фотографий проводили на приборе «MOP-VIDEOPLAN» фирмы Reichert (Австрия), статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Statistica for Microsoft Windows.

Результаты исследований и их обсуждение

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что регулятор роста Корневин повышал содержание ауксинов в листьях (в 2,2 раза) и стеблях растений фасоли сорта Гелиада и снижал в корнях с клубеньками (в 2,5 раза). При анализе ответной реакции на экзогенную обработку регуляторами роста и биопрепаратами необходимо учитывать, что согласно закону действующих масс, внесение конечного продукта реакции тормозит его образование. Возможно, с этим связано уменьшение эндогенной ИУК в корнях с клубеньками при экзогенной обработке Корневином. У растений фасоли сорта Шоколадница содержание ИУК в листьях и корнях с клубеньками при обработке Корневином было на уровне с контролем. Содержание зеатина под влиянием Корневина на фоне инокуляции Ризоторфином повышалось в листьях (в 4,5 раза) и в корнях с клубеньками (в 7,5 раза) растений фасоли сорта Гелиада. Корневин на фоне инокуляции Ризоторфином повышал содержание гиббереллинов в стеблях (в 1,1 раз) растений фасоли сорта Гелиада и в стеблях и корнях с клубеньками растений фасоли сорта Шоколадница (в 6,3 и 6,1 раз соответственно). Под влиянием Корневина на фоне инокуляции Ризоторфином, содержание АБК повышалось в листьях (в 2,1 раз) и снижалось в стеблях и корнях с клубеньками растений фасоли сорта Гелиада. У растений фасоли сорта Шоколадница Корневин повысил содержание АБК в листьях (в 1,3 раза), не изменив в стеблях, но снизил в корнях с клубеньками (в 2,9 раза).

Таблица 1

Содержание фитогормонов (нг/на 1 г сырой массы) в растениях фасоли. 2012 г.

Вариант	Органы растения	Фитогормоны			
		ИУК	Зеатин	ГК	АБК
Сорт Гелиада, Контроль	листья	5,3±0,04	271,5±0,3	6,9±0,02	10,3±0,01
	стебли	2,7±0,1	449,5±0,5	13,2±0,04	4,2±0,01
	корни	13,3±0,2	217±0,4	22,1±0,03	20,6±0,02
Сорт Гелиада+ Ризоторфин	листья	5,6±0,03	268,2±0,3	7,0±0,05	11,2±0,03
	стебли	2,9±0,04	448,4±0,4	14,0±0,01	5,8±0,01
	корни	14,2±0,1	219±0,2	24,5±0,03	22,4±0,05
Сорт Гелиада+ Корневин	листья	11,7±0,2	223,2±0,5	2,1±0,01	22±0,04
	стебли	5,3±0,05	387,5±0,3	15,1±0,02	3,2±0,01
	корни	5,3±0,04	108,5±0,4	2,5±0,01	8,6±0,03
Сорт Шоколадница, Контроль	листья	5,7±0,03	116,3±0,2	4,7±0,01	10,3±0,05
	стебли	2,5±0,06	275±0,5	5,5±0,03	6,9±0,01
	корни	13,2±0,2	31±0,05	4,7±0,01	10,3±0,04
Сорт Шоколадница+ Ризотофин	листья	5,6±0,005	118,4±0,2	5,1±0,02	11,2±0,05
	стебли	2,6±0,003	278±0,5	6,8±0,03	7,2±0,02
	корни	14,4±0,2	42±0,3	5,3±0,02	12,3±0,05
Сорт Шоколадница+ Корневин	листья	5,3±0,06	527±0,4	2,8±0,01	13,8±0,05
	стебли	3,8±0,04	274±0,2	30,4±0,03	6,9±0,03
	корни	13,2±0,3	232,5±0,5	28,8±0,02	6,9±0,02

Об эффективности симбиотической системы растений фасоли судили по показателям массы и количеству клубеньков, активности в них фермента нитрогеназы, ультраструктуры клубеньков. Анализ ультраструктуры клубеньков растений фасоли сортов Гелиада и

