

УДК 663.11

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД, НА *PSEUDOMONAS FLUORESCENS*, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БИОУДОБРЕНИЯХ

© Е.С. Яценко¹, Е.А. Лейтес^{1*}, В.В. Колупаева¹, В.А. Петухов¹, А.А. Петухов², И.А. Хаявин²

¹ Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, Барнаул, 656049, Россия, leites-elena@yandex.ru

² Центральная научно-методическая ветеринарная лаборатория, ул. Ползунова, 36а, Барнаул, 656043, Россия

Актуальность работы состоит в том, что для производства эффективных недорогих удобрений, содержащих в составе микроорганизмы, важно исследовать влияние различных факторов, в частности питательной среды, содержащей растительное сырье, на рост или гибель микроорганизмов.

Цель работы – определение влияния макро-, микроэлементов, фенольных соединений, содержащихся в растительном сырье, входящего в состав питательных сред на *Pseudomonas fluorescens*.

В работе определено содержание макро-, микроэлементов (Cd, Pb, As, Cu, Fe, Zn, Ag, Al, Ba, Be, Ca, Co, Cr, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, P, B, Li, W, La, Si, Bi) и общее содержание фенольных соединений в водных экстрактах хвоща полевого (корня) (*Equisetum arvense*), лопуха большого (корня) (*Arctium lappa*), золототысячника обыкновенного (*Centaurea erythraea*), женьшеня обыкновенного (корня) (*Panax ginseng*), лимонника китайского (плоды) (*Schisandra chinensis*), папайи (*Carica papaya*), бруски обыкновенной (листа) (*Vaccinium vitis-idaea*), черники обыкновенной (листа) (*Vaccinium myrtillus*), оливы европейской (листа) (*Olea europaea*), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), толокнянки обыкновенной (листа) (*Arctostaphylos uva-ursi*), зимолюбки зонтичной (*Chimaphila umbellata*), ивы белой (коры) (*Salix alba*), кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis*) до и после внесения бактерий *Pseudomonas fluorescens*. Установлено уменьшение содержания макро- и микроэлементов в растительном в некоторых случаях до 99%.

Отмечена способность *Pseudomonas fluorescens* к аккумуляции токсичных элементов Zn, Cu, Pb, Mn, As, Sr, Cr из растительного сырья.

Обнаружение наибольшего содержания тяжелых металлов и токсичных элементов в кровохлебке, шалфее, иве может указывать на возможность их использования для очистки почв, в качестве растений-аккумуляторов в фиторемедиации.

Определено, что *Pseudomonas fluorescens* способна разлагать фенольные соединения в растениях до 22–38%.

Показано, что некоторые виды растительного сырья как источник макро-, микроэлементов, углерода для бактерий может эффективно использоваться в качестве компонента для питательной среды.

Ключевые слова: растительное сырье, питательная среда, *Pseudomonas fluorescens*, фенолы, макро- и микроэлементы.

Для цитирования: Яценко Е.С., Лейтес Е.А., Колупаева В.В., Петухов В.А., Петухов А.А., Хаявин И.А. Влияние компонентов растительного сырья, входящего в состав питательных сред, на *Pseudomonas fluorescens*, используемых в биоудобрениях // Химия растительного сырья. 2025. №2. С. 318–326. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215227>.

Введение

Актуальность исследований обусловлена возросшими требованиями потребителей к качеству используемых удобрений. Перспективными являются биоудобрения на основе непатогенных микроорганизмов естественной ризосферной микрофлоры растений. Препараты на основе природных бактериальных штаммов безопасны для человека и животных, не нарушают экологическую среду и потому могут применяться как в открытом грунте, так и для тепличных хозяйств, декоративного и комнатного растениеводства. Для производства биоудобрений используются различные виды микроорганизмов. Несмотря на недостаточную изученность, известна способность почвенных бактерий рода *Pseudomonas* синтезировать широкий

* Автор, с которым следует вести переписку.

спектр веществ, стимулирующих корнеобразование растений, в частности ауксины, гиббереллины, цитокинины, витамины, полисахариды, свободные аминокислоты и др. [1–3]. Помимо корнеобразования, микроорганизмы этой группы являются природными антагонистами фитопатогенов и способны активировать естественную неспецифическую устойчивость растений к фитопатогенам и неблагоприятным климатическим условиям [4–6], что обеспечивает полифункциональность биологических препаратов на основе бактерий *Pseudomonas* [7, 8].

Зарегистрированные препараты на основе *Pseudomonas fluorescens* разрешены к применению против болезней ячменя ярового (гельминтоспориозная корневая гниль, пятнистости), картофеля (макроспориоз, фитофтороз, ризоктониоз), капусты (черная ножка, сосудистый бактериоз), сахарной свеклы (кагатная гниль) и многих других культур [9, 10].

Для производства эффективных недорогих удобрений, содержащих в составе микроорганизмы, важно исследовать влияние различных факторов, в частности питательной среды, содержащей растительное сырье, на рост или гибель микроорганизмов для обеспечения оптимальных условий существования и, как следствие, полноценного функционирования.

