

УДК 631.472.74

UDC 631.472.74

**ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОБНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ РИЗОСФЕРЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР<sup>1</sup>**

**FORMATION OF MICROBE-PLANT CONSORTIUMS OF THE RHIZOSPHERE IN ONTOGENESIS OF GRAIN CROPS**

Гордеева Татьяна Харитоновна  
к.б.н., доцент

Gordeeva Tatiana Kharitonovna  
Cand.Biol.Sci., associate professor

Масленникова Светлана Николаевна  
магистр  
*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия*

Maslennikova Svetlana Nikolaevna  
magistr  
*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia*

Гажеева Тамара Петровна  
к.б.н., доцент  
*Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия*

Gazheeva Tamara Petrovna  
Cand.Biol.Sci., associate professor  
*Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia*

Изучен микробиологический состав ризосферы пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), ячменя двурядного (*Hordeum distichon* L.), овса посевного (*Avena sativa*). Показано, что общая численность ризосферных микроорганизмов изменяется в процессе роста и развития растений. Отмечается специфичность состава физиологических групп микроорганизмов у трех изученных зерновых культур

The microbiological composition of the rhizosphere of the soft wheat (*Triticum aestivum* L.), the two-row barley (*Hordeum distichon* L.) and the sowing oats (*Avena sativa*) was studied. It is shown, that the total number of the rhizosphere microorganisms changes during the plant growth and development. The specificity of the microbial composition of the three studied cereal crops has been observed

Ключевые слова: РИЗОСФЕРА, ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ, ФАЗЫ РОСТА РАСТЕНИЙ, МИКРООРГАНИЗМЫ

Keywords: RHIZOSPHERE, CEREAL CROP, GROWTH PHASES OF PLANTS, MICROORGANISMS

**Введение.** Микробно - растительные взаимодействия являются основой поддержания жизни на планете. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в плодородии почвы и питании растений. Обитая в среде, населенной огромным количеством разнообразных микроорганизмов, растение вступает с ними в тесные связи и вне этих связей не существует. Взаимоотношение растений с ризосферной микрофлорой носит характер раздельного симбиотрофизма, то есть они обоюдно полезны и растениям и микроорганизмам. Микроорганизмы питаются выделениями растений и, размножаясь на корнях, оказывают

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «МарГТУ».

разностороннее влияние на питание растений, в том числе и на поступление веществ в корни. По мнению Л.И. