

ВЛИЯНИЕ СЛИЗЕОБРАЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ Р. *BACILLUS* НА АКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА БОБОВ КОРМОВЫХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ГЛИФОСАТА В ПОЧВЕ

Н. А. Михайловская¹, С. А. Касьянчик², Т. Б. Барашенко¹,
Т. В. Погирницкая¹, С. В. Дюсова¹

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Среди объектов хранения исследовательской коллекции ризосферных бактерий Института почвоведения и агрохимии имеются представители слизиобразующих бактерий, относящиеся к роду *Bacillus*. Слизеобразующие бациллы широко распространены в почвах зоны умеренного климата [1–3]. Интерес к этим ризобактериям обусловлен их способностью улучшать калийное питание растений за счет мобилизации почвенных запасов калия, входящего в состав первичных и вторичных минералов [1, 3–5]. К настоящему времени установлено, что трансформация почвенных минералов происходит под действием микробных слизей [1, 3, 6], минеральных и органических кислот биогенного происхождения [1–3, 6] или других продуктов метаболизма ризобактерий, способных к образованию комплексных [1, 4–6] или хелатных [1, 3] соединений с элементами кристаллической решетки почвенных минералов. Образование слизи служит также защитным фактором при неблагоприятных экологических условиях и способствует выживанию бактерий в конкурентных условиях ризосферы.

По результатам наших многолетних исследований применение коллекционных штаммов слизиобразующих бацилл в качестве инокулянтов обеспечивало значительный гормональный эффект, проявляющийся в увеличении объема и массы корней и надземной части растения на ранних этапах онтогенеза [7–10]. Коллекционные штаммы *Bacillus* spp. характеризуются способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного калия [9], значительной ростостимулирующей активностью [7] и способностью к мобилизации фосфора из нерастворимых ортофосфатов кальция [8]. Благодаря наличию разнообразных приспособительных механизмов слизиобразующие *Bacillus* spp. оказывают разностороннее положительное влияние на инокулированные растения в разных экологических условиях.

Недавно установлена способность коллекционных штаммов слизиобразующих бацилл метаболизировать гербицид глифосат как источник фосфора, что значительно повышает интерес к этим ризобактериям [11].

В настоящее время глифосат применяется в глобальных масштабах. Это обусловлено его эффективностью, невысокой стоимостью, а также наличием устойчивых к гербициду трансгенных сортов основных сельскохозяйственных культур. В связи с этим отмечается практически повсеместное присутствие остаточных количеств глифосата и его первичного метаболитического продукта, аминометилфосфоновой кислоты (АМФК), в окружающей среде [12–15]. Микробные методы

детоксикации этого гербицида являются наиболее приемлемыми с экологических и экономических позиций и могут обеспечить биотехнологию защиты окружающей среды [13, 16].

Цель настоящей работы – установить влияние слизиобразующих ризосферных бактерий р. *Bacillus* на показатели активности фотосинтеза бобов кормовых в зависимости от содержания глифосата в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – штаммы слизиобразующих *Bacillus* spp. из фонда исследовательской коллекции Института почвоведения и агрохимии. Исследования проведены путем постановки серии инокуляционных *in vitro* экспериментов.

Методика проведения модельного инокуляционного эксперимента с тест-культурой в искусственно контролируемых условиях (почвенный микрокосм). Для установления влияния ГФ-утилизирующих ризобактерий *Bacillus* sp. Кт и *Bacillus circulans* К-81 (инокуляция семян) на физиологический статус растений и показатели активности фотосинтеза в условиях почвенного микрокосма проведен модельный эксперимент. В дерново-подзолистой супесчаной почве искусственно созданы разные уровни содержания глифосата: С₁, С₂ и С₃; для этого в почву вносили водные растворы гербицида Торнадо: 2,30 мг ГФ/кг, 7,70 мг ГФ/кг и 38,50 мг ГФ/кг почвы соответственно. Концентрация С₁ соответствует внесению в почву 3,0 л/га, концентрация С₂ – 10 л/га гербицида. Опытная концентрация С₃ соответствует пятикратному превышению максимальной дозы гербицида 50 л/га при условии пересчета на слой пахотного горизонта 0–5 см. Внесение гербицида в почву проведено за 7 дней до посева бобов. Контроль (С₀) – почва без внесения глифосата. Длительность эксперимента – 2,5 месяца, повторность в эксперименте четырехкратная.