Питательные среды для культивирования микроорганизмов в искусственных условиях должны содержать все необходимые вещества в оптимальных количествах. Углерод микроорганизмы получают из органических соединений, минеральные элементы вносят в состав питательной среды в виде соответствующих солей или других источников [11].

Другим аспектом актуальности работы является возможность решения экологической проблемы загрязнения почвы тяжелыми металлами, фенолами за счет использования растений-аккумуляторов, которые можно выявить, изучив их состав [12, 13].

В качестве перспективной альтернативы используемым физическим и химическим методам могут быть биологические методы, основанные на способности различных микроорганизмов аккумулировать фенолы [14–18], тяжелые металлы [19–22].

Цель работы – определение влияния макро-, микроэлементов, фенольных соединений, содержащихся в растительном сырье, входящего в состав питательных сред на *Pseudomonas fluorescens*.

Экспериментальная часть

Объектом исследования служили водные экстракты, полученные из сухого растительного сырья, закупленного в ООО «НПЦ Алтайская чайная компания» (с. Красногорское Алтайского края) и ООО Натурекс (г. Москва), а именно: хвоща полевого (корня) (*Equisetum arvense*), лопуха большого (корня) (*Arctium lappa*), золототысячника обыкновенного (*Centaurium erythraea*), женьшена обыкновенного (корня) (*Panax ginseng*), лимонника китайского (плоды) (*Schisandra chinensis*), папайи (*Carica papaya*), брусники обыкновенной (листа) (*Vaccinium vitis-idaea*), черники обыкновенной (листа) (*Vaccinium myrtillus*), оливы европейской (листа) (*Olea europaea*), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), толокнянки обыкновенной (листа) (*Arctostaphylos uva-ursi*), зимолюбки зонтичной (*Chimaphila umbellata*), ивы белой (коры) (*Salix alba*), крохахлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis*). Микроорганизмы *Pseudomonas fluorescens* выделены из биологического препарата Планриз (Гамаир).

Содержание макро- и микроэлементов в растительном сырье до и после внесения *Pseudomonas fluorescens* определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Optima 7300 DV (Perkin Elmer) [23, 24].

Основой для определения суммы фенольных соединений до и после внесения микроорганизмов служил метод по Левенталю [25], при этом пробоподготовка велась с применением автоклавирования.

Пробоподготовку проводили следующим образом. В 200 мл питательной среды вносили 2 г одного из вышеперечисленных сухих образцов растительного сырья и подвергали автоклавированию. Питательная среда для культивирования *Pseudomonas fluorescens* содержала суспензию гороха шлифованного, получаемую кипячением в течение 2 ч 300 г сухого гороха в 1 л воды с последующим охлаждением и процеживанием, 5 г мелассы, после чего снова доводили до 1 л дистиллированной водой.

Значение pH пробы, подготовленной для автоклавирования, выдерживали в пределах 7.5–7.6. Время стерилизации составляло 30 мин при 1.0 бар. После охлаждения определяли содержание макро-, микроэлементов либо суммарного содержания фенольных соединений в образцах и контрольной пробе питательной среды, не содержащей растительного сырья.

При определении суммарного содержания фенольных соединений содержимое трех контрольных колб фильтруют и титруют 0.01 н KMnO₄ при энергичном перемешивании. Окончание титрования устанавливают по появлению в растворе золотисто-желтого оттенка. Результат титрования умножают на пересчетный коэффициент 0.416 для перевода миллилитров 0.01 н раствора KMnO₄ в миллиграммы фенольных соединений, содержащихся в 10 мл пробы [25]. Параллельно проводят контрольное титрование, в котором 10 мл экстракта заменяют 10 мл дистиллированной воды, вычитая полученное значение из основного определения.

Посев микроорганизмов осуществляли, внося по 1 мл суспензии микроорганизмов (КОЕ 10⁶) в три колбы на 250 мл с питательной средой. Культивирование микроорганизмов производилось 24 ч при температуре 28 °C с принудительной аэрацией со скоростью вращения 125 об./мин. Пробы фильтруют и титруют 0.01 н раствором KMnO₄ до появления золотисто-желтого оттенка. Суммарное содержание фенольных соединений после внесения микроорганизмов рассчитывают аналогично описанному выше.

Обсуждение результатов

Общее содержание фенольных соединений в растительном сырье (мг/мл) до (C₀) и после (C) внесения бактерий *Pseudomonas fluorescens* представлены в таблице 1.

Сравнивая данные, можно заметить, что в большинстве проб после внесения бактерий концентрация фенольных соединений уменьшилась. Это объясняется тем, что представители данной группы бактерий способны разлагать ароматические соединения [13]. Изменения наиболее заметны в образцах, содержащих хвош, лопух, крохахлебку (38–88%), наименее – в образцах, содержащих кору ивы, листья оливы, бруслику, толокнянку (22–28%).

Большим содержанием фенольных соединений отличаются листья толокнянки (18.32 мг/мл), шалфей (17.72 мг/мл), листья оливы (13.19 мг/мл). Они представлены различными фенолкарбоновыми кислотами (галловая, феруловая) от 1 до 6%, а также кверцитин, кемпферол, содержащиеся и в других растительных экстрактах; листья толокнянки содержат арбутин до 25%, который при воздействии ферментов разлагается до гидрохинона, замедляющего рост бактерий.

В золототысячнике, папайе, лимоннике наименьшее содержание фенольных соединений – от 0.04–0.08 мг/мл, представленных в основном эфирными маслами, содержащими сесквитерпеновые углеводороды, предположительно замедляющие рост бактерии, а также различные фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды.

Увеличение фенольных соединений в экстрактах после внесения бактерии, вероятно, связано со способностью бактерий синтезировать большое количество разнообразных ароматических соединений, в том числе фенолов [26–28].

Лопух и хвош также отличаются небольшим содержанием фенолов (0.69 и 3.74 мг/мл соответственно), но имеют наибольшие значения по процентному соотношению относительно изначального содержания (44 и 88% соответственно).

Методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой обнаружено 32 элемента (Cd, Pb, As, Cu, Fe, Zn, Ag, Al, Ba, Be, Ca, Co, Cr, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, P, B, Li, W, La, Si, Bi).

Таблица 1. Общее содержание фенольных соединений в растительном сырье (мг/мл) до (C₀) и после (C) внесения бактерий *Pseudomonas fluorescens*

Растительное сырье	C ₀ , мг/мл (до)	C, мг/мл (после)	C ₀ -C, мг/мл
<i>Equisetum arvense</i>	0.69±0.10	0.08±0.10	0.61
<i>Arctium lappa</i>	3.74±0.10	2.10±0.10	1.64
<i>Centaurium erythraea</i>	0.04±0.01	1.31±0.10	-1.27
<i>Panax ginseng</i>	0.60±0.10	0.44±0.10	0.16
<i>Schisandra chinensis</i>	0.08±0.03	0.27±0.03	-0.19
<i>Carica papaya</i>	0.06±0.02	0.89±0.10	-0.83
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	11.17±0.10	8.01±0.10	3.16
<i>Vaccinium myrtillus</i>	7.38±0.10	5.01±0.10	2.37
<i>Olea europaea</i>	13.19±0.10	10.28±0.10	2.91
<i>Salvia officinalis</i>	17.73±0.10	11.98±0.10	5.75
<i>Arctostaphylos uvaursi</i>	01.07±0.10	9.01±0.10	2.56
<i>Chimaphila umbellata</i>	10.46±0.10	7.26±0.10	3.20
<i>Salix alba</i>	6.98±0.10	5.47±0.10	1.51
<i>Sanguisorba officinalis</i>	12.08±0.10	7.49±0.10	4.59

Не обнаружены или обнаружены в следовых количествах Cd, Al, Be, Co, Mo, Ni, Sb, Sn, Ti, V, B, Li.

В таблицах 2 и 3 представлено содержание макро- и микроэлементов в растительном сырье (C_0) и изменение их содержания ($C_0\text{-C, \%}$) до и после внесения бактерии *Pseudomonas fluorescens*.

Из таблицы 2 виден заметный процент уменьшения содержания макроэлементов, необходимых для роста и жизнедеятельности бактерии, которые входят в качестве кофакторов в состав ферментов, активируют или стабилизируют их деятельность. Незначительное уменьшение Ca, Mg отмечено в лимоннике, золототысячнике, бруснике, что может объясняться затрудненной биодоступностью.

Наибольшее содержание макроэлементов обнаружено в кровохлебке, толокнянке, лопухе, в них же отмечается значительное уменьшение содержания макроэлементов после внесения бактерии (в %) по сравнению с остальными экстрактами. В лопухе содержание железа в 4 раза превышало его содержание в других экстрактах, а процент его потребления при этом сравним с другими экстрактами (99%). Как известно, бактерии рода *Pseudomonas*, имея полный набор железосодержащих ферментов, требуют в 3–4 раза больше железа, чем микроорганизмы, у которых неполная система цитохромов. Хвош и черника, несмотря на более низкое содержание макроэлементов относительно лопуха, имеют наибольшее среди представленных экстрактов содержание Si – в 2 раза выше, чем у лопуха, и в 4–8 раз выше, чем в остальных экстрактах, что способствует лучшему спорообразованию.

Отмечена способность *Pseudomonas fluorescens* к аккумуляции Zn, Cu, As, Mn, Sr, используемых в качестве источников микроэлементов и энергии практически из всех экстрактов, а Pb, Cr из экстрактов брусники, оливы, зимолюбки, кровохлебки, золототысячника, женьшения, лимонника, хвоща, лопуха. Практически полное поглощение Mn после внесения бактерии *Pseudomonas fluorescens* отмечено для всех экстрактов.

