

Влияние гуминовых веществ на микробиологическую активность почвы под плодовыми культурами

Горовцов Андрей Владимирович, Безуглова Ольга Степановна, Полиенко Елена Александровна, Попов Артем Евгеньевич

Аннотация

Использование гуминовых препаратов для обработки плодовых деревьев остается одним из наиболее слабо исследованных аспектов применения данной группы фитостимуляторов. Особенно мало известно о процессах, происходящих при этом в почве, и практически отсутствуют данные о реакции почвенных микробных сообществ в прикорневой зоне на проводимую обработку. В работе приведены данные микробиологического анализа почвы под взрослыми плодовыми деревьями (яблоня, черешня) и молодыми деревьями в питомнике (черешня, слива) на фоне обработки гуминовым препаратом BIO-Don. Показано, что обработка плодовых деревьев гуминовым препаратом привела к активации многих экологотрофических групп бактерий в почве под растениями. Наиболее выраженная реакция отмечалась для олиготрофных бактерий и аминокетотрофов, слабее реагировали аминоавтотрофы, практически никакой реакции не отмечалось для олигонитрофилов, актиномицетов и почвенных грибов. Тем не менее, наблюдающиеся сдвиги в динамике элементов минерального питания позволяют предположить, что активация микробиоты вносит значительный вклад в полученную в опыте прибавку к урожайности.

Статья подготовлена по материалам пленарного доклада на второй международной конференции «Проблемы и перспективы биологического земледелия», проходившей в on-line режиме 11 ноября 2016 года.

Ключевые слова: гуминовый препарат, микробное сообщество почвы, корневые выделения, яблоня, черешня, слива.

The effect of humic substances on microbial activity of the soil under fruit trees

Gorovtsov Andrey V., Bezuglova Olga S., Polienko Elena A., Popov Artem E.

Abstract

The use of humic preparations for the treatment of fruit trees is one of the most poorly studied aspects of the application of this group of plant stimulators. There is especially little knowledge about the processes occurring in the soil, and virtually no data on the response of soil microbial communities in the root zone to such kind of treatment. The paper presents the data of microbiological analysis of soil under the mature fruit trees (apple, cherry) and young trees in the nursery (cherry, plum) after the treatment with humic preparation BIO-Don. It has been shown that treatment of fruit trees with humic substances resulted in the activation of many groups of bacteria in the soil under the plants. The most pronounced reaction was observed for oligotrophic and aminoheterotrophic bacteria, a weaker response for reacted aminoautotrophic bacteria, and almost no reaction was noted for

oligonitrophilic bacteria, actinomycetes and soil fungi. However, the observed changes in the dynamics of mineral nutrients suggest that the activation of the soil bacteria contributes significantly to the obtained yield increase.

The article is prepared on the basis of the plenary report on the second international conference "Problems and prospects of biological farming", held online on November 27, 2016.

Keywords: humic preparation, soil microbial community, root exudates, apple, cherry, plum.

Введение

В настоящее время использование в сельскохозяйственном производстве химических удобрений и средств защиты растений достигло достаточно высокого уровня. Дальнейший рост продуктивности за счет увеличения использования таких препаратов представляется невозможным, поскольку это может приводить к развитию у растений стресса. Особенно остро эта проблема стоит для плодовых деревьев. С целью борьбы с грибковыми заболеваниями, также для контроля вредителей применяются многократные обработки, число которых в некоторые годы достигает 30 за сезон. В этой связи важным представляется поиск новых способов повышения продуктивности плодовых культур, не связанных с применением препаратов, выпускаемых химической промышленностью.

В последние годы все больше работ связано с изучением влияния гуминовых препаратов на продуктивность сельскохозяйственных культур. Механизмы их положительного действия на растения многообразны и связаны с уменьшением стресса, вызванного такими абиотическими факторами, как засуха и засоление, усилением поступления элементов минерального питания, активацией почвенной микробиоты.

При этом исследования влияния гуматов на древесные культуры остаются очень немногочисленными. Так, некоторые позитивные результаты были получены при обработке по листу таких растений, как олива, авокадо, абрикос и виноград. В частности, при обработке оливковых деревьев по листу раствором гуматов из леонардита, наблюдалось усиление роста молодых деревьев, не получавших минеральных удобрений. При этом при использовании удобрений разница сглаживалась [11]. Использование гуминовых кислот с поливной водой значительно увеличивало длину побегов, а также биомассу побегов и корней у деревьев авокадо [16]. Весьма эффективной оказалась также обработка гуматами почвенного происхождения виноградных лоз столового сорта *Italia*. При этом отмечалось существенное влияние фазы развития растений на результаты обработки. Гуминовые препараты оказались наиболее эффективны при применении их в фазу цветения, причем эффект проявлялся как в увеличении размера плодов (масса и диаметр ягод), так и их качества (титруемая кислотность) [12]. Интересно, что при внесении в почву, гуминовые препараты не оказывали на

урожайность и качество плодов винограда выраженного влияния [8]. В противоположность этому, на абрикосовых деревьях сорта *Canino* было показано, что обработка почвы гуматами эффективнее, чем обработка по листу, и наибольший эффект установлен при сочетании двух методов обработки растений [10]. По-видимому, для каждой отдельно взятой культуры существует оптимальный способ, доза и время внесения гуминовых препаратов, что связано со сложностью данных соединений и их непрямым действием на растения.

Целью настоящей работы было изучение влияния обработки гуматами плодовых деревьев (яблони и черешни) на микробиологическую активность почвы и качество продукции.

Материалы и методы исследований

Исследования влияния обработки гуминовым препаратом на плодовые культуры проводились в условиях производственного эксперимента в Азовском районе Ростовской области на площади 19,8 га (Агрофирма «Красный сад»).

Плодовые культуры обрабатывались гуминовым препаратом по схеме: однократное внесение в почву с капельным орошением в сочетании с двукратным опрыскиванием деревьев в дозировке 300 л/га рабочим раствором концентрацией 0,008 г/л по углероду. Отбор почвенных образцов проводился в конце июня, в период созревания плодов.

Численность различных групп почвенных микроорганизмов определялась методом посева на селективные питательные среды [6]. Учитывалась численность аминогетеротрофных, аминоавтотрофных, олигонитрофильных и олиготрофных бактерий, актиномицетов и плесневых грибов. Аминогетеротрофные бактерии учитывались на среде МПА и учет проводился в первые, третьи и седьмые сутки после посева. Аминоавтотрофные бактерии учитывались на крахмало-аммиачном агаре, олигонитрофильные бактерии – на безазотистой среде Эшби, олиготрофные бактерии – на голодном агаре на вторые и седьмые сутки. Актиномицеты учитывались на крахмало-аммиачном агаре на седьмые сутки. Плесневые грибы учитывались на среде Чапека с добавлением стрептомицина на пятые сутки. Разные сроки учета использовались для дифференциального учета быстрорастущих и медленно растущих микроорганизмов [7,13].

Почвы на участках, подвергшихся обработке гуминовым препаратом и без нее, исследованы на содержание основных элементов питания: азот нитратный [5] и аммонийный [4], подвижный фосфор [2], подвижный калий [2], гумус [3];

Результаты и их обсуждение

По итогам микробиологических исследований была установлена численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов в

составе микробоценоза почвы. Данные по численности отдельных групп микроорганизмов приведены на рисунках 1—6.

Ниже будут рассмотрены группы бактерий в порядке их участия в минерализации свежей органики, поступающей в почву. Первой группой, приступающей к процессу разложения растительных остатков, являются аминокетотрофы (аммонификаторы), которые используют готовые аминокислоты и разлагают вещества, содержащие азот в форме органических соединений (рис. 1).

