

Бражникова Е.В.¹, Мукашева Т.Д.², Игнатова Л.В.³

¹PhD студент, e-mail: PoLB_4@mail.ru

²д.б.н., проф., кафедра биотехнологии, e-mail: Togzhan.Mukasheva@kaznu.kz

³к.б.н., доцент, и.о. профессора кафедры, e-mail: Lyudmila.Ignatova@kaznu.kz
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ КОМПЛЕКСОВ МИКРОМИЦЕТОВ В ПОЧВАХ АГРОЦЕНОЗОВ

Почвенные микромицеты присутствуют во всех биоценозах, они являются важным звеном детритных цепей и выполняют в экосистемах ряд ключевых функций: участие в процессах разложения органического вещества и круговоротах биогенных элементов, в процессах почвообразования, а также регуляции видовой структуры и функциональной активности других почвенных организмов. Несмотря на экологическую значимость почвенных микромицетов, они остаются недостаточно изученной группой организмов. Целью данной работы явилось исследование количественного состава комплексов микромицетов в почвах агроценозов. Основные направления исследования – определение численности мицелиальных грибов и дрожжей в почвах агроценозов зерновых и кормовых культур, проведение сравнительного анализа количественного состава микромицетов в некультивируемых (целинных) почвах и культивируемых почвах агроценозов, выявление особенностей и закономерностей распределения микобиоты в почвах под посевами сельскохозяйственных культур.

Научная и практическая значимость работы. Получены сведения о количественном составе и особенностях распределения микромицетов в целинной почве и почвах агроценозов 7 зерновых и кормовых культур: сои, ячменя, люцерны, рапса, сафлора, донника и эспарцета.

Методология исследования. Выделение микромицетов из почвенных образцов проводили методом посева разведений почвенной суспензии на элективные питательные среды. Количественный учет осуществляли путем подсчета выросших колоний с последующим пересчетом на 1 г почвы.

Основные результаты. Содержание мицелиальных грибов в почвах под посевами агрокультур варьировало в диапазоне от $(324,3 \pm 12,2) \times 10^3$ до $(647,5 \pm 22,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы, в целинной почве их количество не превышало $(312,4 \pm 11,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы. Численность дрожжей в культивируемых почвах была в пределах от $(64,6 \pm 2,1) \times 10^3$ до $(212,4 \pm 6,5) \times 10^3$ КОЕ /г почвы. В почвах под агрокультурами выявлено большее содержание микобиоты по сравнению с некультивируемой почвой. Установлено преобладание микромицетов в толще почвы верхних слоев (0-10 см) и убывание их количества по мере углубления в почву. Тип растительности оказывал незначительное влияние на количественный состав микромицетов. Максимальное число грибов было характерно для почв под посевами сои, люцерны и эспарцета; наибольшее количество дрожжей отмечено в почвенных образцах агроценоза люцерны. Показано обилие грибов и меньшее содержание дрожжей во всех исследуемых вариантах.

Ценность проведенного исследования. Работа вносит вклад в изучение распространенности почвенных микромицетов. Объем накопленных сведений о распространении микромицетов в почвах Казахстана на данный момент остается недостаточным, что определяет ценность проведенных исследований и полученных результатов о численности и особенностях распределения мицелиальных грибов и дрожжей в некультивируемой почве и почвах агроценозов агропромышленной фирмы «Турген».

Практическое значение итогов работы. Собрана коллекция сапрофитных почвенных микромицетов.

Ключевые слова: микромицеты, численность, почва, агроценоз.

Braznikova Y.V.¹, Mukasheva T.D.², Ignatova L.V.³

¹PhD student, e-mail: PoLB_4@mail.ru

²Doctor of Biological Sciences, Prof., Department of Biotechnology, e-mail: Togzhan.Mukasheva@kaznu.kz

³Candidate of Biological Sciences, associate professor, Department of Biotechnology, e-mail: Lyudmila.Ignatova@kaznu.kz
al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

The quantitative composition of the complexes of micromycetes in soils of agroecosystems

Soil micromycetes are present in all biocenoses, they are an important part of detrital chains and perform a number of key functions in ecosystems: participation in processes of decomposition of organic matter and nutrient cycling, in soil formation processes, and regulation of the species structure and functional activity of other soil organisms. Despite the ecological significance of soil micromycetes, they remain an insufficiently studied group of organisms.

The aim of this work was to study the quantitative composition of micromycete complexes in soils of agroecosystems. The main areas of research are the determination of the number of filamentous fungi and yeasts in soils of agroecosystems of grain and forage crops, the comparative analysis of the number of micromycetes in uncultivated (virgin) soils and cultivated soils of agroecosystems, the identification of the features and patterns of mycobiota distribution in soils under crops.

Scientific and practical significance of the work. Information has been obtained on the quantitative composition and distribution of micromycetes in virgin soil and in soils of agroecosystems of 7 grain and forage crops: soybean, barley, lucerne, rape, safflower, sweet clover and sainfoin.

Methodology of the study. Isolation of micromycetes from soil samples was carried out soil dilution plating technique on elective nutrient media. Quantitative counting was carried out by counting the grown colonies, followed by recalculation of 1 g soil.