Таблица 2. Содержание макроэлементов в экстрактах растительного сырья (C_0) и его изменение ($C_0\text{-C, \%}$) после внесения бактерии *Pseudomonas fluorescens*

Растительный экстракт	C_0 , мг/кг ($C_0\text{-C, \%}$)	Элемент					
		K	Mg	Ca	Fe	P	Na
<i>Equisetum arvense</i>	C_0 %	44.13±0.10 64	22.39±0.10 79	113.6±0.4 94	0.27±0.04 33	5.77±0.10 30	13.7±04 67
<i>Arctium lappa</i>	C_0 %	67.99±0.10 65	77.7±0.4 99	221±4 99	4.23±0.10 99	49.1±0.4 99	29.6±0.4 98
<i>Centaurium erythraea</i>	C_0 %	59.0±0.4 56	11.3±0.4 4	27.4±0.4 4	0.23±0.04 7	11.9±0.4 16	6.2±0.4 33
<i>Panax ginseng</i>	C_0 %	23.08±0.10 91	10.8±0.4 83	20.1±0.4 76	0.22±0.04 90	8.0±0.4 79	11.1±0.4 66
<i>Schisandra chinensis</i>	C_0 %	144.6±0.4 45	16.2±0.4 7	30.0±0.4 2	0.95±0.04 93	33.9±0.4 58	14.9±0.4 64
<i>Carica papaya</i>	C_0 %	177.5±0.4 51	13.5±0.4 64	8.2±0.4 57	0.10±0.04 23	27.4±0.4 52	6.8±0.10 92
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	C_0 %	296.0±0.4 92	15.2±0.4 93	34.1±0.4 4	1.16±0.10 97	61.8±0.4 99	12.9±0.4 78
<i>Vaccinium myrtillus</i>	C_0 %	28.44±0.12 63	36.43±0.10 60	139.6±0.4 72	0.47±0.04 77	45.9±0.4 29	6.7±0.4 15
<i>Olea europaea</i>	C_0 %	26.73±0.10 95	3.35±0.10 35	15.5±0.4 42	0.11±0.10 77	2.85±0.10 63	5.4±0.4 78
<i>Salvia officinalis</i>	C_0 %	67.75±0.10 63	15.73±0.10 9	38.1±0.10 46	2.97±0.10 92	19.7±0.4 48	14.6±0.4 66
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	C_0 %	35.54±0.10 64	77.14±0.10 61	204.2±0.5 82	1.04±0.10 50	91.4±0.4 87	107±4 87
<i>Chimaphila umbellata</i>	C_0 %	80.15±0.10 41	12.75±0.10 60	33.9±0.4 59	0.14±0.01 45	23.0±0.4 75	7.7±0.4 87
<i>Salix alba</i>	C_0 %	154.6±0.4 84	26.86±0.10 60	104.8±0.4 73	0.55±0.04 9	33.0±0.4 77	6.2±0.4 17
<i>Sanguisorba officinalis</i>	C_0 %	100.5±0.4 78	38.76±0.10 67	172.4±0.4 80	1.38±0.04 94	204.8±0.5 94	5.64±0.10 94

Таблица 3. Содержание микроэлементов в экстрактах растительного сырья (C_0) и его изменение ($C_0 - C$, %) после внесения бактерии *Pseudomonas fluorescens*

Растительный экстракт	C_0 , мг/кг, (C_0-C), %	Элемент						
		Zn	Cr	Cu	Pb	As	Sr	Mn
<i>Equisetum arvense</i>	C_0	5.1±0.1	0.009±0.001	0.020±0.001	0.014±0.001	<0.004	0.34±0.01	0.22±0.01
	%	95	22	4	7	0	86	44
<i>Arctium lappa</i>	C_0	0.27±0.01	<0.005	0.02±0.01	0.017±0.001	0.020±0.001	1.1±0.1	4.7±0.1
	%	87	17	99	17.6	90	99	99
<i>Centaurium erythraea</i>	C_0	0.51±0.01	0.02±0.01	0.02±0.00	<0.008	0.020±0.004	0.17±0.04	1.74±0.01
	%	63	83	4.0	0	87	42	92
<i>Panax ginseng</i>	C_0	0.18±0.01	0.01±0.04	0.04±0.004	0.015±0.001	0.010±0.004	0.21±0.01	0.40±0.01
	%	55	22	86	76	31	94	100
<i>Schisandra chinensis</i>	C_0	0.33±0.01	<0.002	0.12±0.04	0.013±0.004	0.02±0.01	0.12±0.01	1.11±0.01
	%	21	0	90	54	60	18	92
<i>Carica papaya</i>	C_0	0.35±0.01	<0.005	0.070±0.0041	<0.009	<0.004	0.060±0.04	0.020±0.010
	%	86	0	23	0	25	84	84
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	C_0	0.30±0.01	0.01±0.001	0.06±0.0	<0.01	0.02±0.001	0.19±0.001	0.44±0.001
	%	84	59	58	0	96	85	99
<i>Vaccinium myrtillus</i>	C_0	0.51±0.01	0.001±0.001	0.004±0.001	<0.002	0.024±0.001	0.52±0.01	3.08±0.01
	%	39	0	49	0	42	86	98
<i>Olea europaea</i>	C_0	0.33±0.01	0.014±0.001	<0.0001	<0.011	0.006±0.001	0.08±0.01	0.01±0.001
	%	80	50	0	0	84	54	99
<i>Salvia officinalis</i>	C_0	0.53±0.01	0.01±0.001	0.22±0.01	0.47±0.01	0.010±0.001	0.12±0.01	4.73±0.01
	%	30	0	95	98	50	11	86
<i>Arctostaphylos uvaursi</i>	C_0	0.7±0.1	0.010±0.001	0.13±0.01	<0.004	0.009±0.001	0.81±0.01	1.04±0.01
	%	32	0	84	0	89	50	11
<i>Chimaphila umbellata</i>	C_0	0.5±0.1	0.03±0.01	0.013±0.001	<0.005	0.017±0.001	0.21±0.01	0.55±0.01
	%	91	71	25	0	38	72	86
<i>Salix alba</i>	C_0	3.9±0.1	0.030±0.001	0.04±0.01	<0.008	0.003±0.001	0.39±0.01	0.86±0.01
	%	94	0	36	0	100	57	74
<i>Sanguisorba officinalis</i>	C_0	2.9±0.1	<0.001	0.03±0.01	0.02±0.01	0.011±0.001	0.4±0.1	7.6±0.1
	%	81	0	21	44	82	76	98