В модельном эксперименте в качестве тест-культуры использованы бобы кормовые ТРАМПЕТ. Поверхностно стерилизованные (10 % раствор H₂O₂, 30 мин.) семена были инокулированы суспензиями штаммов бактерий *Bacillus* sp. Кт и *Bacillus circulans* К-81 (титры $8,5 \cdot 10^7$ КОЕ/мл). Бактериальные суспензии готовили путем смыва двухсуточных культур, выращенных на плотной питательной среде. Контроль – семена без инокуляции. В каждый сосуд (Ø 9 см, h = 11 см, объем почвы 500 г) высевали по 5 семян тест-культуры.

Оценка влияния глифосата на фотосинтетический потенциал растений. Фотосинтетические показатели тест-культуры изучали в течение 2-х месяцев (от посева семян до уборки). Фотосинтетическую активность бобов кормовых оценивали по следующим показателям: динамика роста (метод замеров), масса надземной части растений (метод высушивания до постоянной массы) [17], площадь листовой поверхности (метод измерений с определением поправочного коэффициента для бобов $K = 0,73$). Содержание хлорофиллов в листьях бобов кормовых определяли по методу Г. С. Посыпанова [18]. По окончании эксперимента определены сырая и сухая масса корней растений. Повторность в эксперименте четырехкратная.

Методика определения содержания хлорофилла в листьях. В соответствии с методом Г. С. Посыпанова [18] навеску листьев (0,2 г) растирали в фарфоровой ступке с добавлением отмытого речного песка, к полученной массе приливали 4–5 мл этилового спирта (96 %) и продолжали растирание в течение нескольких

минут. После отстаивания раствор фильтровали в мерную колбу объемом 25 мл, полученный фильтрат доводили до метки этиловым спиртом и определяли оптическую плотность экстрактов на спектрофотометре Metertech UV/VIS SP 8001.

Содержание хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов в листьях растений определяли в вытяжках при длинах волн, соответствующих максимумам спектра поглощения исследуемых пигментов в указанном растворителе. Для хлорофилла а в вытяжке этилового спирта максимум поглощения отмечается при длине волны 665 нм, для хлорофилла b – при 649 нм. Каротиноиды определяли при длине волны 441 нм. Концентрацию пигментов в экстракте рассчитывали по формулам [19]:

$$C_a \text{ (мг/л)} = 13,70 \cdot OD_{665} - 5,76 \cdot OD_{649}; C_b \text{ (мг/л)} = 25,80 \cdot OD_{649} - 7,60 \cdot OD_{665},$$

где OD_{665} – оптическая плотность раствора при длине волны 665 нм;
 OD_{649} – оптическая плотность раствора при длине волны 649 нм.

Концентрацию каротиноидов (Скар., мг/л) рассчитывали по формуле:

$$\text{Скар.} = 4,695 \cdot OD_{441} - 0,268 \cdot (C_a + C_b),$$

где OD_{441} – оптическая плотность раствора при длине волны 441 нм;
 $C_a + C_b$ – суммарное содержание хлорофиллов а и b в растворе, мг/л.

Количественное содержание пигментов (мг/г сух. в-ва) в экстракте рассчитывали по формуле:

$$X = V \cdot C \cdot 100 : m \cdot 1000 \cdot (100 - W),$$

где V – объем спиртовой вытяжки (мл);
 C – концентрация пигмента в спиртовом растворе (мг/л);
 m – навеска (г); W – потеря веса при высушивании навески листьев (%).

В лабораторных исследованиях использовали гербицид Торнадо 500: в.р., 500 г/л глифосата кислоты (изопропиламинная соль). Изготовитель: АО Фирма «Август», Россия, ТУ 20.20.12-071-18015953-2017 г.

Для стерилизации химических реактивов и посуды используются стерилизатор паровой ГК-100-3, стерилизатор паровой ГК-10-1, облучатели ультрафиолетовые УГД-2, УГД-3.

Для культивирования бактерий и приготовления бактериальных суспензий используются: термостат ТПС – 1, шейкер орбитальный KS-501 digital IKA WERKE (GmbH & Co.KG), перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние глифосата на PGP-потенциал глифосат-утилизирующих ризобактерий *Bacillus* spp. В задачи исследований входила оценка влияния глифосата на стимулирующий потенциал коллекционных ГФ-утилизирующих бактерий (PGP-потенциал по международной терминологии) по показателям всхожести семян тест-культуры (яровая пшеница), длине coleoptиле и суммарной длине корней проростков. Результаты экспериментов показали, что под действием глифосата

снижается процент всхожести семян, длина coleoptиле и суммарная длина корней проростков. Инокуляция семян штаммами *Bacillus* spp. К-62, К-65, К-81 и Кт оказывала значимое стимулирующее действие на фоне глифосатного стресса, указывающее на сохранение их PGP-потенциала: всхожесть семян повышалась на 3,3–10 %, длина coleoptиле – на 0,12–0,81 см и общая длина корней проростка – на 0,01–1,70 см. Наибольший стимулирующий эффект отмечен для штамма *Bacillus* sp. Кт: всхожесть семян повышалась на 10,0–13,3 %, длина coleoptиле – на 0,61–0,81 см и длина корней проростка – на 1,17–1,70 см в зависимости от концентрации глифосата (табл. 1).

Таблица 1

Влияние ризобактерий *Bacillus* spp. на показатели всхожести и развития проростков тест-культуры (яровая пшеница) в зависимости от концентрации глифосата

Вариант	Всхожесть, %			Длина coleoptиле, см			Суммарная длина корней 1 растения, см		
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₀	C ₁	C ₂	C ₀	C ₁	C ₂
Контроль	73,3	70,0	56,7	2,80	2,50	1,77	9,43	8,80	5,94
<i>Bacillus</i> sp. К-62	80,0	73,3	66,7	3,38	2,63	1,89	10,67	9,09	6,07
<i>Bacillus</i> sp. К-65	86,7	70,0	66,7	3,27	2,76	1,73	12,06	9,41	5,95
<i>Bacillus circulans</i> К-81	76,7	70,0	66,7	4,08	2,62	2,30	11,24	9,14	6,89
<i>Bacillus</i> sp. Кт	90,0	80,0	70,0	3,71	3,31	2,38	11,96	10,50	7,11
НСР _{0,95} Фактор А (ГФ)	7,64			0,39			0,67		
Фактор В (инокуляция)	8,83			0,51			0,87		

Влияние GF-утилизирующих ризобактерий р. *Bacillus* на показатели активности фотосинтеза бобов кормовых в зависимости от содержания глифосата в почве. Для абсолютного большинства гербицидов основной мишенью являются процессы фотосинтеза в растениях. Глифосат – единственный гербицид, действующий по механизму ингибирования биосинтеза ароматических аминокислот и белка [16]. Однако к настоящему времени опубликован целый ряд исследований, свидетельствующих, что глифосат воздействует на разные физиологические процессы растений, в том числе на фотосинтетическую активность. По современным данным глифосат способен ингибировать биосинтез хлорофиллов, каротиноидов, жирных кислот, снижая их содержание в растениях, а также индуцировать окислительный стресс, который считается вторичным эффектом блокирования шикиматного пути биосинтеза белка. Применение глифосата может вызывать негативные изменения в функционировании фотосинтетического аппарата, приводящие к снижению фотохимической активности и накоплению перекиси водорода H₂O₂ [20–23].

В модельном эксперименте в условиях почвенного микрокосма изучено влияние штаммов *Bacillus circulans* К-81 и *Bacillus* sp. Кт на рост и показатели фотосинтетической активности бобов кормовых в зависимости от концентрации глифосата в почве.

Всходы бобов появились на 6-е сутки; в вариантах с инокуляцией семян – на 5-е сутки. На начальных стадиях повышение концентрации глифосата в почве оказывало негативное воздействие на рост бобов. Высота растений при первом замере на 6–7 % меньше по сравнению с контролем на фоне C₀. Тенденция снижения высоты растений сохранилась до окончания эксперимента.

Инокуляция семян слизеобразующими бациллами оказывала антистрессовое действие, которое усиливалось при повышении концентрации глифосата в почве. Стимулирующее действие инокуляции на динамику роста ко времени уборки составило 4–17 % на фонах С₁–С₃ с внесением глифосата в почву. По показателям линейного роста наиболее эффективным инокулянт для бобов кормовых ТРАМПЕТ был штамм *Bacillus circulans* К-81 (табл. 2, рис.).