Шоколадница показал, что самая большая площадь бактериоидов была у растений сорта Гелиада при обработке Корневином на фоне инокуляции Ризоторфином (табл. 2). Однако, количество бактериоидов у растений этого сорта выше в варианте с обработкой Ризоторфином. У растений фасоли сорта Шоколадница наибольшая площадь и количество бактериоидов отмечено в варианте с обработкой только биопрепаратом Ризоторфин. Анализируя ультраструктуру клубеньков, в ней было отмечено наличие таких структур, как включения волютина и гранулы поли-β-оксимасляной кислоты (ПОМ). Гранулы волютина при исследовании в электронном микроскопе выглядят как электроннопрозрачные, четко контурированные образования сферической или эллипсоидной формы, размером 300-700 Å, располагающиеся терминально на одном или обоих полюсах клетки, могут находиться в зонах аккумуляции полисахаридов, и, если центрально или субтерминально – соответствовать ядерному расположению в предделении или делении клеток. Волютин рассматривается как запасное вещество, подобное крахмалу, гликогену, жиру, как резерв неорганических фосфатов. Основную часть волютиновых гранул составляют полифосфаты. Волютин служит запасным резервуаром фосфата, важного предшественника в синтезе АТФ и ДНК. ПОМ – запасное вещество, эндогенный накопитель энергии и углерода для прокариот. Обычно наличие этого эндогенного резерва определяет большую пластичность метаболизма ризобий в чистых культурах. Содержание ПОМ обычно в бактериоидах незначительно именно тогда, когда клетки наиболее активно дышат и фиксируют азот, а значит потребность их в энергии и восстановленных эквивалентах особенно велика у аэробных бактерий, к которым относятся клубеньковые бактерии. В наших исследованиях у растений фасоли обоих сортов наибольшая площадь включений ПОМ и их количество отмечено в контроле. Наличие большого количества ПОМ свидетельствует о не высокой азотфиксации.

Таблица 2

Изменение ультраструктуры клубеньков растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница. 2013 г.

Вариант\Структура	Бактериоиды	ПОМ	Волютин
Гелиада, контроль	0,072±0,002	0,056±0,001	0,012±0,0003
	10,3±1,34	3,44±0,15	5,46±0,34
Гелиада+Ризоторфин	0,091±0,003	0,033±0,002	0,014±0,0002
	23,56±2,28	1,62±0,08	9,51±0,37
Гелиада+Корневин	0,58±0,027	0,021±0,001	0,012±0,0003
	11,4±1,49	2,48±0,14	7,40±0,49
Шоколадница, контроль	0,32±0,026	0,067±0,002	0,012±0,0006
	12,8±1,94	2,3±0,07	4,05±0,27
Шоколадница+Ризоторфин	0,56±0,028	0,023±0,001	0,33±0,0007
	24,70±1,93	1,09±0,06	9,08±0,37
Шоколадница+Корневин	0,46±0,021	0,057±0,002	0,016±0,0005
	15,85±1,97	1,72±0,12	6,10±0,22

Примечание: верхняя строка – площадь, мкм², нижняя строка – количество, шт

Анализ эффективности симбиотической системы растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница показал, что наивысшие показатели массы и количества клубеньков и активности в них нитрогеназы отмечены у растений сорта Гелиада при обработке Корневином на фоне инокуляции Ризоторфином (табл. 3). У сорта Шоколадница проявилось протекторное действие Ризоторфина. Наивысшие показатели массы клубеньков, нитрогеназной активности отмечены при обработке семян только Ризоторфином. При обработке им повышалась азотфиксирующая активность в клубеньках на фоне увеличения площади и количества бактериоидов, включений волютина, минимального количества включений ПОМ, а также увеличения зеатина во всех вегетативных органах растений.

Таблица 3

Влияние Корневина и Ризоторфина на азотфиксирующую активность растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница

Вариант	Сорт	Число клубеньков на растение, шт.	Масса клубеньков на растение, мг	Активность нитрогеназы мкг/N ₂ раст.час
Контроль	Гелиада	6 ± 0,1	132 ± 0,4	3,56 ± 0,3
	Шоколадница	21 ± 0,4	126 ± 0,2	4,21 ± 0,4
Ризоторфин	Гелиада	18 ± 0,1	186 ± 0,7	5,62 ± 0,7
	Шоколадница	26 ± 0,9	148 ± 0,1	19 ± 0,2
Корневин	Гелиада	24 ± 0,7	204 ± 0,3	7,04 ± 0,2
	Шоколадница	24 ± 0,9	168 ± 1,0	17,18 ± 0,2

Таким образом, в результате исследований установлена взаимосвязь между содержанием и соотношением фитогормонов, показателями ультраструктуры клубеньков и азотфиксирующей активности растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница.

Выводы

1. Выявлена специфика действия регулятора роста Корневина и биопрепарата Ризоторфина на содержание гормонов в органах растений фасоли сортов Гелиада и Шоколадница. У сорта Гелиада обработка Корневином повышала в листьях содержание ауксинов, цитокининов, но снижала содержание гиббереллинов, в корнях с клубеньками – увеличивала содержание цитокининов. У сорта Шоколадница Корневин повышал содержание гиббереллинов в стеблях и снижал содержание АБК и цитокининов в корнях с клубеньками. Установлена взаимосвязь между содержанием и соотношением фитогормонов и показателями ультраструктуры клубеньков и азотфиксирующей активности бобовых растений.

2. Выявлены особенности действия Корневина и Ризоторфина на ультраструктуру клубеньков растений фасоли. У фасоли сорта Гелиада Корневин повышал площадь бактериоидов и снижал площадь включений ПОМ, у сорта Шоколадница – снижал площадь и количество бактериоидов, включений волютина, повышал площадь и количество включений ПОМ.

3. Наивысшие показатели массы и количества клубеньков и активности в них нитрогеназы отмечены у растений сорта Гелиада при обработке Корневином на фоне инокуляции Ризоторфином. У сорта Шоколадница проявилось протекторное действие Ризоторфина. Наивысшие показатели массы клубеньков, нитрогеназной активности отмечены при обработке семян только Ризоторфином. При обработке им повышалась азотфиксирующая активность в клубеньках на фоне увеличения площади и количества бактериоидов, включений волютина, при минимальном количестве включений ПОМ, а также на фоне увеличения зеатина во всех вегетативных органах растений.

4. Показано, что содержание в клетках ризобий включений волютина и гранул ПОМ может быть дополнительной характеристикой активности симбиотической системы. Это свойство может использоваться в практике растениеводства и селекционной работе при создании сортов бобовых растений по признаку азотфиксирующей активности.

5. Проявились сортовые особенности растений фасоли на действие Корневина и Ризоторфина. Наибольшей отзывчивостью на действие Корневина отмечен сорт фасоли Гелиада, а на действие Ризоторфина – Шоколадница.

Литература

1. Цыганова А.В., Цыганов В.Е. Негативная гормональная регуляция развития симбиотических клубеньков. Сообщение 1. Этилен (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т.50, – № 3. – С. 267-277.
 2. Гурьев Г.П., Васильчиков А.Г. Влияние препаратов клубеньковых бактерий и комплексного микробного удобрения (КМУ) на симбиотическую азотфиксацию и урожайность гороха //Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – №1. – С.23-27.

3. Проворов Н.А., Андронов Е.Е. Эволюция клубеньковых бактерий: реконструкция процессов видообразования, обусловленная перестройками генома в системе симбиоза // Микробиология. – 2016. – Т. 85. – № 3. – С. 115-125.
4. Онищук О.П., Воробьев Н.И., Проворов Н.А. Нодуляционная способность клубеньковых бактерий: генетический контроль и адаптивное значение: (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. – 2017. – Т. 53. – № 2. – С. 127-135.
5. Архипова Т.Н., Высоцкая Л.Б., Мартыненко Е.В., Иванов И.И., Кудоярова Г.Р. Участие цитокининов в реакции растений на присутствие конкурентов // Физиология растений. – 2015. – Т. 62. – № 4. – С. 560-570.
6. Гарипова С.Р., Маркова О.В., Самигуллин С.Н. Продуктивность и клубенькообразующая способность у сортов фасоли обыкновенной в условиях Предуралья // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 1. – С. 55-62.
7. Долгих Е.А., Кириенко А.Н., Лепянен И.В., Долгих А.В. Роль фитогормонов в контроле развития симбиотических клубеньков у бобовых растений // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – № 5. – С. 585-592.
8. Коробова А.В., Высоцкая Л.Б., Васинская А.Н., Кулуев Б.Р., Веселов С.Ю., Кудоярова Г.Р. Связь накопления биомассы корней с содержанием и метаболизмом цитокининов у нечувствительных к этилену растений // Физиология растений. – 2016. – Т.63, №5. – С.636-643.
9. Котов А.А., Котова Л.М. Роль акропетального водного транспорта в регуляции уровня цитокининов в стеблях проростков гороха // Физиология растений. – 2015. – Т.62, – № 3. – С. 420-431.
10. Лукаткин А.С., Семенова А.А., Лукаткин А.А. Влияние регуляторов роста на проявление токсического действия гербицидов на растения // Агробиохимия. – 2016. – № 1. – С. 73-95.
11. Волобуева О.Г., Мирошникова М.П., Наумкина Т.С. Влияние биопрепаратов и регуляторов роста на эффективность бобово-ризобияльного симбиоза фасоли // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 3. – С. 56-62.
12. Волобуева О.Г. Эффективность инокуляции семян фасоли при обработке препаратом Эпин-экстра // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 4. – С. 42-47.