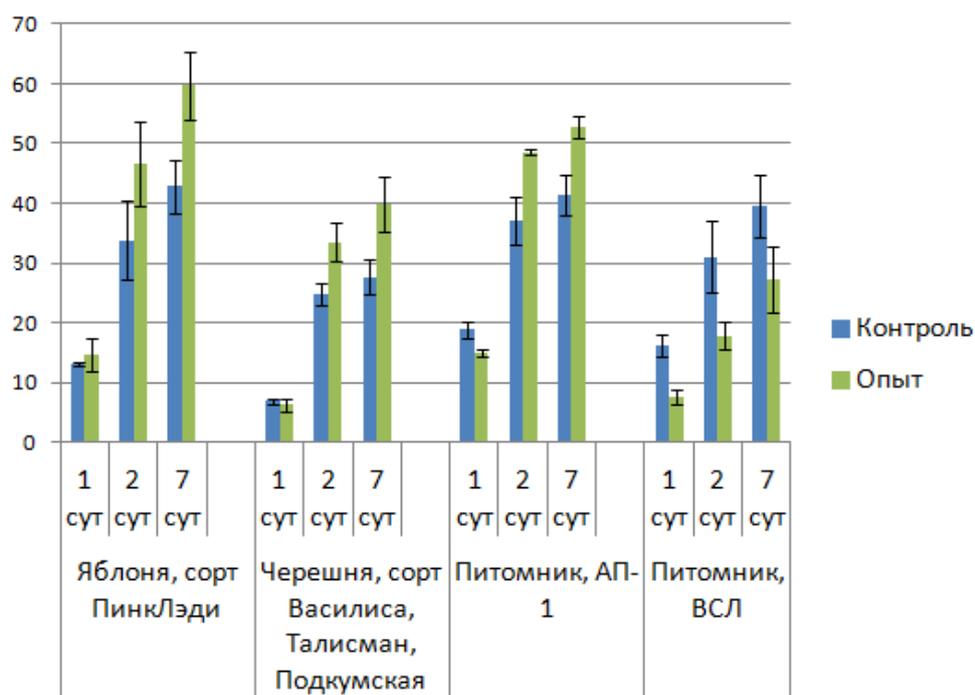


Рисунок 1 – Численность аммонифицирующих бактерий в почве под плодовыми деревьями на фоне обработки гуминовым биопрепаратом (в млн. КОЕ/г абс. сухой почвы)

Численность аммонифицирующих бактерий в почве под растениями, обработанными гуминовым препаратом, демонстрировала тенденцию к увеличению во всех вариантах, кроме питомника ВСЛ, где выращивают саженцы сливы. При этом интересно отметить, что препарат не оказывал выраженного влияния на быстрорастущие формы бактерий (образующие видимые колонии уже в первые сутки). Из приведенной на рисунке гистограммы видно, что в вариантах со взрослыми деревьями нет достоверной разницы между численностью бактерий в первые сутки, а в варианте с саженцами их численность даже оказывается ниже, чем в контроле. По мере удлинения культивирования разница между опытным и контрольным вариантами увеличивается. Это говорит о том, что внутри микробного сообщества имеются группы, в разной степени реагирующие на

обработку растений гуминовым препаратом, при этом более сильным оказывается воздействие на медленно растущие формы бактерий.

Данная закономерность может указывать на стабилизирующую роль гуматов, поскольку медленно растущие микроорганизмы (условные к-стратеги) составляют большинство в ненарушенных почвах [13], тогда как в условиях стресса преимущество получают быстро растущие виды (условные r-стратеги), которые способны быстро адаптироваться и заполнять появляющиеся вакантные экологические ниши в микробных сообществах.

При этом, быстро растущие формы развиваются на легко доступных субстратах, тогда как медленно растущие участвуют в минерализации труднорастворимых соединений [14], что играет важную роль в процессах формирования органического вещества почвы.

Ниже рассматриваются аминоавтотрофы, способные расти за счет минерального азота, и учитываемые на крахмало-аммиачном агаре (рис. 2)

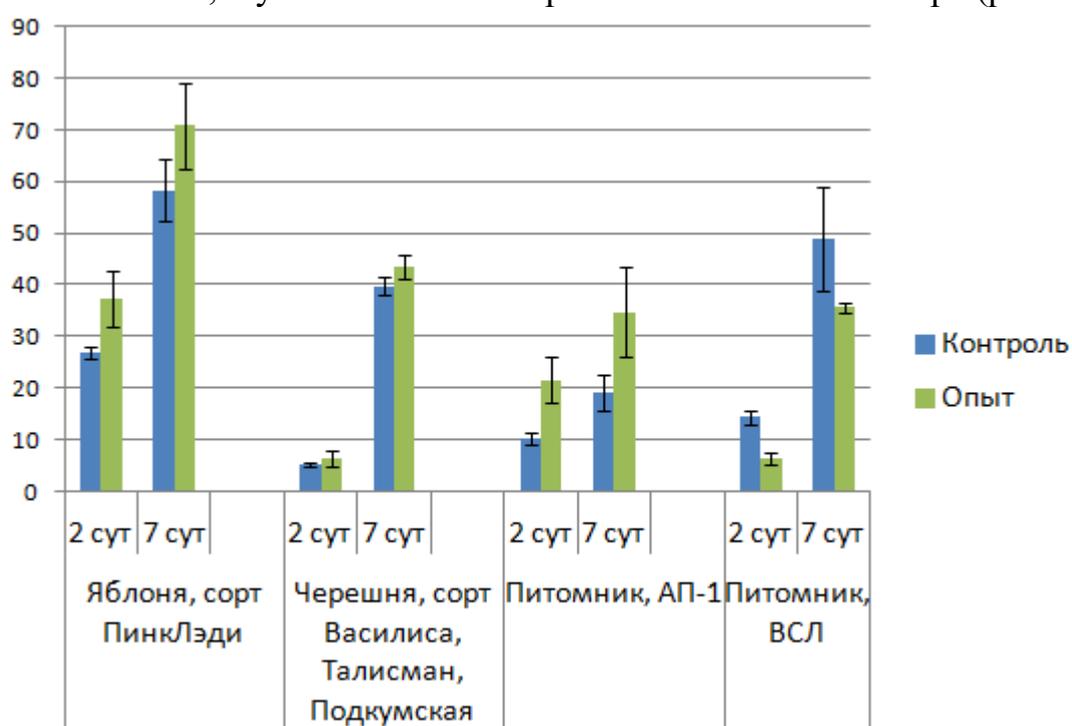


Рисунок 2 – Численность аминоавтотрофных бактерий в почве под плодовыми деревьями на фоне обработки гуминовым биопрепаратом (в млн. КОЕ/г абс. сухой почвы)

В отличие от аммонифицирующих бактерий, аминоавтотрофные бактерии уже на вторые сутки были представлены в большем количестве на вариантах, обработанных гуматами. Как и в предыдущем случае, исключение составили саженцы сливы (питомник ВСЛ).