Наименьшее содержание тяжелых металлов и токсичных элементов обнаружено в женшене, оливе, папайе, наибольшее – в кровохлебке, шалфее, иве, что указывает на возможность их использования для очистки почв, как растения-аккумуляторы в фиторемедиации. В этом процессе ионы тяжелых металлов попадают в ткани растений через корни из окружающей среды. Растительную массу собирают, сжигают, пепел захоранивают или используют как вторичное сырье [29].

Наибольшее содержание Se обнаружено в золототысячнике 0.069 мг/кг и иве 0.048 мг/кг, в остальных экстрактах варьировалось от 0.010 до 0.029 мг/кг, уменьшение после культивирования бактерии составляло 50–80%. Содержание W в экстрактах составляло (0.003–0.021) мг/кг, наибольшее – в иве, кровохлебке, его уменьшение – 50–80%. Содержание Bi и Va варьировалось от 0.014 и 0.003 мг/кг (в лопухе, хвоще) до 0.85 и 0.92 мг/кг (в толокнянке), уменьшение составило 20–80%, более всего – в бруслике, толокнянке, шалфее, золототысячнике.

В растительных экстрактах, кроме экстракта папайи, обнаружено небольшое содержание 0.002–0.007 мг/кг редкоземельного элемента La, способного регулировать метаболизм микроорганизмов, наибольшее – в лопухе и толокнянке, его уменьшение – 50%.

Заключение

Определено содержание макро-, микроэлементов (Cd, Pb, As, Cu, Fe, Zn, Ag, Al, Ba, Be, Ca, Co, Cr, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, P, B, Li, W, La, Si, Bi) и общее содержание фенольных соединений в водных экстрактах хвоща полевого (корня), лопуха большого (корня), черники (листа), чаги, подорожника (оболочки семени), черемши, спирулины, оливы (лист), толокнянки (листа), ивы (коры), боровой матки, крапивы двудомной, бруслики, крушиньи, красной щетки, шиповника (листа), грейпфрута (косточки), зверобоя, женшеня (корня), золототысячника, папайи, шлемника, лимонника (плоды) до и после внесения бактерий *Pseudomonas fluorescens*.

Установлено уменьшение содержания макро- и микроэлементов в растительном сырье после внесения бактерий *Pseudomonas fluorescens* в некоторых случаях до 99%.

Отмечена способность *Pseudomonas fluorescens* к аккумуляции токсичных элементов Zn, Cu, Pb, Mn, As, Sr, Cr из растительного сырья.

Наибольшее содержание тяжелых металлов и токсичных элементов, обнаруженное в кровохлебке, шалфее, иве может указывать на возможность их использования для очистки почв, как растения-аккумуляторы.

Определено, что *Pseudomonas fluorescens* способна разлагать фенольные соединения в растениях до 22–38%, наибольшие значения отмечены в лопухе – 44% и хвоще – 88%, что может быть обусловлено содержанием сапонина эквизетонина и инулина. Увеличение фенольных соединений в экстрактах лимонника, золототысячника, папайи после внесения бактерии, вероятно, связано со способностью бактерий синтезировать фенольные соединения.

Показано, что растительное сырье, как источник макро-, микроэлементов, углерода для бактерий может эффективно использоваться в качестве компонента для питательной среды.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Алтайского государственного университета и Центральной научно-методической ветеринарной лаборатории. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Максимова Н.П. Генетические подходы к созданию штаммов-продуцентов биологически активных соединений у бактерий *Pseudomonas* // Труды Белорусского государственного университета. 2009. Т. 4, №2. С. 15–55.
2. Suzukil S., Hel Y., Oyaizul H. Indole-3-acetic acid production in *Pseudomonas fluorescens* HP72 and its association with suppression of creeping bentgrass brown patch // Current Microbiol. 2003. Vol. 47, no. 2. Pp. 138–143. <https://doi.org/10.1007/s00284-002-3968-2>.
3. Palleroni N.J. *Pseudomonas* // Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. 2015. <https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm01210>.
4. Lavicoli A. Induced systemic resistance in *Arabidopsis thaliana* in response to root inoculation with *Pseudomonas fluorescens* CHA0 // MPMI. 2003. Vol. 16, no. 10. Pp. 851–859. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2003.16.10.851>.
5. Van Loon L.C., Bakker P.A.H.M., Pieterse C.M.J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria // Annual Review of Phytopathology. 1998. Vol. 36, no. 1. Pp. 453–483. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>
6. Горбунов О.П. Бактерии рода *Pseudomonas*: углеродный цикл, защита и стимуляция растений. М., 2008. С. 413–415.
7. Джей Д.М., Лёсснер М.Д., Гольден Д.А. Современная пищевая микробиология. М., 2011. 886 с.
8. Srivastava R., Shalini R. Antifungal activity of *Pseudomonas fluorescens* against different plant pathogenic fungi // The Internet Journal of Microbiology. 2009. Vol. 7(2). Pp. 1–7. <https://doi.org/10.5580/1e69>.
9. Калашников А.И. Препараты на основе *Pseudomonas fluorescens* // БиоМир. 2018. №3. С. 6–7.
10. Савостикова Ю.В., Пасикова А.С., Беликова Е.И. Биологическая защита в рассадный период // Гавриш. 2022. №4. С. 42–45.
11. Телишевская Л.Я., Ночевный В.Т. Минеральные элементы в жизнедеятельности и метаболизме патогенных бактерий // Ветеринарная патология. 2015. №4. С. 19–28.
12. Хенце М., Армюэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. М., 2006. 468 с.
13. Дубейковский А.Н., Гафаров А.Б., Наумов А.В. Плазмидный контроль деградации сульфоароматических соединений штаммом *Pseudomonas sp.* B S1304. // Генетика. 1992. Т. 28, №2. С. 34–40.
14. Murkovic M. Phenolic compounds. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. Academic Press, 2003. Pp. 4507–4514. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00914-7>.
15. Wightman F., Douglas L. Identification of phenylacetic acid as a natural auxin in the shoots of higher plants // Physiologia Plantarum. 2006. Vol. 55. Pp. 17–24. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb00278.x>
16. Khambay B., Jewess P. The potential of natural naphthoquinones as the basis for a new class of pest control agents – An overview of research at IACR-Rothamsted // Crop Protection. 2000. Vol. 19. Pp. 597–601. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00078-8).

17. Ribeiro K.A., de Carvalho C.M., Molina M.T. et al. Activities of naphthoquinones against *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae), vector of dengue and *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818), intermediate host of *Schistosoma mansoni* // *Acta Tropica*. 2009. Vol. 111. Pp. 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2009.02.008>.
18. Корженевич В.И. Микробная очистка фенолсодержащих сточных вод: дис. ... докт. биол. наук. Саратов, 2003. 364 с.
19. Бузолёва Л.С., Кривошеева А.М. Влияние тяжелых металлов на размножение патогенных бактерий // Успехи современного естествознания. 2013. №7. С. 30–33.
20. Багаева Т.В., Ионова Н.Э., Надеева Г.В. Микробиологическая ремедиация природных систем от тяжелых металлов. Казань, 2013. 56 с.
21. Колесников О.В. Влияние ксенобиотиков и тяжелых металлов на систему микроорганизм-растение. М., 2012. 23 с.
22. Иваница В.А., Бухтияров Г.В., Лисютин А.Н., Захария А.Н., Гудзенко Т.В. Аккумуляция тяжелых металлов бактериями рода *Pseudomonas* // Микробиология и биотехнология. 2012. С. 76–83.
23. ПНД Ф 14.1:2:4.135-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой. М., 1998. 27 с.
24. ГОСТ 31950-12. Вода. Методы определения содержания общей ртути беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрией. М., 2013. 17 с.
25. Харина С.Г., Козлова А.Б., Григорьянц Е.Ю. Лабораторный практикум по основам экотоксикологии. Благовещенск, 2012. С. 29–34.
26. Кудрявцев Г.П., Мусатова О.В. Химия природных соединений. Учебно-методический комплекс для студентов биологических специальностей. Витебск, 2009. 233 с.
27. Wallis C.M., Galarneau E.R-A. Phenolic Compound Induction in Plant-Microbe and Plant-Insect Interactions: A Meta-Analysis // *Front. Plant Sci.* 2020. Vol. 11. 580753. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.580753>.
28. Djellout H., Raio A., Boutoumi H., Krimi Z. *Bacillus* and *Pseudomonas* spp. strains induce a response in phenolic profile and enhance biosynthesis of antioxidant enzymes in *Agrobacterium tumefaciens* infected tomato plants // European Journal of Plant Pathology. 2020. Vol. 157 (3). Pp. 269–280. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01975-1>.
29. Gupta A.K., Yunus M., Pandey P.K. Bioremediation: Ecotechnology for the Present Century // International Society of Environmental Botanists. 2003. Vol. 9, no. 2.

Поступила в редакцию 22 мая 2024 г.

После переработки 16 ноября 2024 г.

Принята к публикации 9 апреля 2025 г.

