



УДК 631.461:579.873

В. Н. Гришко, О. В. Сыщикова, Г. М. Зенова, И. Ю. Чернов

**Особенности структурной организации сообществ
мицелиальных актинобактерий в природных почвах
Украины и России**

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины Г. А. Иутинской)

*В генетических горизонтах черноземов доля актиномицетов в микробоценозе составляет 30% общего количества микроорганизмов. В черноземах обыкновенном и южном доминируют *S. violaceomaculatus* (секция *Roseus*), *S. sporotherbeus* (секция *Azureus*), *S. aerionidulus* (секция *Cinereus*), *S. enduracidicus* (секция *Cinereus*) и *S. griseus* (секция *Cinereus*). В черноземе типичном обнаруживаются также актиномицеты родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium*. Представители рода *Streptosporangium* в черноземах типичных составляют минорный компонент. В черноземе обыкновенном значения индекса Бергера–Паркера или видовое разнообразие сообщества в 1,5 раза больше, чем в черноземе южном. Отмечено высокое подобие сообществ стрептомицетов этих черноземных почв (коэффициент Серенсена 0,78).*

Микробные системы играют важную роль в биогеоценозах. Они во многом определяют потоки энергии в круговороте веществ и являются ключевым компонентом почвы, обеспечивающим интенсивность ее биологических процессов, связанных с трансформацией органического вещества и циклом питательных элементов. Важнейшей микробиологической характеристикой любой почвы является общая численность и структура микробного сообщества. Анализ особенностей функционирования почвенных микроорганизмов в естественных экосистемах позволяет определить причины происходящих в них изменений и наметить пути их регулирования [1–3]. Особую актуальность в этой связи приобретают исследования структуры сообщества мицелиальных актинобактерий черноземов, так как показано, что разные подтипы черноземов отличаются количественным составом микроорганизмов, в том числе актиномицетов, однако на сегодня не охарактеризованы соотношения таксономических групп актиномицетов в сообществе [4, 5].

Поэтому наша цель состояла в изучении изменений численности и структуры почвенного актиномицетного комплекса черноземов обыкновенного, южного и типичного по всему профилю исследуемых почв.

© В. Н. Гришко, О. В. Сыщикова, Г. М. Зенова, И. Ю. Чернов, 2014

Объектами исследований были чернозем обыкновенный маломощный — суглинистый участок балки Власова пгт Петрово Долинского района Кировоградской области, чернозем южный солонцеватый среднемощный, расположенный в балке Свистунова г. Кривой Рог, чернозем типичный (Курский государственный заповедник). Образцы отбирали из разных горизонтов почвенных разрезов на глубине 0–5; 5–10; 10–25; 25–30; 30–40; 40–50; 50–60; 60–70 и 70–90 см. Анализировали средний почвенный образец, который составляется смешиванием пяти индивидуальных проб массой по 100–200 г [6]. Посев почвенной суспензии проводили на крахмало-аммиачный агар (КАА) для определения общей численности амилотических микроорганизмов (бактерий, грибов и актиномицетов) и для выделения актиномицетов. Подсчет колоний проводили на 7–10-е сутки. Идентификацию актиномицетов рода *Streptomyces* осуществляли по определителю актиномицетов Г. Ф. Гаузе [7], описанию видов актиномицетов рода *Streptomyces* и компьютерной программе их идентификации [8]. Для определения структуры сообщества стрептомицетов использовали общепринятые в экологии информативные критерии: выравненность сообщества или меру доминирования вида оценивали с помощью индекса Бергера–Паркера, видовое богатство — по индексу Маргалефа, а сходство сообществ актиномицетов различных почв — по коэффициенту Серенсена [5, 9].

Выявлены особенности изменений общей численности микроорганизмов и структуры актиномицетного комплекса. В органо-гумусовом горизонте (слой почвы 0–5 см) чернозема обыкновенного общее количество амилотических микроорганизмов на КАА составляет 17,9, а актиномицетов — 3,6 млн/г почвы, в гумусово-аккумулятивном горизонте (0–30 см) — 16,3 и 5,1 млн/г почвы соответственно. В черноземе южном (гумусово-аккумулятивный горизонт 0–25 см) общая численность микроорганизмов уменьшалась на 58%, а количество актиномицетов — в 1,2 раза в сравнении с соответствующим горизонтом чернозема обыкновенного, но их доля в микробоценозе составляет 30% общего числа амилотических микроорганизмов (рис. 1).

В нижележащих почвенных горизонтах черноземов установлено уменьшение численности микробиоты [10–12]. В черноземе обыкновенном в горизонтах АВ и В_{Ca} (30–50 см и 50–60 см) общая численность микроорганизмов была в 2,4 раза меньше, чем в соответствующих верхних почвенных горизонтах, а количество актиномицетов снижалось в 1,7 раза (см. рис. 1). Сходные результаты получены и для чернозема южного: в горизонте АВ_{сн} (25–40 см) общее количество микроорганизмов составляет 4,8 млн/г почвы, что в 3 раза меньше, чем в гумусово-аккумулятивном, а доля актиномицетов — 29% общего количества амилотических микроорганизмов.

При уменьшении количества доступных для микроорганизмов основных биогенных элементов в переходном гумусово-аккумулятивном генетическом горизонте с преобладанием материнской породы общая численность микроорганизмов снижается в 4,2 и 1,7 раза в сравнении с двумя верхними почвенными горизонтами (А и АВ) соответственно. Аналогичная тенденция отмечена и для актиномицетов, количество которых было меньшим в 2–3 раза по сравнению с горизонтами А и АВ (см. рис. 1).

В структуре сообщества стрептомицетов гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема обыкновенного преобладают *S. violaceomaculatus* — 20,5% и *S. sporotherbeus* — 18,5%. Также значительна доля участия *S. aerionidulus* и *S. griseus* — 12,4 и 9,3% соответственно, тогда как для большинства стрептомицетов она не превышает 3% (табл. 1). В горизонте Ад (0–25 см) чернозема южного в ценозе стрептомицетов также преобладают *S. sporotherbeus* — 20,1% и *S. griseus* — 18,2%. Однако в 7,2 раза возрастает доля участия *S. enduracidicus* и

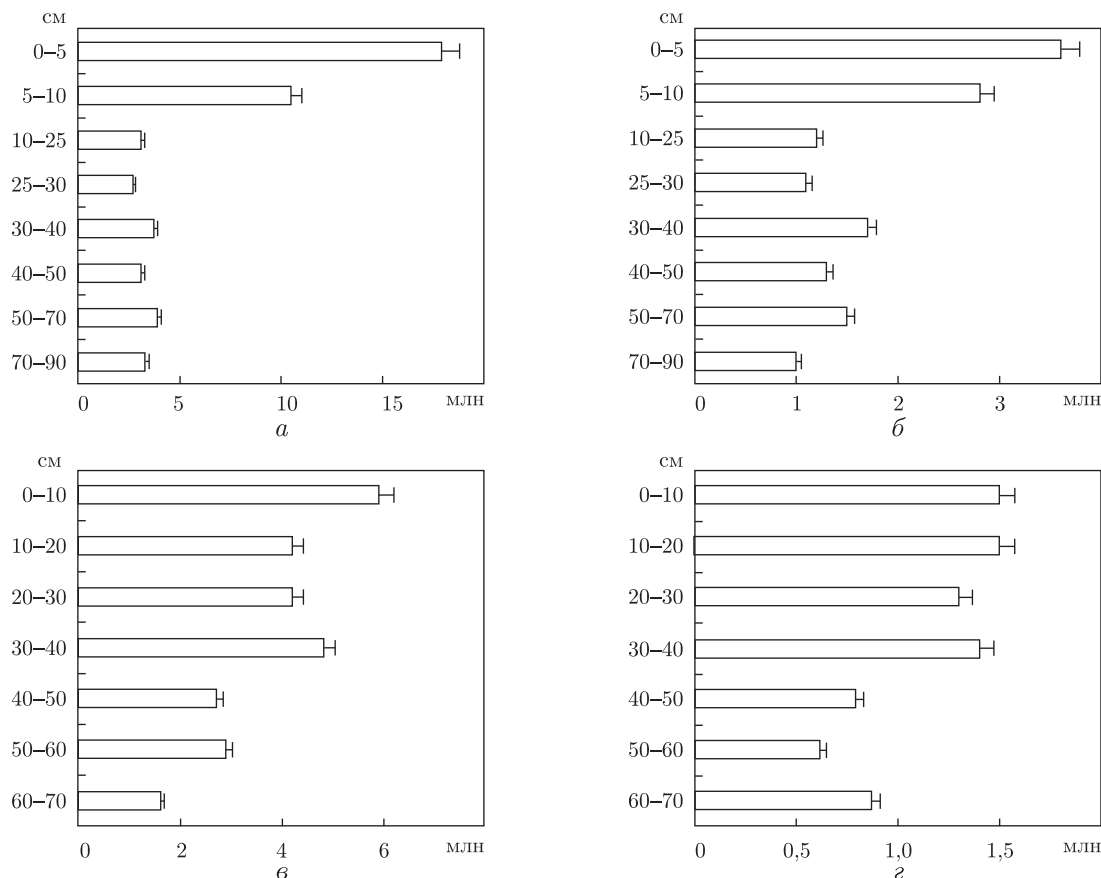


Рис. 1. Общее количество микроорганизмов (а, в) и стрептомицетов (б, г) млн/г почвы в профиле чернозема обыкновенного (а, б) и чернозема южного (в, г)

в 2,4 раза уменьшается доля *S. violaceomaculatus*, в то время как участие в микробоценозе всех остальных видов колеблется от 0,6 до 5,8%.

В переходных горизонтах АВ и В_{Са} чернозема обыкновенного возрастает доля участия *S. aerionidulus* на 87% и в 3,5 раза *S. griseus*, а количество *S. violaceomaculatus* не изменяется (17,9%). В горизонтах АВ_{сн} и В чернозема южного доминантами остаются виды, которые характерны и для верхнего горизонта (см. табл. 1). Существенные изменения происходят в структуре ценоза стрептомицетов чернозема обыкновенного и чернозема южного в нижних горизонтах. Доминантами чернозема обыкновенного являются *S. griseus* и *S. dayalbaghensis*, доля которых в ценозе составляет более 20% всех выделенных видов, тогда как в черноземе южном доминирует только *S. violaceomaculatus*.

Исследованные черноземы характеризуются довольно высоким видовым богатством, о чем свидетельствуют значения индекса Маргалефа (4,3 и 4,1) (табл. 2). В сообществе стрептомицетов черноземов идентифицировано наибольшее (25–26) количество видов. Однако необходимо подчеркнуть, что в черноземе обыкновенном видовое разнообразие стрептомицетов в 1,5 раза больше, чем в черноземе южном (значения индекса Бергера–Паркера увеличиваются до 8,3). Отмечен высокий уровень подобия сообщества стрептомицетов чернозема обыкновенного и южного. Индекс Серенсена для указанных сообществ черноземов соответствует 0,78.

Таблица 1. Доля видов в сообществе стрептомицетов в черноземах (% от всех идентифицированных стрептомицетов)

Вид рода <i>Streptomyces</i>	Почвенные горизонты*			
	А	АВ	В _{Ca}	С
Чернозем обыкновенный				
<i>S. acidiscabies</i> (A–Ac)	0,8	—	—	6,9
<i>S. aerionidulus</i> (C–Ch)	12,4	23,2	6,5	13,8
<i>S. albocrustus</i> (R–Fu)	2,3	5,3	—	6,9
<i>S. brasiliensis-1</i> (A–Ac)	1,9	—	6,5	3,4
<i>S. canadensis</i> (C–Ch)	—	—	—	3,4
<i>S. conganensis</i> (C–Ach)	2,3	2,1	—	—
<i>S. dayalbaghensis</i> (A–Ac)	7,7	13,7	16,1	20,7
<i>S. ederensis</i> (C–Ach)	0,8	1,0	—	—
<i>S. enduracidicus</i> (C–Ch)	2,7	—	—	—
<i>S. fragmentosporus</i> (A–A)	2,7	—	6,5	—
<i>S. globosus</i> (C–Ch)	—	1,0	—	—
<i>S. grisinus</i> (C–Ach)	9,3	10,5	32,3	20,7
<i>S. hirsutus</i> (C–Ach)	1,2	2,1	6,5	—
<i>S. lactogriseus</i> (C–Ach)	2,3	3,2	—	—
<i>S. luteolucescens</i> (Hf–H)	0,8	—	—	3,4
<i>S. marinolimosus</i> (R–F)	1,9	—	—	—
<i>S. nidulosus</i> (C–Ach)	2,7	—	—	6,9
<i>S. ravulus</i> (C–Ach)	0,4	—	—	—
<i>S. septisporus</i> (C–Ch)	2,3	3,2	3,2	3,4
<i>S. spitsbergensis</i> (R–Fu)	0,4	2,1	—	—
<i>S. sporocanensis</i> (Hf–H)	0,4	—	—	—
<i>S. sporoherbeus</i> (Az–Co)	18,5	8,4	—	—
<i>S. spororutilis</i> (C–Ach)	1,5	2,1	—	—
<i>S. sporostellatus</i> (C–Ach)	3,1	3,2	—	—
<i>S. subhalophilus</i> (A–Ac)	0,8	1,0	—	—
<i>S. violaceomaculatus</i> (R–Ro)	20,5	17,9	22,4	10,3
Вид рода <i>Streptomyces</i>	Ад	АВсн	В	С
1	2	3	4	5
Чернозем южный				
<i>S. aerionidulus</i> (C–Ch)	3,9	2,2	6,5	—
<i>S. albocrustus</i> (R–Fu)	0,6	2,2	2,2	—
<i>S. alboflaveolus</i> (Hf–H)	0,6	—	—	—
<i>S. brasiliensis-1</i> (A–Ac)	1,9	2,2	—	3,8
<i>S. caelestis</i> (Az–Co)	1,9	—	—	—
<i>S. canadensis</i> (C–Ch)	1,3	2,2	2,2	3,8
<i>S. conganensis</i> (C–Ach)	1,3	4,3	2,2	3,8
<i>S. dayalbaghensis</i> (A–Ac)	5,8	10,9	8,7	—
<i>S. ederensis</i> (C–Ach)	—	2,2	—	—
<i>S. enduracidicus</i> (C–Ch)	19,5	23,8	10,9	7,7
<i>S. fragmentosporus</i> (A–A)	1,3	—	2,2	3,8
<i>S. globosus</i> (C–Ch)	—	—	10,9	19,2
<i>S. grisinus</i> (C–Ach)	18,2	19,6	21,6	7,7
<i>S. hirsutus</i> (C–Ach)	0,6	2,2	2,2	—
<i>S. hofunensis</i> (A–Ac)	1,3	—	—	—
<i>S. lactogriseus</i> (C–Ach)	3,9	6,5	6,5	—
<i>S. ravulus</i> (C–Ach)	—	—	—	3,8
<i>S. spitsbergensis</i> (R–Fu)	2,6	2,2	4,3	3,8

Таблица 1. Продолжение

1	2	3	4	5
<i>S. sporocanensis</i> (Hf-H)	0,6	—	—	—
<i>S. sporoherbeus</i> (Az-Co)	20,1	8,7	6,5	15,4
<i>S. spororutilis</i> (C-Ach)	2,6	4,3	2,2	—
<i>S. subhalophilus</i> (A-Ac)	1,3	2,2	2,2	—
<i>S. tateyamensis</i> (Hf-H)	0,6	—	—	—
<i>S. violaceomaculatus</i> (R-Ro)	8,4	4,3	8,7	26,9
<i>S. violobrunneus</i> (A-A)	1,3	—	—	—

*Глубина горизонтов составляет: А — 0–5 см, Ад — 0–25 см, АВ — 30–47 см, АВсн — 25–40 см, В — 40–60 см, ВСа — 47–60 см, С — 60–90 см. Сокращенные названия секций и серий стрептомицетов: А — Albus, Ас — Albocoloratus, Az — Azureus, Co — Coerulescens, C — Cinereus, Ch — Chromogenes, Ach — Achromogenes, Fu — Fuscus, Hf — Helvolus-flavus, H — Helvolus, R — Roseus, F — Fradiae, Ro — Roseoviolaceus; “—” вид не выявлен.

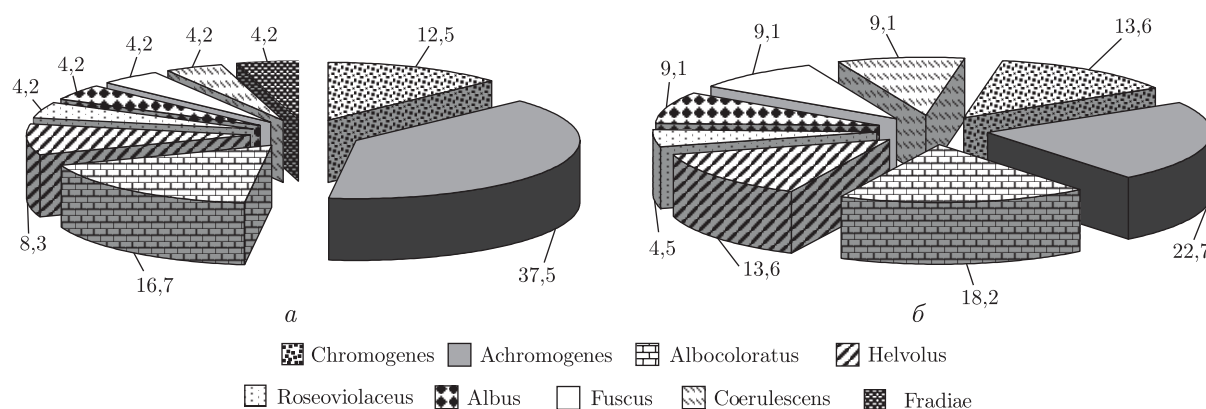


Рис. 2. Структура сообщества стрептомицетов (процент идентифицированных видов) гумусовых горизонтов чернозема обыкновенного (а) и чернозема южного (б) по указанным сериям

Анализ структуры сообщества стрептомицетов черноземных почв показал, что эти почвы отличаются высокой биогенностью. В горизонтах А, АВ и ВСа доминируют *S. violaceomaculatus*, *S. sporoherbeus*, *S. aerionidulus*, *S. enduracidicus*, *S. grisinus* и 75% видов являются общими для ценозов этих почв, что доказывает высокое подобие видового разнообразия сообществ стрептомицетов исследованных черноземов.

В черноземе обыкновенном и южном максимальная доля принадлежит стрептомицетам секций Cinereus серий Chromogenes (12,5 и 13,6%), Achromogenes (37,5 и 22,7%) и секции Albus серии Albocoloratus (16,7 и 18,2% соответственно). Довольно высока численность (8,3 и 13,6%) в сообществе также видов серии Helvolus (рис. 2, а, б).

В черноземе типичном (Курский государственный заповедник, Россия) численность актиномицетов достигает сотен тысяч КОЕ/г почвы. Максимальная численность актиномицетов отмечена в верхних гумусированных горизонтах (Ад и А — от 100–150 тыс. КОЕ/г

Таблица 2. Индексы Маргалефа (D_{Mg}), Бергера–Паркера ($1/d$) и Серенсена (C_S) для сообществ стрептомицетов в черноземах

Почва	D_{Mg}	$1/d$	C_S
Чернозем южный	4,3	5,6	0,78
Чернозем обыкновенный	4,1	8,3	0,78

почвы). Вниз по профилю почвы происходит снижение количества мицелиальных актинобактерий на два порядка (до 2 тыс. КОЕ/г почвы) и некоторое возрастание численности актиномицетов со вторым максимумом, отмеченным в карбонатных и/или гипсоносных горизонтах черноземов.

В черноземах обнаруживаются виды родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium* [5]. Представители последнего составляют минорный компонент, по частоте встречаемости не превышающий 30% (отношение числа образцов, в которых род обнаружен, к общему числу проанализированных образцов). Наиболее часто виды рода *Streptosporangium* встречаются в горизонте Ад чернозема. Роды *Micromonospora* и *Streptomyces* являются доминирующими формами мицелиальных актинобактерий в этих почвах (частота встречаемости составляет 70 и 90% соответственно), причем численность микромоноспор в горизонтах А и Ад чернозема типичного часто превосходит количество представителей рода *Streptomyces*. Так, в горизонте А чернозема типичного численность стрептомицетов составляет 10 тыс. КОЕ/г почвы, в то время как численность микромоноспор — 70 тыс. КОЕ/г почвы. В горизонте Ад и подстилке эта разница может составить порядок.

Среди стрептомицетов в черноземах распространены виды, принадлежащие к секции *Cinereus* серий *Achromogenes*, *Chromogenes*, *Violaceus* и *Aureus*. На основании изучения динамики численности почвенных актиномицетов в ходе микробных сукцессий в черноземе определены показатели перекрывания экониш и установлены наиболее благоприятные условия для выделения популяций определенного таксономического спектра. Наиболее близкими оказались экониши у видов секции *Cinereus* серий *Violaceus* и *Aureus*, наиболее далекими — у видов секции *Cinereus* серий *Achromogenes* и *Chromogenes*. Установлено, что для большинства видов стрептомицетов наиболее благоприятные условия складываются на последних этапах сукцессии.

Гумусово-аккумулятивные горизонты (А0 и А) исследованных черноземов обладают большей биогенностью по сравнению с нижележащими слоями почвы, о чем свидетельствует уменьшение численности микроорганизмов вниз по профилю. Так, общее количество амилотических микроорганизмов снижается в 2,4–4,2 раза, а актиномицетов — в 1,3–3,4 раза. В черноземе типичном обнаруживаются актиномицеты родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium*. Представители рода *Streptosporangium* в черноземе типичном составляют минорный компонент. Наиболее близкими в черноземе типичном оказались экониши у видов секции *Cinereus* серий *Violaceus* и *Aureus*, наиболее далекими — у видов секции *Cinereus* серий *Achromogenes* и *Chromogenes*. Среди стрептомицетов чернозема обыкновенного и южного доминируют *S. violaceomaculatus*, *S. sporoherbeus*, *S. aerionidulus*, *S. enduracidicus* и *S. grisinus*.