При этом хорошо заметно, что разница между контролем и опытом сохранялась на постоянном уровне и при первом, и при втором учете. Это говорит о том, что обработка гуматами влияла на быстро растущих

представителей данной группы, но практически не изменяла численность медленно растущих. Интерпретация данных результатов оказывается достаточно сложной, из-за специфических особенностей среды культивирования. Крахмало-аммиачный агар содержит аммонийную соль в качестве источника азота и крахмал – в качестве источника углерода. В начале (первые 2—3 суток) на данной среде развиваются те бактерии, которые способны к секреции амилаз и гидролизу крахмала (амилолитики). На более поздних сроках внеклеточные амилазы расщепляют весь крахмал, что делает возможным рост колоний микроорганизмов, не обладающих амилазами. Однако все вырастающие на КАА микроорганизмы являются аминоавтотрофными, то есть не нуждаются в экзогенном поступлении органических азотсодержащих веществ, и используют минеральный азот.

Таким образом, обработка гуматами увеличивала число именно амилолитических бактерий, а не аминоавтотрофов в целом. Причины этого явления неясны и требуют дополнительного изучения.

На рисунке 3 представлены данные по численности олигонитрофилов и азотфиксаторов – микроорганизмов, способных усваивать азот атмосферы или использовать очень малые количества доступного азота.

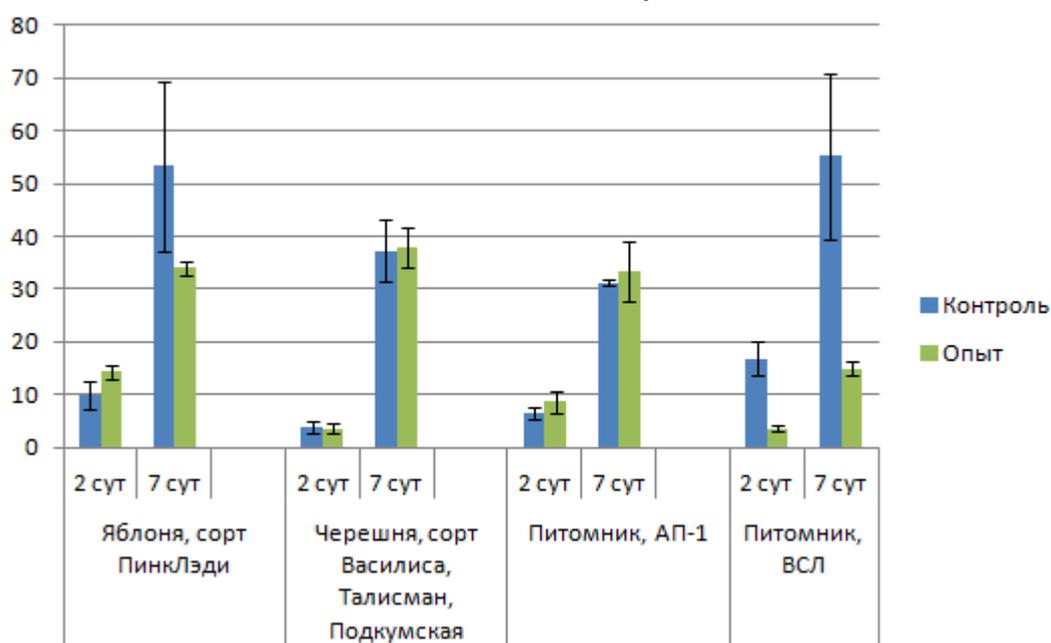


Рисунок 3 – Численность олигонитрофильных и азотфиксирующих бактерий в почве под плодовыми деревьями на фоне обработки гуминовым биопрепаратом (в млн. КОЕ/г абс. сухой почвы)

Как можно видеть, за исключением последнего варианта опыта, повторяющего общую для всех исследуемых групп тенденцию, обработка гуматами не оказала существенного влияния на численность данной группы микроорганизмов.