Main results. The content of filamentous fungi in soils under agricultural crops varied in the range from $(324.3 \pm 12.2) \times 10^3$ to $(647.5 \pm 22.3) \times 10^3$ CFU/g of soil, in virgin soil their number did not exceed $(312.4 \pm 11.3) \times 10^3$ CFU/g soil. The number of yeast in cultivated soils was in the range from $(64.6 \pm 2.1) \times 10^3$ to $(212.4 \pm 6.5) \times 10^3$ CFU/g soil. A greater content of mycobiota was found in soils under agricultural crops in comparison with uncultivated soil. The prevalence of micromycetes in the soil of the upper layers (0-10 cm) and the decrease in their number with the deepening into the soil have been established. The vegetation type had a negligible effect on the quantitative composition of micromycetes. The maximum number of fungi was characteristic for soils under soybean, alfalfa and sainfoin; the greatest amount of yeasts is found in soil samples of alfalfa agroecosystem. The abundance of fungi and the smaller content of yeasts in all the investigated variants are shown.

The value of the study. The work contributes to the study of the prevalence of soil micromycetes. The volume of accumulated information on the distribution of micromycetes in soils in Kazakhstan at the moment remains insufficient, which determines the value of the studies and obtained results about the abundance and distribution of filamentous fungi and yeasts in uncultivated soil and agroecosystem soils of the agro-industrial firm «Turgen».

Practical significance of the results of the work. A collection of saprophytic soil micromycetes has been collected.

Key words: micromycetes, number, soil, agroecosystem.

Бразникова Е.В.¹, Мукашева Т.Д.², Игнатова Л.В.³

¹PhD студенті, e-mail: PoLB_4@mail.ru

²б.ғ.д., биотехнология кафедрасының профессоры, e-mail: Togzhan.Mukasheva@kaznu.kz

³б.ғ.к., доцент, биотехнология кафедрасының профессоры м.а., e-mail: Lyudmila.Ignatova@kaznu.kz
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

Агроценоз топырақтың микромицет құрамының жиынтық сандығы

Топырақ микромицеттері барлық биоценоздарда кездеседі, олар детритальды тізбектердің маңызды бөлігі болып табылады және экожүйелердің бірқатар негізгі функцияларын орындайды: органикалық заттардың ыдырауы мен қоректік процестерінің айналымына қатысуы, топырақтың құрылу үрдісінде және басқа топырақ ағзаларының түрлерінің құрылымын және функционалдық белсенділігін реттеу. Топырақ микромицеттерінің экологиялық маңыздылығына қарамастан, олар организмдердің жеткілікті зерттелмеген тобы болып қала береді.

Бұл жұмыстың мақсаты агроценоздар топырақтарында микромицет кешендерінің сандық құрамын зерттеу болды. Зерттеудің негізгі бағыттары: астық және жем-шөп дақылдарының агроценоздар топырақтарындағы саңырауқұлақтар мен ашытқылардың санын анықтау, өңделмеген (тазартылған) топырақтардағы микромицеттер санын және агроценоздың егістік топырақтарын салыстыру, ауылшаруашылық дақылдарының топырағында микобиотаттың бөліну ерекшеліктері мен үлгілерін анықтау.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңызы. Соя, арпа, люцерна, рапс, сафлора, тәтті жоңышқа және саинфиннің 7 астық және жем-шөп дақылдарының агроценозының топырақтарында микромицеттердің сандық құрамы мен таралуы туралы ақпарат алынды.

Зерттеудің әдістемесі. Топырақ үлгілерінен микромицеттерді оқшаулау топырақ суспензиясының элективті қоректік ортаға себу арқылы жүзеге асырылды. Сандық есептеулер өсірілген колонияларды санау арқылы жүргізілді, содан кейін 1 г топырақтың қайта есептелуі жүргізілді.

Басты нәтижесі. Дәнді дақылдардағы мицелиальдық саңырауқұлақтардың мөлшері $(324,3 \pm 12,2) \times 10^3$ ($647,5 \pm 22,3$) $\times 10^3$ КОЕ/г топырақты диапазонда өсірілді, олардың топырақ саны $(312,4 \pm 11,3) \times 10^3$ КОЕ/г топырақта. Егістірілген топырақтардағы ашытқы саны $(64,6 \pm 2,1) \times 10^3$ -ден $(212,4 \pm 6,5) \times 10^3$ КОЕ/г топырақта болды. Агродақылдарының астында топырақта мұқиятталмаған топыраққа қарағанда микобиотаның көп мөлшері табылған. Жоғарғы қабаттар топырағының (0-10 см) қалыңдығы микромицеттердің таралуы және олардың топыраққа терең енуімен азаюы анықталды. Өсімдіктердің түрі микромицеттердің сандық құрамына елеусіз әсер етті. Саңырауқұлақтардың ең көп саны соя, жоңышқа және саинфиннің астында орналасқан топыраққа тән; ашытқылардың ең көп мөлшері жоңышқа агроценозының топырақ үлгілерінде кездеседі. Зерттелген барлық нұсқаларда саңырауқұлақтардың көптігі мен ашытқы мөлшері аз.