References

1. Tsyganova A.V., Tsyganov V.E. Negativnaya gormonal'naya regulyatsiya razvitiya simbioticheskikh kluben'kov. Soobshchenie 1. Etilen (obzor). [Negative hormonal regulation of the development of symbiotic nodules. Report 1. Ethylene (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2015, vol.50, no.3, pp. 267-277. (In Russian)
2. Gur'ev G.P., Vasil'chikov A.G. Vliyanie preparatov kluben'kovykh bakterii i kompleksnogo mikrobnogo udobreniya (KMU) na simbioticheskuyu azotfiksatsiyu i urozhainost' gorokha [The effect of nodule bacteria and complex microbial fertilizer (CMF) preparations on symbiotic nitrogen fixation and pea yield]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury – Legumes and Groat Crops*, 2017, no.1, pp. 23-27. (In Russian)
3. Provorov N.A., Andronov E.E. Evolyutsiya kluben'kovykh bakterii: rekonstruktsiya protsessov vidoobrazovaniya, obuslovlennaya perestroikami genoma v sisteme simbioza [The evolution of nodule bacteria: reconstruction of speciation processes due to genome rearrangements in the symbiosis system]. *Mikrobiologiya*, 2016, vol. 85, no.3, pp.115-125. (In Russian)
4. Onishchuk O.P., Vorob'ev N.I., Provorov N.A. Nodulyatsionnaya sposobnost' kluben'kovykh bakterii: genicheskii kontrol' i adaptivnoe znachenie: (obzor) [Nodulation ability of nodule bacteria: genetic control and adaptive value: (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2017, vol .53, no.2, pp. 127-135. (In Russian)
5. Arkhipova T.N., Vysotskaya L.B., Martynenko E.V., Ivanov I.I., Kudoyarova G.R. Uchastie tsitokininov v reaksii rastenii na prisutstvie konkurentov [The participation of cytokinins in the response of plants to the presence of competitors]. *Fiziologiya rastenii*, 2015, vol .62, no.4, pp. 560-570. (In Russian)
6. Garipova S.R., Markova O.V., Samigullin S.N. Produktivnost' i kluben'koobrazuyushchaya sposobnost' u sortov fasoli obyknovЕННОЙ v usloviyakh Predural'ya [Productivity and nodule-forming ability in common bean varieties in the Urals]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, vol. 50. - no. 1, pp. 55-62. (In Russian)
7. Dolgikh E.A., Kirienko A.N., Lepyanen I.V., Dolgikh A.V. Rol' fitogormonov v kontrole razvitiya simbioticheskikh kluben'kov u bobovykh rastenii [The role of phytohormones in controlling the development of symbiotic nodules in legumes]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2016, no.5, pp. 585-592. (In Russian)
8. Korobova A.V., Vysotskaya L.B., Vasinskaya A.N., Kuluev B.R., Veselov S.Yu., Kudoyarova G.R. Svyaz' nakopleniya biomassy kornei s sodержaniem i metabolizmom tsitokininov u nechuvstvitel'nykh k etilenu rastenii [The relationship of the accumulation of root biomass with the content and metabolism of cytokinins and ethylene-insensitive plants]. *Fiziologiya rastenii*, 2016, vol. 63, no. 5, pp.636-643. (In Russian)
9. Kotov A.A., Kotova L.M. Rol' akropetal'nogo vodnogo transporta v regulyatsii urovnya tsitokininov v steblyakh prorstkov gorokha [The role of acropetal water transport in the regulation of the level of cytokinins in the stems of pea seedlings]. *Fiziologiya rastenii*, 2015, vol.62, no.3, pp.420-431. (In Russian)
10. Lukatkin A.S., Semenova A.A., Lukatkin A.A. Vliyanie regulyatorov rosta na proyavlenie toksicheskogo deistviya gerbitsidov na rasteniya [The influence of growth regulators on the manifestation of toxic effects of herbicides on plants]. *Agrokhimiya*, 2016, no.1, pp.73-95. (In Russian)
11. Volobueva O.G., Miroshnikova M.P., Naumkina T.S. Vliyanie biopreparatov i regulyatorov rosta na effektivnost' bobovo-rizobial'nogo simbioza fasoli [The influence of biological products and growth regulators on the effectiveness of bean-rhizobial symbiosis of beans]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury – Legumes and Groat Crops*, 2016, no.3, pp. 56 -62. (In Russian)
12. Volobueva O.G. Effektivnost' inokulyatsii semyan fasoli pri obrabotke preparatom Epin-ekstra [The effectiveness of inoculation of bean seeds during treatment with Epin-extra]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury – Legumes and Groat Crops*, 2015, no.4, pp. 42-47. (In Russian)