Учитывая характер изменения динамики аминокетотрофов и аминокетотрофов, можно предполагать, что обработка растений гуматами приводит к некоторым изменениям в корнеобитаемом слое почвы, которые оказываются наиболее значимыми для аминокетотрофов, но не существенными для олигонитрофилов, а среди аминокетотрофов лишь для амилитиков. Предположительно, таким влиянием может быть усиление секреции аминокислот. Известно, что многие аминокислоты входят в состав корневых выделений древесных растений [15]. При этом экзогенное поступление аминокислот необходимо лишь тем микроорганизмам, которые не способны их синтезировать из простых веществ. Такие микроорганизмы называются аминокетотрофами и учитываются на среде МПА, но не могут расти на средах с минеральным азотом или безазотистых средах.

На рисунке 4 показана численность олиготрофных микроорганизмов. Данная группа завершает минерализацию органики и способна расти на очень бедных средах, концентрируя питательные вещества, представленные в следовых количествах.

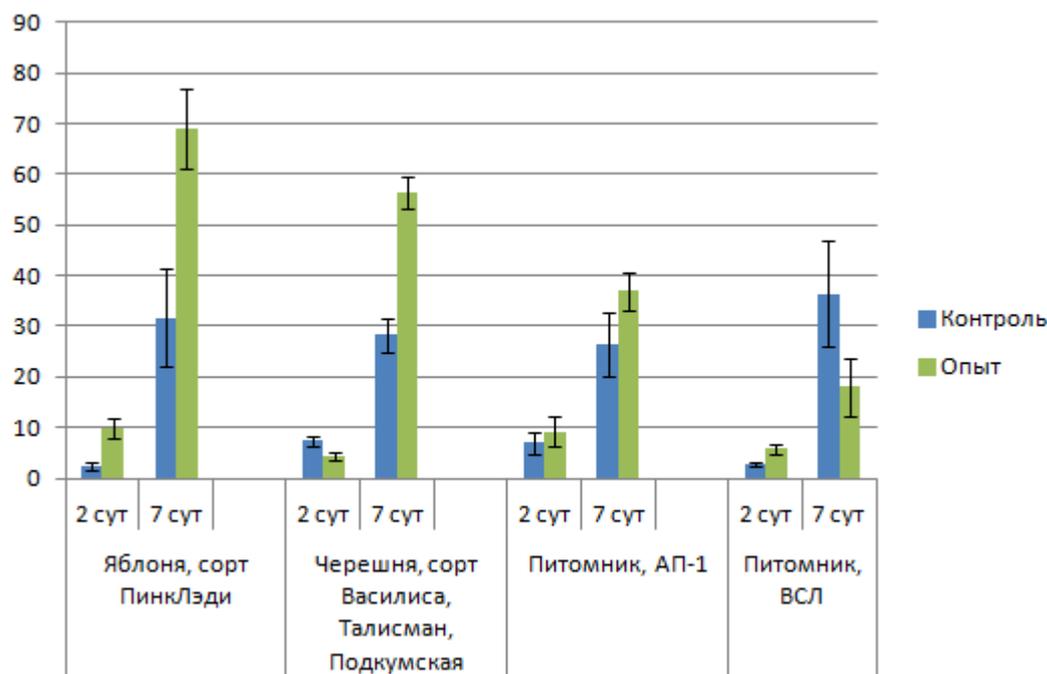


Рисунок 4 – Численность олиготрофных бактерий в почве под плодовыми деревьями на фоне обработки гуминовым биопрепаратом (в млн. КОЕ/г абс. сухой почвы)

В текущем исследовании численность олиготрофных бактерий изменилась под влиянием обработки гуматами наиболее сильно. При этом наибольшей выраженности эти изменения достигли в вариантах под взрослыми деревьями. По всей видимости, это отражает усиление выноса элементов питания из почвы в период созревания плодов под влиянием обработки биопрепаратом, что влияет на численность олиготрофных

микроорганизмов. Кроме того, данная группа микроорганизмов способна утилизировать многие низкомолекулярные органические вещества, образующиеся в ходе деятельности других групп микроорганизмов. Также нельзя исключать влияния повышенной секреции органических кислот в корневых выделениях растений (например, янтарной, молочной, щавелевой и др.), которые могут активно утилизироваться этими бактериями. Как и в предыдущем случае, конкретные механизмы влияния корневых выделений плодовых деревьев на те или иные группы почвенных бактерий требуют проведения отдельных исследований в условиях песчаной и водной культуры, с возможностью анализа их состава. Численность актиномицетов определялась на крахмало-аммиачном агаре и представлена на рисунке 5.