1. Полянская Л. М., Суханова Н. И., Чакмазян К. В., Звягинцев Д. Г. Особенности изменения структуры микробной биомассы почв в условиях залежи // Почвоведение. – 2012. – № 7. – С. 792–798.
2. Кутузова Р. С., Сирота О. В., Орлова О. В., Воробьев Н. И. Микробное сообщество и анализ почвенно-микробиологических процессов в дерново-подзолистой почве // Там же. – 2001. – № 3. – С. 320–332.
3. Лысак Л. В., Семионова Н. А., Буланкина М. А. и др. Бактерии в окультуренных почвах монастырей таежно-лесной зоны // Там же. – 2004. – № 8. – С. 976–985.
4. Андреюк Е. И., Валагурова Е. В. Основы экологии почвенных микроорганизмов. – Киев: Наук. думка, 1992. – 190 с.
5. Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Экология актиномицетов. – Москва: ГЕОС, 2001. – 256 с.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 213 с.
7. Гаузе Г. Ф., Преображенская Т. П., Свешникова М. А. и др. Определитель актиномицетов. Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillum*, *Chainia*. – Москва: Наука, 1983. – 248 с.

8. Валагурова Е. В., Козырицкая В. Е., Иутинская Г. А. Актиномицеты рода Streptomyces, описание видов и компьютерная программа их идентификации. – Киев: Наук. думка, 2003. – 618 с.
9. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – Москва: Мир, 1992. – 184 с.
10. Гришко В. М., Сищикова О. В. Зміни чисельності і видового складу угруповань стрептоміцетів у забрудненому важкими металами ґрунті // Мікробіол. журн. – 2010. – **72**, № 3. – С. 20–28.
11. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биология почв Юга России. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.
12. Cai Y., Xue Q., Chen Z. et al. Relation of soils actinomycetes specific composition with the environment of Cinhai-Tibet tableland east part // Chin. J. Appl. and Environ. Biol. – 2004. – **10**, No 3. – P. 378–383.

Криворожский ботанический сад НАН Украины
 Московский государственный университет
 им. М. В. Ломоносова

Поступило в редакцию 25.03.2014

В. М. Гришко, О. В. Сищикова, Г. М. Зенова, І. Ю. Чернов

Особливості структурної організації угруповань міцеліальних актинобактерій у природних ґрунтах України і Росії

У генетичних горизонтах чорноземів частка актиномицетів у мікробіоценозі становить 30% загальної кількості мікроорганізмів. У чорноземах звичайному та південному серед стрептоміцетів домінують S. violaceomaculatus (секція Roseus), S. sporotherbeus (секція Azureus), S. aerionidulus (секція Cinereus), S. enduracidicus (секція Cinereus) і S. grisinus (секція Cinereus). У чорноземі типовому виявлено також актиномицети родів Streptomyces, Micromonospora, Streptosporangium. Представники роду Streptosporangium в чорноземах типових становлять мінорний компонент. У чорноземі звичайному значення індексів Бергера–Паркера або видове різноманіття угруповання стрептоміцетів у 1,5 рази більше, ніж у чорноземі південному. Відмічена доволі висока схожість угруповання стрептоміцетів цих чорноземних ґрунтів (коефіцієнт Серенсена 0,78).

V. M. Gryshko, O. V. Syshchykova, G. M. Zenova, I. Yu. Chernov

Features of the structural organization of mycelial actinobacteria communities in natural soils of Ukraine and Russia

In the genetic horizons of chernozems, the share of actinomycetes in microbocenosis makes 30% of the total number of microorganisms. In the usual and southern chernozems, S. violaceomaculatus (section Roseus), S. sporotherbeus (section Azureus), S. aerionidulus (section Cinereus), S. enduracidicus (section Cinereus), and S. grisinus (section Cinereus) dominate. In the typical chernozem, actinomycetes from the genus Streptomyces, Micromonospora, Streptosporangium are also found. Representatives of the genus Streptosporangium in typical chernozems make a minor component. In the usual chernozem, the values of Berger–Parker index (or the specific variety of a community) is by 1.5 times more than in the southern chernozem. The high similarity of the communities of streptomycetes of these chernozem soils (Serensen's coefficient is equal to 0.78) is found.