Yatsenko E.S.¹, Leites E.A.^{1}, Kolupaeva V.V.¹, Petukhov V.A.¹, Petukhov A.A.², Khalyavin I.A.²* THE EFFECT OF COMPONENTS OF PLANT RAW MATERIALS INCLUDED IN NUTRIENT MEDIA ON *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* USED IN BIOFERTILIZERS

¹ Altai State University, Lenina av., 61, Barnaul, 656049, Russia, leites-elena@yandex.ru

² Central Scientific and Methodological Veterinary Laboratory, Polzunova st., 36a, Barnaul, 656043, Russia

The relevance of the work lies in the fact that for the production of effective inexpensive fertilizers containing microorganisms, it is important to investigate the influence of various factors, in particular a nutrient medium containing plant raw materials, on the growth or death of microorganisms.

The aim of the work is to determine the effect of macro-, microelements, phenolic compounds contained in plant raw materials that are part of nutrient media on *Pseudomonas fluorescens*.

The work determined the content of macro-, microelements —(Cd, Pb, As, Cu, Fe, Zn, Ag, Al, Ba, Be, Ca, Co, Cr, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, P, B, Li, W, La, Si, Bi) and the total content of phenolic compounds in aqueous extracts of horsetail (root) (*Equisetum arvense*), burdock (root) (*Arctium lappa*) common golden millet (*Centaurium erythraea*), common ginseng (root) (*Panax ginseng*), Chinese lemongrass (fruit) (*Schisandra chinensis*), papaya (*Carica papaya*), cowberry (leaf) (*Vaccinium vitis-idaea*), blueberry (leaf) (*Vaccinium myrtillus*), European olive (leaf) (*Olea europaea*), sage officinalis (*Salvia officinalis*), bearberry (leaf) (*Arctostaphylos uva-ursi*), winter-loving umbellate (*Chimaphila umbellata*), white willow (bark) (*Salix alba*), medicinal hemophlebus (*Sanguisorba officinalis*) before and after the introduction of *Pseudomonas fluorescens* bacteria. A decrease in the content of macro- and microelements in plant matter in some cases up to 99% has been established.

The ability of *Pseudomonas fluorescens* to accumulate toxic elements Zn, Cu, Pb, Mn, As, Sr, Cr from plant raw materials was noted.

The detection of the highest content of heavy metals and toxic elements in hemophlebone, sage, willow may indicate the possibility of their use for soil cleanup and as accumulator plants in phytoremediation.

It has been determined that *Pseudomonas fluorescens* is capable of decomposing phenolic compounds in plants up to 22–38%.

It has been shown that some types of plant raw materials, as a source of macro-, microelements, and carbon for bacteria, can be effectively used as a component for a nutrient medium.

Keywords: plant raw materials, nutrient medium, *Pseudomonas fluorescens*, phenols, macro- and microelements.

For citing: Yatsenko E.S., Leites E.A., Kolupaeva V.V., Petukhov V.A., Petukhov A.A., Khalyavin I.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 2, pp. 318–326. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215227>.

References

1. Maksimova N.P. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 15–55. (in Russ.).
2. Suzukil S., Hel Y., Oyaizul H. *Current Microbiol.*, 2003, vol. 47, no. 2, pp. 138–143. <https://doi.org/10.1007/s00284-002-3968-2>.
3. Palleroni N.J. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 2015. <https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm01210>.
4. Lavicoli A. *MPMI*, 2003, vol. 16, no. 10, pp. 851–859. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2003.16.10.851>.
5. Van Loon L.C., Bakker P.A.H.M., Pieterse C.M.J. *Annual Review of Phytopathology*, 1998, vol. 36, no. 1, pp. 453–483. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>
6. Gorbunov O.P. *Bakterii roda Pseudomonas: uglerodnyy tsikl, zashchita i stimulyatsiya rasteniy*. [Bacteria of the genus *Pseudomonas*: carbon cycle, protection and stimulation of plants]. Moscow, 2008, pp. 413–415. (in Russ.).
7. Dzhey D.M., Lossner M.D., Gol'den D.A. *Sovremennaya pishchevaya mikrobiologiya*. [Modern food microbiology]. Moscow, 2011, 886 p. (in Russ.).
8. Srivastava R., Shalini R. *The Internet Journal of Microbiology*, 2009, vol. 7(2), pp. 1–7. <https://doi.org/10.5580/1e69>.
9. Kalashnikov A.I. *BioMir*, 2018, no. 3, pp. 6–7. (in Russ.).
10. Savostikova Yu.V., Pasikova A.S., Belikova Ye.I. *Gavrish*, 2022, no. 4, pp. 42–45. (in Russ.).
11. Telishevskaya L.Ya., Nochevnyy V.T. *Veterinarnaya patologiya*, 2015, no. 4, pp. 19–28. (in Russ.).
12. Khentse M., Armoes P., Lya-Kur-Yansen Y., Arvan E. *Ochistka stochnykh vod*. [Wastewater treatment]. Moscow, 2006, 468 p. (in Russ.).
13. Dubeykovskiy A.N., Gafarov A.B., Naumov A.B. *Genetika*, 1992, vol. 28, no. 2, pp. 34–40. (in Russ.).
14. Murkovic M. *Phenolic compounds. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, 2003, pp. 4507–4514. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00914-7>.
15. Wightman F., Douglas L. *Physiologia Plantarum*, 2006, vol. 55, pp. 17–24. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb00278.x>
16. Khambay B., Jewess P. *Crop Protection*, 2000, vol. 19, pp. 597–601. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00078-8).
17. Ribeiro K.A., de Carvalho C.M., Molina M.T. et al. *Acta Tropica*, 2009, vol. 111, pp. 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2009.02.008>.
18. Korzhenevich V.I. *Mikrobnaya ochistka fenolsoderzhashchikh stochnykh vod: dis. ... dokt. biol. nauk*. [Microbial purification of phenol-containing wastewater: diss. ... Doctor of Biological Sciences]. Saratov, 2003, 364 p. (in Russ.).
19. Buzolova L.S., Krivosheyeva A.M. *Uspekhi sovremennoego yestestvoznaniya*, 2013, no. 7, pp. 30–33. (in Russ.).