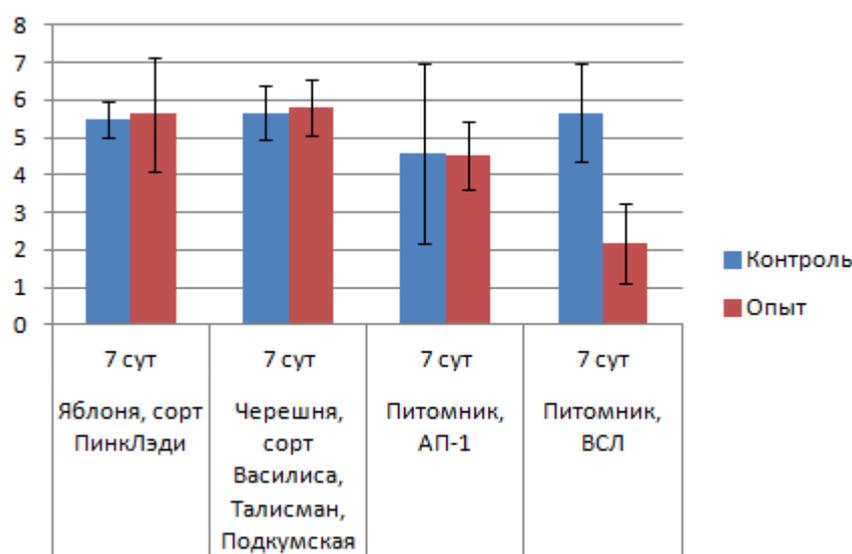


Рисунок 5 – Численность актиномицетов в почве под плодовыми деревьями на фоне обработки гуминовым биопрепаратом (в млн. КОЕ/г абс. сухой почвы)

Как можно видеть из диаграммы, численность актиномицетов оказалась стабильной и не изменялась под влиянием обработки растений гуматами. Данная группа микроорганизмов принимает участие в разложении очень устойчивых компонентов растительных остатков, и играет важную роль в синтезе и распаде почвенной органики. По-видимому, эффекты обработки растений гуматами влияют на более быстро растущие группы микроорганизмов, а актиномицеты не могут получить преимущество в силу медленного роста и конкуренции со стороны не мицелиальных форм бактерий. Сходная картина наблюдается и для почвенных грибов (рис. 6).

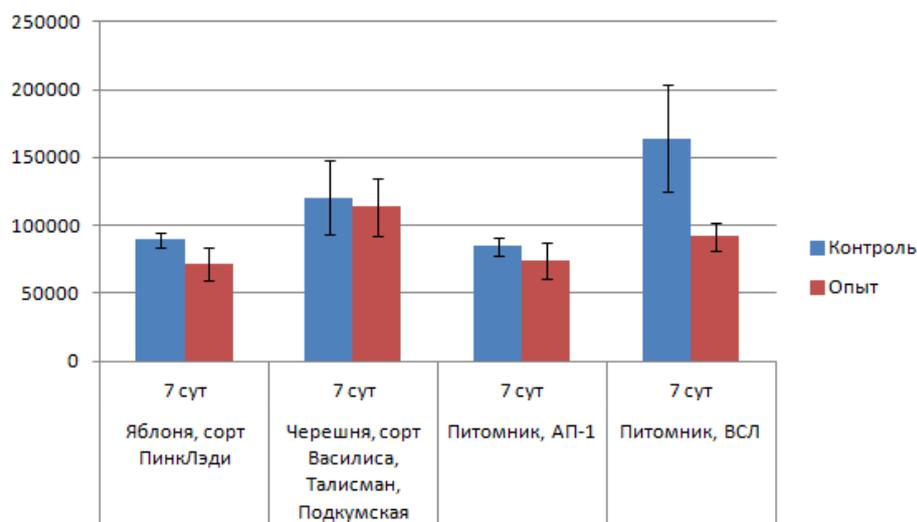


Рисунок 6 – Численность грибов в почве под плодовыми деревьями на фоне обработки гуминовым биопрепаратом (КОЕ/г абс. сухой почвы)

Из приведенной диаграммы видно, что грибы, так же как и актиномицеты, оказались нечувствительными к воздействию гуминового препарата на растения. Данные микроорганизмы играют важную роль в разложении листового опада и формировании почвенного органического вещества, однако пик их активности приходится на осенний период, чем и объясняется отсутствие какого-либо эффекта. Кроме того, как в случае грибов, так и для актиномицетов, метод не позволяет различить колонии, образовавшиеся из спор и из вегетативного мицелия, то есть на период проведения исследований значительная часть популяции мицелиальных микроорганизмов могла находиться в покоящемся состоянии, что также может объяснять отсутствие реакции на обработку растений препаратом.

Обработка деревьев гуминовым препаратом оказала влияние не только на почвенные микробные сообщества, но и в значительной степени сказалась на элементах минерального питания в почве.