Таблица 2

Влияние ризобактерий р. *Bacillus* на динамику линейного роста бобов кормовых в зависимости от содержания глифосата в почве

С _{ГФ}	Инокуляция	Высота растений, см							
		19.05.23		23.05.23		02.06.23		22.06.23	
		см	%*	см	%*	см	%*	см	%*
С ₀	Без инокуляции	3,85	100	9,97	100	22,97	100	51,20	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	4,07	106	11,25	113	27,96	122	56,16	110
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	4,17	108	10,05	101	25,01	109	53,53	105
С ₁	Без инокуляции	3,57	100	8,38	100	22,64	100	50,72	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	4,31	121	11,09	132	28,05	124	55,78	110
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	3,85	108	9,35	112	24,32	107	52,68	104
С ₂	Без инокуляции	3,57	100	9,43	100	21,49	100	45,20	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	4,40	123	11,93	127	28,79	134	52,85	117
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	3,64	102	9,92	105	24,19	113	51,55	114
С ₃	Без инокуляции	3,62	100	9,81	100	19,05	100	45,80	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	4,43	122	12,35	126	24,15	127	51,92	113
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	4,34	120	10,82	110	20,89	110	48,45	106
НСР ₀₅ Фактор А (инокуляция)		0,25		0,32		0,90		2,11	
Фактор В (доза ГФ)		0,29		0,27		0,78		2,44	

* Действие по отношению к контролю



а)

б)

Рис. Влияние ризобактерий р. *Bacillus* (контроль, штаммы Кт и К-81) на рост бобов кормовых в зависимости от содержания ГФ в почве
 а) – фон С₀ (3 сосуда слева) и С₂ (3 сосуда справа);
 б) фон С₀ (3 сосуда слева) и С₃ (3 сосуда справа)

По данным модельного эксперимента не отмечено отрицательного действия почвенного глифосата на сырую и сухую массу бобов кормовых из расчета на 1 растение, а на фонах С₂ и С₃ отмечено даже увеличение сухой надземной массы растений на 20–23 %.

Прием инокуляции штаммами ризобактерий *Bacillus* sp. Кт и *Bacillus circulans* К-81 способствовал накоплению биомассы растений при всех изученных уровнях содержания глифосата в почве. Стимулирующее действие инокуляции на сухую массу бобов кормовых на фонах С₁–С₃ составило 5–16 %. Наибольший антистрессовый эффект обеспечивал штамм *Bacillus circulans* К-81: прибавка сухой массы бобов на фоне С₀ составила 11 %, на фоне С₁ –15 %, на фоне С₂ – 7 % и на фоне С₃ – 15 % по сравнению с соответствующими вариантами без инокуляции (табл. 3).

Установлено существенное положительное действие ризобактерий *Bacillus circulans* К-81 и *Bacillus* sp. Кт на развитие корневой системы кормовых бобов. В целом по опыту показатели сухой массы корней были в пределах 0,27–0,44 г. Увеличение массы корней за счет применения штамма *Bacillus circulans* К-81 составило 7 % на блоках С₀ и С₁, 32 % и 33 % на блоках С₂ и С₃ соответственно по отношению к контрольным вариантам. Применение штамма-инокулянта *Bacillus* sp. Кт увеличивало массу корней от 9 до 37 % в целом по опыту (табл. 3).

Таблица 3

Влияние ризобактерий *Bacillus* spp. на массу надземной части и корней бобов кормовых (в расчете на 1 растение) в зависимости от содержания глифосата в почве

С _{ГФ}	Инокуляция	Масса надземной части				Масса корней растений			
		сырая масса		сухая масса		сырая масса		сухая масса	
		г	%*	г	%*	г	%*	г	%*
С ₀	Контроль	4,86	100	0,55	100	2,35	100	0,27	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	5,56	114	0,61	111	2,65	113	0,29	107
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	5,01	103	0,58	105	3,12	133	0,35	130
С ₁	Контроль	5,22	100	0,59	100	2,44	100	0,27	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	5,89	113	0,68	115	2,72	111	0,29	107
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	5,26	101	0,63	107	3,48	143	0,37	137
С ₂	Контроль	5,07	100	0,68	100	3,09	100	0,31	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	5,45	107	0,73	107	3,36	109	0,41	132
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	5,37	106	0,79	116	3,43	111	0,35	113
С ₃	Контроль	5,12	100	0,66	100	2,36	100	0,33	100
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	5,56	109	0,76	115	3,18	135	0,44	133
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	5,31	104	0,69	105	2,54	108	0,36	109
НСР ₀₅ Фактор А (инокуляция)		0,25		0,05		0,14		0,03	
Фактор В (доза ГФ)		0,29		0,05		0,14		0,03	

* Действие по отношению к контролю.

Повышение содержания глифосата в почве на фонах С₁–С₃ негативно влияло на ассимиляционную поверхность листьев на вариантах без внесения ризобактерий по сравнению с фоном С₀. Антистрессовое действие штаммов *Bacillus circulans* К-81 и *Bacillus* sp. Кт на фотосинтетический потенциал бобов кормовых проявлялось в широком диапазоне содержания глифосата в почве. Инокуляция

калиймобилизующими бактериями приводила к увеличению площади листьев на 13 % (*Bacillus* sp. Кт) по сравнению с контролем на фоне С₀ и на 6–13 % на фонах С₁–С₃ (*Bacillus circulans* К-81).

Установлено положительное действие штаммов *Bacillus circulans* К-81 и *Bacillus* sp. Кт на содержание разных форм хлорофиллов в листьях бобов кормовых в широком диапазоне содержания глифосата в почве (табл. 4).

Таблица 4

Влияние ризобактерий *Bacillus* spp. на фотосинтетический потенциал бобов кормовых в зависимости от содержания глифосата в почве

С _{ГФ}	Инокуляция	Площадь листовой поверхности		Содержание (мг/г сух. в-ва)			
		см ² /1 раст.	%*	хлорофиллы			каротиноиды
				a	b	a + b	
С ₀	Без инокуляции	130,4	100	11,73	7,17	18,90	7,75
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	133,5	102	12,06	7,58	19,64	6,64
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	146,8	113	11,18	6,72	17,90	6,19
С ₁	Без инокуляции	125,7	100	9,18	5,98	15,16	6,83
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	142,3	113	10,57	6,47	17,04	7,32
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	131,1	104	10,95	6,37	17,32	6,63
С ₂	Без инокуляции	125,1	100	10,09	6,06	16,15	4,18
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	132,7	106	10,80	6,18	16,98	4,57
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	131,2	105	10,88	6,64	17,52	4,28
С ₃	Без инокуляции	123,3	100	10,09	5,85	15,94	4,52
	<i>Bacillus circulans</i> К-81	135,1	110	9,61	5,60	15,21	4,87
	<i>Bacillus</i> sp. Кт	136,8	111	10,89	6,20	17,09	4,79
НСР ₀₅ Фактор А (инокуляция)		5,35		0,40	0,24	0,63	0,39
Фактор В (доза ГФ)		4,63		0,35	0,21	0,54	0,36

* Действие по отношению к контролю.

Биологические механизмы антистрессового действия ризосферных бактерий *Bacillus* spp.: стимуляция роста (гормональный эффект, растворение ортофосфатов кальция, биологический контроль) и деструкция глифосата. Антистрессовое действие ризосферных бактерий обусловлено их полезными свойствами и богатым биохимическим потенциалом.

ВЫВОДЫ

Проведена серия модельных инокуляционных экспериментов по культивированию бобов кормовых ТРАМПЕТ в условиях почвенного микрокосма с искусственно созданными уровнями содержания глифосата в почве, соответствующими применению: 0; 3; 10 и 50 л/га гербицида в полевых условиях. Экспериментальные данные свидетельствуют о стрессовом действии почвенного глифосата на развитие растений, установлено снижение высоты, замедление роста и снижение показателей активности фотосинтеза бобов кормовых. Применение слизиобразующих