Зерттеудің мәні. Бұл жұмыс топырақ микромицеттерінің таралуын зерттеуге ықпал етеді. Деректер «Турген» агроөнеркәсіптік фирмасының ауланбаған топырақ пен агроценозды топырақтарында саңырауқұлақтар мен ашытқылардың молдығына және бөлінуіне байланысты. Қазақстандағы топырақтағы микромицеттердің таралуы туралы жинақталған ақпараттар көлемі қазіргі уақытта жеткіліксіз болып келеді, бұл зерттеулердің нәтижелерін және алынған нәтижелерді анықтайды.

Практикалық маңызы, қорытындылар. Сапрофит топырағы микромицет жиынтығы жиналды.

Түйін сөздер: микромицеттер, саны, топырақ, агроценоз.

Введение

Микромицеты представляют собой неотъемлемый компонент естественных и антропогенных наземных и водных биоценозов. Они являются важным звеном детритных цепей и выполняют в экосистемах ряд ключевых функций: участие в разложении органического вещества и круговоротах биогенных элементов, в процессах почвообразования, а также регуляции видовой структуры и функциональной активности других почвенных организмов (Thorn, 2000; Carlile, 2001; Марфенина, 2005; Bridge, 2001; Taylor, 2015; Pointing, 2012; Wilson, 2009).

В процессе своего существования почвенные микромицеты испытывают воздействие целого комплекса природных абиотических, биотических, а также антропогенных и техногенных факторов (Vieira, 2005; Taylor, 2015; Марфенина, 2005, Bridge, 2001). Под влиянием антропогенных факторов (обработка почвы, внесение органических и минеральных удобрений, полив, создание агроценозов, введение севооборотов) состав почвенной микобиоты значительно меняется (Frey, 1999; Sveshnikova, 2001).

Несмотря на экологическую значимость почвенных микромицетов, они остаются недостаточно изученной группой организмов. В экологии почвенных грибов остается много неисследованных вопросов, что определяет ак-

туальность представленной работы. Определение численности микромицетов и изменение количества микофлоры в зависимости от типа растительности, агроиспользования и других факторов является важным вопросом экологии почвенных микроорганизмов, связанным с изучением функционирования наземных экосистем. Изучение почвенной микобиоты агроценозов играет большую роль в оптимизации и рационализации систем земледелия, методов защиты растений и способов возделывания культурных растений.

Целью данной работы явилось исследование количественного состава комплексов микромицетов в почвах агроценозов. Основные направления исследования – определение численности мицелиальных грибов и дрожжей в почвах агроценозов зерновых и кормовых культур, проведение сравнительного анализа количественного состава микромицетов в некультивируемых (целинных) почвах и культивируемых почвах агроценозов, выявление особенностей и закономерностей распределения микобиоты в почвах под посевами сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования служили почвенные образцы целинной темно-каштановой почвы, а также темно-каштановая почва агроцено-

зов 7 зерновых и кормовых культур: сои, ячменя, люцерны, рапса, сафлора, донника и эспарцета. Место отбора проб: Алматинская обл., частная агропромышленная фирма «Турген».

Взятие средней почвенной пробы. С участка площадью 100 м² брали пробу из трех точек. Пробы отбирали стерильными инструментами (буром, лопатой и ножом) с глубины 0-10, 10-20 и 20-30 см, снимая верхний слой толщиной 2 см. Среднюю почвенную пробу получали смешиванием отдельных образцов. Почвенные образцы анализировали в первые сутки. Для придания среднему образцу большей однородности, соблюдая все условия асептики, тщательно перемешивали почву, вынимали корни растений, различные включения (Alef, 1995; Кураков, 2001).

Выделение микромицетов из почвенных образцов проводили методом посева разведений почвенной суспензии на элективные питательные среды. Посевы инкубировали при температуре 25 °С в течение 2-3 недель. Для выделения мицелиальных грибов и дрожжей использовали питательные среды Сабуро, Чапека и Эшби (Alef, 1995; Кураков, 2001; Звягинцев, 1991).

Количественный учет микромицетов осуществляли путем подсчета выросших колоний. Численность жизнеспособных клеток микроорганизмов выражали количеством колониеобразующих единиц (КОЕ) с последующим пересчетом на 1 г почвы (Alef, 1995; Кураков, 2001; Звягинцев, 1991).

Обзор литературы

Микромицеты являются постоянным функционально значимым компонентом почвенной биоты (Bridge, 2001; Willis, 2013; Марфенина, 2005). Грибы принимают участие в важнейших почвообразующих процессах, главным образом, в деструкции органических веществ, а также в различных процессах биогеохимической трансформации минеральных элементов. Почвенные микромицеты создают существенные запасы биомассы, содержащей высокие концентрации К, S, P и т.д. Вследствие тесного взаимодействия с растениями в почве грибы образуют микоризу и участвуют в формировании ризосферы. Одна из ключевых ролей грибов заключается в формировании физико-химических свойств почв: создании почвенной структуры, в синтезе специфических гумусовых веществ, во влиянии на обмен ионов в почве, на ее водоудерживающую способность и т.д. Почвенные грибы оказывают воздействие не только на растения, но и на дру-

гие организмы в наземных экосистемах за счет продукции физиологически активных веществ. Микромицеты являются важнейшими звеньями пищевых цепей и наиболее важны как пища для почвенных беспозвоночных животных (Carlile, 2001; Марфенина, 2005; Bridge, 2001; Taylor, 2015; Pointing, 2012; Wilson, 2009).

Известно, что численность микобиоты в почве, как и других групп микроорганизмов, постоянно изменяется. Однако в любом почвенном покрове существует определенный естественный уровень численности микромицетов, который рассматривается в качестве пула микофлоры почвы, находящегося в состоянии поддержания. Величина пула определяется свойствами почвы, а также обуславливается различными факторами среды (Vieira, 2005; Taylor, 2015; Марфенина, 2005; Bridge, 2001).

Численность и распределение микромицетов в почвах зависит от многочисленных географических и экологических факторов – типа почвы, почвообразовательных процессов, климатических условий, характера растительности и т. д., а также от биологических особенностей грибов, а именно от их способности к заселению и использованию субстрата (Yang, 2010; Erland, 2002; Kivlin, 2011).

Такие факторы среды как pH (Joergensen, 2008; Rousk, 2009), содержание органического углерода в почве (Bailey, 2002), доступность Ni P (Nouri, 2014; Fierer, 2009), практика землепользования (Frey, 1999; Sveshnikova, 2001) и многие другие определяют численность и обуславливают особенности распределения микромицетов в почве. Формирование сообществ почвенных микромицетов соотносится во многом с водно-температурным режимом (Zhang, 2014; Lekberg, 2008).

Тип и состояние растительного покрова оказывают непосредственное воздействие на микроорганизмы прикорневой зоны (Miethling, 2000; Buyer, 2002; Reynolds, 2003; Bever, 2010). Многочисленные исследования демонстрируют зависимость численности микобиоты от горизонта почвы. Отдельные почвы существенно различаются по глубине их микробиологического профиля. Показано, что наиболее богаты *микроорганизмами* поверхностные слои почв (Fiera, 2003; Jumpponen, 2010; Oehl, 2005; Shukla, 2013; Anderson, 2017).

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе изучения количественного состава почвенной микобиоты агроценозов зерновых

и кормовых культур выявлено, что численность мицелиальных грибов колебалась в диапазоне от $(223,5 \pm 9,4) \times 10^3$ до $(647,5 \pm 22,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы. Содержание дрожжей в исследуемых почвенных образцах было в пределах от $(55,1 \pm 1,5) \times 10^3$ до $(212,4 \pm 6,5) \times 10^3$ КОЕ/г почвы (таблицы 1, 2).

В проведенных исследованиях был выявлен ряд особенностей и закономерностей распределения микромицетов под посевами сельскохозяйственных культур.

На численность и разнообразие микобиоты значительное влияние оказывает степень окультуренности почвы и способ ее обработки. Это обуславливается тем, что применение различных агротехнологий влияет на почвенное плодородие, изменяет плотность, воздушный и тепловой режим почвы (Freu, 1999; Sveshnikova, 2001; Марфенина, 2005). В проведенных исследованиях были выявлены различия в количественном содержании микромицетов в культивируемых и некультивируемых почвах, выражающиеся в бо-

лее активном развитии микромицетов в почвах под агрокультурами (таблицы 1, 2).

В почвенных образцах агроценозов зерновых и кормовых культур, и в особенности в прикорневой зоне, отмечено большее содержание микромицетов по сравнению с целинной почвой. Так, например, количество дрожжевых организмов в целинных почвах было в пределах от $(55,1 \pm 1,5) \times 10^3$ до $(93,2 \pm 3,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы, в то время как практически во всех почвенных образцах агроценозов их численность была на порядок выше и достигала $(212,4 \pm 6,5) \times 10^3$ КОЕ/г почвы (таблица 2). Аналогичные результаты получены и при учете мицелиальных грибов, количество которых было выше в культивируемых почвах по сравнению с некультивируемыми (таблица 1). Таким образом, окультуривание почвы, являющееся одним из способов антропогенного воздействия и включающее в себя распашку, полив, внесение удобрений и другие агротехнические приемы, вызывает существенные изменения в количественном составе комплексов микромицетов.

Таблица 1 – Численность мицелиальных грибов в почвенных образцах ($\times 10^3$ КОЕ/г почвы)

Варианты почвенных образцов	Глубина отбора почвенной пробы, см		
	0-10	10-20	20-30
Некультивируемая почва	312,4±11,3	259,7±8,6	223,5±9,4
Агроценоз сои	611,5±19,1	573,8±17,8	507,4±16,1
Агроценоз ячменя	481,5±15,6	418,6±12,2	344,3±14,2
Агроценоз люцерны	647,5±22,3	559,8±21,8	500,4±18,1
Агроценоз рапса	441,5±17,6	398,6±13,2	324,3±12,2
Агроценоз сафлора	520,9±18,2	476,8±18,1	423,2±17,4
Агроценоз донника	513,4±11,8	487,4±17,1	431,2±16,3
Агроценоз эспарцета	604,2±20,1	544,8±15,6	494,6±14,3

Таблица 2 – Численность дрожжевых организмов в почвенных образцах ($\times 10^3$ КОЕ/г почвы)