* Corresponding author.

20. Bagayeva T.V., Ionova N.E., Nadeyeva G.V. *Mikrobiologicheskaya remediatiya prirodnnykh sistem ot tyazhelykh metallov*. [Microbiological remediation of natural systems from heavy metals]. Kazan', 2013, 56 p. (in Russ.).
21. Kolesnikov O.V. *Vliyanie ksenobiotikov i tyazhelykh metallov na sistemuy mikroorganizm-rasteniye*. [Influence of xenobiotics and heavy metals on the microorganism-plant system]. Moscow, 2012, 23 p. (in Russ.).
22. Ivanitsa V.A., Bukhtiyarov G.V., Lisyutin A.N., Zakhariya A.N., Gudzenko T.V. *Mikrobiologiya i biotekhnologiya*, 2012, pp. 76–83. (in Russ.).
23. PND F 14.1:2:4.135-98. *Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii elementov v probakh pit'yevoy, prirodnykh, stochnykh vod i atmosfernykh osadkov metodom atomno-emissioonnoy spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy*. [PND F 14.1:2:4.135-98. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of elements in samples of drinking, natural, waste water and atmospheric precipitation by the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma]. Moscow, 1998, 27 p. (in Russ.).
24. GOST 31950-12. *Voda. Metody opredeleniya soderzhaniya obshchey rtuti besplamennoy atomno-absorbsionnoy spektrometriyey*. [GOST 31950-12. Water. Methods for determination of total mercury content by flameless atomic absorption spectrometry]. Moscow, 2013, 17 p. (in Russ.).
25. Kharina S.G., Kozlova A.B., Grigor'yants Ye.Yu. *Laboratornyy praktikum po osnovam ekotoksikologii*. [Laboratory practical training on the basics of ecotoxicology]. Blagoveschensk, 2012, pp. 29–34. (in Russ.).
26. Kudryavtsev G.P., Musatova O.V. *Khimiya prirodnykh soyedineniy. Uchebno-metodicheskiy kompleks dlya studentov biologicheskikh spetsial'nostey*. [Chemistry of natural compounds. Educational and methodological complex for students of biological specialties]. Vitebsk, 2009, 233 p. (in Russ.).
27. Wallis C.M., Galarneau E.R-A. *Front. Plant Sci.*, 2020, vol. 11, 580753. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.580753>.
28. Djellout H., Raio A., Boutoumi H., Krimi Z. *European Journal of Plant Pathology*, 2020, vol. 157 (3), pp. 269–280. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01975-1>.
29. Gupta A.K., Yunus M., Pandey P.K. *International Society of Environmental Botanists*, 2003, vol. 9, no. 2.

Received May 22, 2024

Revised November 16, 2024

Accepted April 9, 2025

Сведения об авторах

Яценко Елена Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, mlprx@mail.ru

Лейтес Елена Анатольевна – кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, leites-elena@yandex.ru

Колупаева Виктория Викторовна – студент, vic.bathed@yandex.ru

Петухов Виктор Анатольевич – преподаватель кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, petukhov-va@mail.ru

Петухов Александр Анатольевич – младший научный сотрудник, petyxovalexsandr@mail.ru

Халивин Илья Александрович – младший научный сотрудник, raiderpetrovich@mail.ru

Information about authors

Yatsenko Elena Sergeevna – candidate of biological sciences, associate professor of the department of technosphere safety and analytical chemistry, mlprx@mail.ru

Leites Elena Anatolyevna – candidate of chemical sciences, associate professor of the department of technosphere safety and analytical chemistry, leites-elena@yandex.ru

Kolupaeva Victoria Viktorovna – student, vic.bathed@yandex.ru

Petukhov Viktor Anatolyevich – teacher of the department of technosphere safety and analytical chemistry, petukhov-va@mail.ru

Petukhov Alexander Anatolyevich – junior researcher, petyxovalexsandr@mail.ru

Khalyavin Ilya Alexandrovich – junior researcher, raiderpetrovich@mail.ru