ризосферных бактерий *Bacillus circulans* К-81 и *Bacillus* sp. Кт для инокуляции семян оказывало полифункциональное антистрессовое действие на растения в широком диапазоне концентраций глифосата в почве. Отмечены стимуляция роста и развития корневой системы, повышение фотосинтетического потенциала за счет увеличения ассимиляционной поверхности листьев бобов кормовых и содержания хлорофиллов и каротиноидов. Антистрессовое действие слизиобразующих ризосферных бактерий *Bacillus circulans* К-81 и *Bacillus* sp. Кт усиливалось при повышении содержания глифосата в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристовская, Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.
2. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.
3. Александров, В. Г. Силикатные бактерии / В. Г. Александров. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 115 с.
4. Berthelin, J. Microbial weathering processes / J. Berthelin // *Microbial Geochemistry* / Editor W.E. Krumbein. – Blackwell, London. – 1983. – P. 223–262.
5. Laboratory evidence for microbially mediated silicate mineral dissolution in nature / W. J. Ullman [et al.] // *Chemical Geology*. – 1996. – Vol. 132. – P. 11–17.
6. Терновская, М. И. Теоретические и практические основы роли *Bacillus mucilaginosus* в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур: автореф. ... дис. д-ра. с.-х. наук: 06.01.04 / М. И. Терновская; Одесса, 1975. – 49 с.
7. Влияние силикатных бактерий на развитие проростков ячменя и пшеницы / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвенные исследования и применение удобрений*. – 2003. – Вып. 27. – С. 316–324.
8. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // *Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук*. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
9. Лапа, В. В. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на дерново-подзолистой супесчаной почве с разной обеспеченностью подвижным калием / В. В. Лапа, Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // *Агрохимия*. – 2016. – № 6. – С. 29–38.
10. Михайловская, Н. А. Влияние бактериального удобрения Калиплант на урожайность и качество яровой пшеницы на эродированных почвах / Н. А. Михайловская, А. Ф. Черныш, С. А. Касьянчик // *Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук*. – 2010. – № 2. – С. 51–58.
11. Скрининг способности калиймобилизующих ризобактерий метаболизировать гербицид глифосат / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2022. – № 1(68). – С. 200–212.
12. Шушкова, Т. В. Биодеструкция глифосата почвенными бактериями: дис. ... канд. биол. наук / Т. В. Шушкова; ВАК РФ 03.01.06; Ин-т биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина РАН. – Пущино, 2010. – 128 с.
13. Shushkova, T. Glyphosate bioavailability in soil / T. Shushkova, I. Ermakova, A. Leontievsky // *Biodegradation*. – 2010. – Vol. 21(3). – P. 403–410.
14. Микробная деградация гербицида глифосата / А. В. Свиридов [и др.] // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2015. – Т. 51. – Вып. 2. – С. 183–190.

15. Bioremediation of glyphosate contaminated soils / I. Ermakova [et al.] // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2010. – Vol. 88(2). – P. 585–594.
16. Кононова, С. В. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами / С. В. Кононова, М. А. Несмеянова // Биохимия. – 2002. – Т. 67. – Вып. 2. – С. 220–233.
17. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2006. – 120 с.
18. Посыпанов, Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха: справ. пособие / Г. С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 300 с.
19. Lichtenthaler, H. K., Bussman C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Curr. Protoc. Food Anal. Chem. – 2001. – P. 1–8.
20. Haslam, E. The shikimate pathway: biosynthesis of natural products series / E. Haslam // Elsevier, New York. – 2014.
21. Fedtke, K. Herbicides / K. Fedtke, S. Duke // Plant toxicology / Hock B, Elstner E, eds. – New York: Marcel Dekker. – 2005. – P. 247–330.
22. Glyphosate-Dependent Inhibition of Photosynthesis in Willow / M. P. Gomes [et al.] // Front. Plant Sci. – 2016. – Vol. 8. – P. 150–164.
23. Gomes, M. P. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview / M. P. Gomes [et al.] // J. Exp. Bot. – 2014. – Vol. 65, № 17. – P. 4691–4703.

EFFECT OF MUCUSFORMING BACTERIA *P. BACILLUS* ON ACTIVITY OF PHOTOSYNTHESIS IN FODGE BEANS UNDER DIFFERENT GLYPHOSATE CONTENT IN SOIL

**N. A. Mikhailouskaya, S. A. Kasyanchyk, T. B. Barashenko,
T. V. Pogirnitskaya, S. V. Dyusova**

Summary

Model inoculation experiments for cultivation of fodge beans were conducted in conditions of soil microcosm with artificially created levels of glyphosate content in soil: 0; 3; 10 and 50 l/ha in the field conditions. Stress effect of glyphosate on the growth, development and photosynthesis parameters of plants was observed. Application of strains *Bacillus circulans* K-81 and *Bacillus* sp. Kт for seed inoculation resulted in significant anti stress effects on plants at wide diapason of glyphosate content in soil. Plant's growth stimulation, the increase of assimilation leafs square as well as chlorophyll and carotenoid contents in leafs were observed.

Поступила 25.03.24