Варианты почвенных образцов	Глубина отбора почвенной пробы, см		
	0-10	10-20	20-30
Некультивируемая почва	93,2±3,3	70,2±2,1	55,1±1,5
Агроценоз сои	190,4±2,1	139,2±6,4	104,4±3,1
Агроценоз ячменя	137,4±6,1	105,4±3,3	81,5±2,4
Агроценоз люцерны	212,4±6,5	159,4±6,2	122,8±4,3
Агроценоз рапса	120,3±4,6	98,3±2,4	73,3±2,2
Агроценоз сафлора	188,2±7,2	153,5±6,1	104,1±4,4
Агроценоз донника	113,8±4,3	83,5±3,3	64,6±2,1
Агроценоз эспарцета	147,1±6,3	102,4±4,3	89,8±3,2

Показано, что в исследуемых образцах численность микромицетов плавно снижалась по профилю почвы в направлении от поверхностных слоев к более глубоким, но оставалась достаточно высокой и определялась числами одного порядка практически для всех вариантов (таблица 1, 2). Наибольшее количество мицелиальных грибов и дрожжей обнаруживалось в поверхностном слое толщиной 0-10 см. Это объясняется тем, что в данном слое имеются более благоприятные условия влажности и аэрации, протекают основные биохимические процессы превращения органического вещества, необходимого для жизнедеятельности разнообразных микроорганизмов. В слое толщиной 10-20 см отмечено снижение количества микромицетов. Для горизонта 20-30 см характерно значительное уменьшение числа грибов и дрожжевых организмов, что связано с обеднением нижерасположенных слоев почвы органическим веществом, а также уплотнением почвы и ухудшением аэрации. Так, например, количество дрожжевых организмов, выявленных в поверхностном слое почвы толщиной 0-10 см агроценоза ячменя, составило $(137,4 \pm 6,1) \times 10^3$ КОЕ/г; с увеличением глубины их численность убывала и составила лишь $(81,5 \pm 2,4) \times 10^3$ КОЕ/г в почвенном образце, отобранном на глубине 20-30 см (таблица 2). Таким образом, на основании проведенных исследований установлено преобладание микромицетов в толще почвы верхних слоев и убывание их количества по мере углубления в почву, что согласуется с результатами исследований, проведенными другими авторами (Fierera, 2003; Jumpponen, 2010; Oehl, 2005; Shukla, 2013; Anderson, 2017).

В корневых экссудатах растений содержится значительное количество биологически активных веществ, которые служат источниками питания для почвенной микрофлоры. Корневые выделения кормовых и овощных культур богаты сахарами. Злаковые культуры выделяют много органических кислот, таких как уксусная, щавелевая, яблочная и лимонная, подкисляющих почвенный раствор. Корневые выделения бобовых содержат много нейтральных аминокислот, вследствие чего почва становится менее кислой (Miethling, 2000; Buyer, 2002; Reynolds, 2003; Bever, 2010; Мирчинк, 1988). Было показано, что тип растительности оказывал незначительное влияние на количество микромицетов. Численность мицелиальных грибов колебалась в пределах от $(324,3 \pm 12,2) \times 10^3$ до $(647,5 \pm 22,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы в зависимости от глубины отбора

почвенной пробы. Максимальное число грибов было характерно для почв под посевами сои, люцерны и эспарцета. Различия в численности дрожжей в зависимости от вида растения так же были незначительны. При сравнительном анализе количественного состава дрожжей в целинных почвах и почвах агроценозов было выявлено, что численность дрожжей была выше в культивируемых почвах и варьировала в пределах от $(64,6 \pm 2,1) \times 10^3$ до $(212,4 \pm 6,5) \times 10^3$ КОЕ /г почвы. Наибольшее число дрожжей было отмечено в почвенных образцах агроценоза люцерны. Наименьшей заселенностью дрожжами характеризовались почвы агроценозов донника и рапса, где их количество не превышало $(120,3 \pm 4,6) \times 10^3$ КОЕ/г почвы (таблица 2).

Еще одной характерной особенностью распространения микромицетов являлось преобладание грибов и значительно меньшее содержание дрожжевых организмов во всех исследуемых вариантах. Показано, например, что количество мицелиальных грибов в почвенном образце слоя 10-20 см агроценоза рапса составляло $(398,6 \pm 13,2) \times 10^3$ КОЕ/г почвы, в то время как дрожжей было на порядок меньше – $(98,3 \pm 2,4) \times 10^3$ КОЕ/г почвы (таблицы 1, 2).

Выводы

Изучен количественный состав комплексов микромицетов в почвах агроценозов 7 зерновых и кормовых культур: сои, ячменя, люцерны, рапса, сафлора, донника и эспарцета.

Содержание мицелиальных грибов в почвах под посевами сельскохозяйственных культур варьировало в диапазоне от $(324,3 \pm 12,2) \times 10^3$ до $(647,5 \pm 22,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы, в целинной почве их количество не превышало $(312,4 \pm 11,3) \times 10^3$ КОЕ/г почвы. Численность дрожжей в исследуемых почвах была в пределах от $(55,1 \pm 1,5) \times 10^3$ до $(212,4 \pm 6,5) \times 10^3$ КОЕ /г почвы.