Динамика элементов питания в почве под яблоней приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние гуминового препарата ВЮ-Дон на динамику элементов питания в черноземе обыкновенном карбонатном под яблоней (сорт Пинк Леди)

Вариант	Результаты исследования (\pm ошибка среднего)				Гумус, %
	N – NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	
	МГ/КГ				
18.04.2016					
Контроль	9,10 \pm 0,92	21,35 \pm 0,41	44,58 \pm 6,32	419,96 \pm 5,91	3,84 \pm 0,04
Обработка	5,63 \pm 0,03	13,53 \pm 1,40	20,71 \pm 4,91	413,54 \pm 20,73	3,38 \pm 0,19

18.05.2016					
Контроль	4,82±0,12	9,70±0,93	16,19±0,93	335,13±11,56	2,70±0,11
Обработка	4,89±0,10	9,67±0,12	14,90±3,71	355,15±55,18	2,89±0,11
26.06.2016					
Контроль	2,43±0,23	9,37±0,51	15,42±3,87	329,77±58,30	2,55±0,04
Обработка	2,30±0,25	10,39±1,01	14,12±1,43	290,53±28,08	2,58±0,09

Результаты свидетельствуют, что на вариантах с гуминовым препаратом наблюдается снижение подвижных форм азота и фосфора весной, когда потребность в этих элементах особенно острая: деревья начинают жить не за счет накопленных питательных веществ, а за счет поглощения их из почвы. Именно в этот период важно обеспечить растения водой и элементами питания. В эксперименте на вариантах с гуминовым препаратом простимулированные растения активно востребовали элементы питания, особенно азот и фосфор. В более поздние сроки вегетации содержание подвижных азота и фосфора по вариантам практически выравнивается, в то время как по обменному калию, напротив, различия между контролем и опытными рядами возрастает. Обусловлено это тем, что ко второй половине лета рост надземной части прекращается, деревья находятся в состоянии относительного покоя [1]. После прекращения роста побегов продолжается ассимиляция углерода, рост корней и усвоение питательных веществ из почвы. В это время дерево откладывает запасы питательных веществ, необходимые для нормальной зимовки, а также цветения и листообразования следующей весной, и здесь возрастает роль калия, элемента во многом обеспечивающего нормальное развитие плодов, образование сахаров и накопление их в товарной части продукции. Таким образом динамика элементов питания (табл. 1) подтвердила особую значимость каждого из элементов на разных фазах вегетации яблони, и показала повышенный расход элементов питания деревьями, обработанными гуминовым препаратом. Полученная картина хорошо согласуется с наблюдающейся стимуляцией активности почвенной микробиоты, ответственной за минерализацию органики и высвобождение элементов минерального питания, что особенно ярко отражается в значительно возросшей олиготрофности почвенной среды в опытном варианте по сравнению с контролем.

Как следствие, на вариантах с гуматами прибавка урожайности яблони сорта *Пинк Леди* составила 7,8 ц/га (105,9 – на контроле, 113,7 – на варианте с гуминовым препаратом).

Заключение

Обработка плодовых деревьев гуминовым препаратом привела к активации многих эколого-трофических групп бактерий в почве под растениями. Наиболее выраженная реакция отмечалась для олиготрофных бактерий и аминокетотрофов, слабее реагировали аминокетотрофы, практически никакой реакции не отмечалось для олигонитрофилов, актиномицетов и почвенных грибов. Тем не менее, наблюдающиеся сдвиги в динамике элементов минерального питания позволяют предположить, что активация микробиоты вносит значительный вклад в полученную в опыте прибавку к урожайности.

По-видимому, влияние обработки растений гуматами на почвенную микробиоту опосредованное: через воздействие на интенсивность корневой экссудации и состав корневых выделений растений, которые и приводят к тем или иным сдвигам в структуре микробных сообществ. Изучение этих процессов в условиях реального производственного опыта затруднительно и для выяснения конкретных механизмов взаимодействия растений и микроорганизмов необходимы дальнейшие исследования в условиях контролируемого эксперимента.

Список литературы

1. Гаврилов В. Г., Красовский Н. К., Михайлов И. Г., "Агротехника плодовых и ягодных культур". Л.: Изд-во "Сельхозгиз", 1956. 268 с.
2. ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО
3. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества
4. ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО
5. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособие/Под ред. Д. Г. Звягинцева. —М.: Изд-во МГУ, 1991.— 304 с.
7. De Leij F., Whipps J. M., Lynch J. M. The use of colony development for the characterization of bacterial communities in soil and on roots //Microbial ecology. – 1994. – Т. 27. – №. 1. – С. 81-97.
8. Eman, A. A., El-Monem, A., Saleh, M. M. S., & Mostafa, E. A. M. (2008). Minimizing the quantity of mineral nitrogen fertilizers on grapevine by using humic acid, organic and biofertilizers. *Res. J. Agric. Biol. Sci*, 4, 46-50.
9. Fallahi, E., Fallahi, B., & Seyedbagheri, M. M. (2006). Influence of humic substances and nitrogen on yield, fruit quality, and leaf mineral elements of 'Early Spur Rome' apple. *Journal of plant nutrition*, 29(10), 1819-1833.

10. Fathy, M. A., Gabr, M. A., & El Shall, S. A. (2010). Effect of humic acid treatments on 'Canino' apricot growth, yield and fruit quality. *New York Science Journal*, 3(12), 109-115.
11. Fernandez-Escobar, R., Benlloch, M., Barranco, D., Duenas, A., & Gañán, J. G. (1996). Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*, 66(3), 191-200.
12. Ferrara, G., & Brunetti, G. (2010). Effects of the times of application of a soil humic acid on berry quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) cv Italia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 817-822.
13. Ishikuri S., Hattori T. Analysis of colony forming curves of soil bacteria //Soil science and plant nutrition. – 1987. – Т. 33. – №. 3. – С. 355-362.
14. Rovira A. D. Plant root exudates //The Botanical Review. – 1969. – Т. 35. – №. 1. – С. 35-57.
15. Rui J., Peng J., Lu Y. Succession of bacterial populations during plant residue decomposition in rice field soil //Applied and environmental microbiology. – 2009. – Т. 75. – №. 14. – С. 4879-4886.
16. Rengrudkij, P., & Partida, G. J. (2003). The effects of humic acid and phosphoric acid on grafted Hass avocado on Mexican seedling rootstocks. In *Actas V Congreso Mundial del Aguacate* (pp. 395-400).

Spisok literatury

1. Gavrilov V. G., Krasovskij N. K., Mihajlov I. G., "Agrotehnika plodovyh i jagodnyh kul'tur". L.: Izd-vo "Sel'hozgid", 1956. 268 s.
2. GOST 26205-91 Pochvy. Opredelenie podvizhnyh soedinenij fosfora i kalija po metodu Machigina v modifikacii CINAO
3. GOST 26213-91 Pochvy. Metody opredelenija organicheskogo veshhestva
4. GOST 26489-85 Pochvy. Opredelenie obmennogo ammonija po metodu CINAO
5. GOST 26951-86 Pochvy. Opredelenie nitratov ionometricheskim metodom
6. Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii: Ucheb. posobie/Pod red. D. G. Zvjaginceva. —M.: Izd-vo MGU, 1991.— 304 s.
7. De Leij F., Whipps J. M., Lynch J. M. The use of colony development for the characterization of bacterial communities in soil and on roots //Microbial ecology. – 1994. – Т. 27. – №. 1. – S. 81-97.
8. Eman, A. A., El-Monem, A., Saleh, M. M. S., & Mostafa, E. A. M. (2008). Minimizing the quantity of mineral nitrogen fertilizers on grapevine by using humic acid, organic and biofertilizers. *Res. J. Agric. Biol. Sci*, 4, 46-50.
9. Fallahi, E., Fallahi, B., & Seyedbagheri, M. M. (2006). Influence of humic substances and nitrogen on yield, fruit quality, and leaf mineral elements of 'Early Spur Rome' apple. *Journal of plant nutrition*, 29(10), 1819-1833.

10. Fathy, M. A., Gabr, M. A., & El Shall, S. A. (2010). Effect of humic acid treatments on 'Canino' apricot growth, yield and fruit quality. *New York Science Journal*, 3(12), 109-115.
11. Fernandez-Escobar, R., Benlloch, M., Barranco, D., Duenas, A., & Gañán, J. G. (1996). Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*, 66(3), 191-200.
12. Ferrara, G., & Brunetti, G. (2010). Effects of the times of application of a soil humic acid on berry quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) cv Italia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 817-822.
13. Ishikuri S., Hattori T. Analysis of colony forming curves of soil bacteria // *Soil science and plant nutrition*. – 1987. – Т. 33. – №. 3. – S. 355-362.
14. Rovira A. D. Plant root exudates // *The Botanical Review*. – 1969. – Т. 35. – №. 1. – S. 35-57.
15. Rui J., Peng J., Lu Y. Succession of bacterial populations during plant residue decomposition in rice field soil // *Applied and environmental microbiology*. – 2009. – Т. 75. – №. 14. – S. 4879-4886.
16. Rengrudkij, P., & Partida, G. J. (2003). The effects of humic acid and phosphoric acid on grafted Hass avocado on Mexican seedling rootstocks. In *Actas V Congreso Mundial del Aguacate* (pp. 395-400).