При проведении сравнительного анализа количественного состава микромицетов в некультивируемых (целинных) почвах и культивируемых почвах агроценозов выявлено, что в почвах под посевами агрокультур содержание микобиоты больше по сравнению с целинными землями.

Выявлен ряд особенностей и закономерностей распределения микромицетов в почвах под посевами сельскохозяйственных культур. Так, установлено преобладание микромицетов в толще почвы верхних слоев (0-10 см) и убывание их количества по мере углубления в почву. Тип

растительности оказывал незначительное влияние на количественный состав микромицетов. Максимальное число грибов было характерно для почв под посевами сои, люцерны и эспар-

цета; наибольшее количество дрожжей отмечено в почвенных образцах агроценоза люцерны. Показано обилие грибов и меньшее содержание дрожжей во всех исследуемых вариантах.

Литература

- 1 Alef, K. and P. Nannipieri, eds., *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. – London: Academic Press; 1995.
- 2 Anderson, C., Beare, M., Buckley, H.L., Lear, G. «Bacterial and fungal communities respond differently to varying tillage depth in agricultural soils.» *Peer J.* (2017): e3930. doi: 10.7717/peerj.3930
- 3 Bailey, V.L., Smith, J.L., Bolton, H. Jr. «Fungal-to-bacterial biomass ratios in soils investigated for enhanced carbon sequestration.» *Soil Biol. Biochem.* 34 (2002): 997–1007. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00033-0.
- 4 Bever, J.D., Dickie, I.A., Facelli, E., Facelli, J.M., Klironomos, J., Moora, M., Rillig, M.C., Stock, W.D., Tibbett, M., Zobel, M. «Rooting theories of plant community ecology in microbial Interactions.» *Trends Ecol. Evol.* 25 (2010): 468–78. doi:10.1016/j.tree.2010.05.004.
- 5 Bridge, P., Spooner, B. «Soil fungi: diversity and detection.» *Plant and Soil* 232 (2001): 147-54. doi.org/10.1023/A:1010346305799.
- 6 Buyer, J.S., Roberts, D.P., Russek-Cohen, E. «Soil and plant effects on microbial community structure.» *Can. J. Microbiol.* 48 (2002): 955–64.
- 7 Carlile, M.J., Watkinson, S.C. *The Fungi*. London: Academic press, 2001.
- 8 Cox, F., Barsoum, N., Lilleskov, E.A., Bidartondo, M.I. «Nitrogen availability is a primary determinant of conifer mycorrhizas across complex environmental gradients.» *Ecol. Lett.* 13 (2010):1103–13. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01494.x
- 9 Erland, Susanne, and A. F. S. Taylor. «Diversity of ecto-mycorrhizal fungal communities in relation to the abiotic environment.» In *Mycorrhizal ecology. Ecological studies*, edited by M. G. A. van der Heijden, and I. Sanders, 163-200. Berlin: Springer, Heidelberg, 2002
- 10 Fierer, N., Schimela, J.P., Holden, P.A. «Variations in microbial community composition through two soil depth profiles.» *Soil Biol. Biochem.* 35 (2003): 167–76. doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00251-1
- 11 Fierer, N., Strickland, M.S., Liptzin, D., Bradford, M.A., Cleveland, C.C. «Global patterns in below ground communities.» *Ecol. Lett.* 12 (2009):1238–49. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01360.x
- 12 Frey, S.D., Elliot, E.T., Paustian, K. «Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients.» *Soil Biol. Biochem.* 31 (1999): 573–85. doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00161-8.
- 13 Joergensen, R.G., Wichern, F. «Quantitative assessment of the fungal contribution to microbial tissue in soil.» *Soil Biol. Biochem.* 40 (2008): 2977–91. doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.08.017.
- 14 Jumpponen, Ari, Jones, Kenneth L., Blair, John «Vertical distribution of fungal communities in tallgrass prairie soil.» *Mycologia* 102(2010): 1027-41. doi: 10.3852/09-316.
- 15 Kivlin, S. N., Hawkes, C. V., and Treseder, K. K. «Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi.» *Soil Biol. Biochem.* 43 (2011): 2294–303. doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.012.
- 16 Lekberg, Y., Koide, R.T. «Effect of soil moisture and temperature during fallow on survival of contrasting isolates of arbuscular mycorrhizal fungi.» *Botany* 86 (2008):1117-24. doi.org/10.1139/B08-077.
- 17 Miethling, R., Wieland, G., Backhaus, H., Tebbe, C.C. «Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin, and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L 33.» *Microb. Ecol.* 40 (2000): 43–56. doi: 10.1007/s002480000021.
- 18 Nouri, E, Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., Reinhardt, D. «Phosphorus and Nitrogen Regulate Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in *Petunia* hybrid.» *PLoS One* 9 (2014):e90841. doi.org/10.1371/journal.pone.0090841.
- 19 Oehl, F, Sieverding, E., Ineichen, K., Ris, E-A., Boller, T., Wiemken A. «Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems.» *New Phytologist* 165 (2005): 273–83. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01235.x.
- 20 Pointing, Stephen B., Belnap J. «Microbial colonization and controls in dryland systems.» *Nat. Rev. Microbiol.* 10 (2012): 551–62. doi: 10.1038/nrmicro2831
- 21 Reynolds, H.L., Packer, A., Bever, J.D., Clay, K. «Grassroots ecology: plant-microbe-soil interactions as drivers of plant community structure and dynamics.» *Ecology* 84 (2003): 2281–91. doi: 10.1890/02-0298.
- 22 Rousk, J., Brookes, P.C., Baath, E. «Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization.» *Appl. Environ. Microbiol.* 75 (2009):1589–96. doi: 10.1128/AEM.02775-08.
- 23 Shukla, A., Vyas, D., Anuradha, Jha «Soil depth: an overriding factor for distribution of arbuscular mycorrhizal fungi.» *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(2013): 23-33.
- 24 Sveshnikova, A.A., Polyanskaya, L.M. Lukin, S.M. «The effect of tillage and mesorelief on the structure of soil microbial cenoses.» *Microbiology* 70 (2001): 484-91.
- 25 Taylor, L.D., Sinsabaugh, R. L. «The Soil Fungi: Occurrence, Phylogeny, and Ecology.» In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, edited by Eldor A. Paul, 77-109. Academic Press, 2015.
- 26 Vieira, F.C.S., Nahas, E. «Comparison of microbial numbers in soils by using various culture media and temperatures.»

Microbiol. Res. 160 (2005): 197-202. doi.org/10.1016/j.micres.2005.01.004.

27 Willis, A., Rodrigues, B., Harris, P. «The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi.» Crit. Rev. Plant Sci. 32 (2013): 1–20. doi.org/10.1080/07352689.2012.683375.

28 Wilson, G.W., Rice, C.W., Rillig, M.C., Springer, A., and Hartnett, D.C. «Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments.» Ecol. Lett. 12 (2009): 452–61. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01303.x.

29 Yang, F.Y., Li, G.Z., Zhang, D.E., Christie, P., Li, X.L., Gai, J.P. «Geographical and plant genotype effects on the formation of arbuscular mycorrhiza in *Avena sativa* and *Avena nuda* at different soil depths.» Biol. Fert. Soils 46 (2010): 435–443. doi: 10.1007/s00374-010-0450-3.

30 Zhang, X.F., Zhao, L., Xu Jr, S.J., Liu, Y.Z., Liu, H.Y., Cheng, G.D. «Soil moisture effect on bacterial and fungal community in Beilu River (Tibetan Plateau) permafrost soils with different vegetation types.» J. Appl. Microbiol. 114 (2012): 1054–65. doi: 10.1111/jam.12106.

31 Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии – М.: МГУ, 1991. – 304 с.

32 Кураков А.В. Методы выделения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 92 с.

33 Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. – М.: Медицина для всех, 2005. – 196 с.

34 Мирчинк Г. Т. Почвенная микология. – М.: МГУ, 1988. – 224 с.

References

1 Alef, K. and P. Nannipieri, eds., Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. London: Academic Press; 1995.

2 Anderson, C., Beare, M., Buckley, H.L., Lear, G. «Bacterial and fungal communities respond differently to varying tillage depth in agricultural soils.» Peer J. (2017): e3930. doi: 10.7717/peerj.3930

3 Bailey, V.L., Smith, J.L., Bolton, H. Jr. «Fungal-to-bacterial biomass ratios in soils investigated for enhanced carbon sequestration.» Soil Biol. Biochem. 34 (2002): 997–1007. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00033-0.

4 Bever, J.D., Dickie, I.A., Facelli, E., Facelli, J.M., Klironomos, J., Moora, M., Rillig, M.C., Stock, W.D., Tibbett, M., Zobel, M. «Rooting theories of plant community ecology in microbial Interactions.» Trends Ecol. Evol. 25 (2010): 468–78. doi:10.1016/j.tree.2010.05.004.

5 Bridge, P., Spooner, B. «Soil fungi: diversity and detection.» Plant and Soil 232 (2001): 147–54. doi.org/10.1023/A:1010346305799.

6 Buyer, J.S., Roberts, D.P., Russek-Cohen, E. «Soil and plant effects on microbial community structure.» Can. J. Microbiol. 48 (2002): 955–64.

7 Carlile, M.J., Watkinson, S.C. The Fungi. London: Academic press, 2001.

8 Cox, F., Barsoum, N., Lilleskov, E.A., Bidartondo, M.I. «Nitrogen availability is a primary determinant of conifer mycorrhizas across complex environmental gradients.» Ecol. Lett. 13 (2010): 1103–13. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01494.x

9 Erland, Susanne, and A. F. S. Taylor. «Diversity of ecto-mycorrhizal fungal communities in relation to the abiotic environment.» In Mycorrhizal ecology. Ecological studies, edited by M. G. A. van der Heijden, and I. Sanders, 163–200. Berlin: Springer, Heidelberg, 2002

10 Fierer, N., Schimela, J.P., Holden, P.A. «Variations in microbial community composition through two soil depth profiles.» Soil Biol. Biochem. 35 (2003): 167–76. doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00251-1

11 Fierer, N., Strickland, M.S., Liptzin, D., Bradford, M.A., Cleveland, C.C. «Global patterns in below ground communities.» Ecol. Lett. 12 (2009): 1238–49. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01360.x

12 Frey, S.D., Elliot, E.T., Paustian, K. «Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients.» Soil Biol. Biochem. 31 (1999): 573–85. doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00161-8.

13 Joergensen, R.G., Wichern, F. «Quantitative assessment of the fungal contribution to microbial tissue in soil.» Soil Biol. Biochem. 40 (2008): 2977–91. doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.08.017.

14 Jumpponen, Ari, Jones, Kenneth L., Blair, John «Vertical distribution of fungal communities in tallgrass prairie soil.» Mycologia 102(2010): 1027–41. doi: 10.3852/09-316.

15 Kivlin, S. N., Hawkes, C. V., and Treseder, K. K. «Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi.» Soil Biol. Biochem. 43 (2011): 2294–303. doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.012.

16 Kurakov A.V. (2001) Metody vyideleniya i harakteristiki kompleksov mikroskopicheskikh gribov nazemnykh ekosistem [Methods of isolation and characteristics of complexes of microscopic fungi of terrestrial ecosystems]. – Moscow: MAKS Press. – 92 p.

17 Lekberg, Y., Koide, R.T. «Effect of soil moisture and temperature during fallow on survival of contrasting isolates of arbuscular mycorrhizal fungi.» Botany 86 (2008): 1117–24. doi.org/10.1139/B08-077.

18 Marfenina O.E. (2005) Antropogennaya ekologiya pochvennykh gribov [Anthropogenic ecology of soil fungi]. – Moscow: Meditsina dlya vseh. – 196 p.

19 Miethling, R., Wieland, G., Backhaus, H., Tebbe, C.C. «Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin, and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L 33.» Microb. Ecol. 40 (2000): 43–56. doi: 10.1007/s002480000021.

20 Mirchin G.T. (1998) Pochvennaya mikologiya [Soil mycology]. – Moscow: MSU. – 224 p.

21 Nouri, E, Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., Reinhardt, D. «Phosphorus and Nitrogen Regulate Arbuscular Mycorrhizal Sym-

biosis in *Petunia* hybrid.» PLoS One 9 (2014):e90841. doi.org/10.1371/journal.pone.0090841.

22 Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Ris, E.-A., Boller, T., Wiemken A. «Community structure of arbuscularmycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems.» *New Phytologist* 165 (2005): 273–83. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01235.x.

23 Pointing, Stephen B., Belnap J. «Microbial colonization and controls in dryland systems.» *Nat. Rev. Microbiol.* 10 (2012): 551–62. doi: 10.1038/nrmicro2831

24 Reynolds, H.L., Packer, A., Bever, J.D., Clay, K. «Grassroots ecology: plant-microbe-soil interactions as drivers of plant community structure and dynamics.» *Ecology* 84 (2003): 2281–91. doi: 10.1890/02-0298.

25 Rousk, J., Brookes, P.C., Baath, E. «Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization.» *Appl. Environ. Microbiol.* 75 (2009): 1589–96. doi: 10.1128/AEM.02775-08.

26 Shukla, A., Vyas, D., Anuradha, Jha «Soil depth: an overriding factor for distribution of arbuscular mycorrhizal fungi.» *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(2013): 23-33.

27 Sveshnikova, A.A., Polyanskaya, L.M. Lukin, S.M. «The effect of tillage and mesorelief on the structure of soil microbial cenoses.» *Microbiology* 70 (2001): 484-91.

28 Taylor, L.D., Sinsabaugh, R.L. «The Soil Fungi: Occurrence, Phylogeny, and Ecology.» In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, edited by Eldor A. Paul, 77-109. Academic Press, 2015.

29 Vieira, F.C.S., Nahas, E. «Comparison of microbial numbers in soils by using various culture media and temperatures.» *Microbiol.Res.* 160 (2005): 197-202. doi.org/10.1016/j.micres.2005.01.004.

30 Willis, A., Rodrigues, B., Harris, P. «The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi.» *Crit. Rev.Plant Sci.* 32 (2013): 1–20. doi.org/10.1080/07352689.2012.683375.

31 Wilson, G.W., Rice, C.W., Rillig, M.C., Springer, A., and Hartnett, D.C. «Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments.» *Ecol. Lett.* 12 (2009): 452–61. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01303.x.

32 Yang, F.Y., Li, G.Z., Zhang, D.E., Christie, P., Li, X.L., Gai, J.P. «Geographical and plant genotype effects on the formation of arbuscular mycorrhiza in *Avena sativa* and *Avena nuda* at different soil depths.» *Biol Fertil Soils* 46 (2010): 435-443. doi: 10.1007/s00374-010-0450-3.

33 Zhang, X.F., Zhao, L., Xu Jr, S.J., Liu, Y.Z., Liu, H.Y., Cheng, G.D. «Soil moisture effect on bacterial and fungal community in Beilu River (Tibetan Plateau) permafrost soils with different vegetation types.» *J. Appl. Microbiol.* 114 (2012): 1054- 65. doi: 10.1111/jam.12106.

34 Zvyagintsev D.G. (1991) *Metodyi pochvennoy mikrobiologii i biohimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. – Moscow: MSU. – 304 p.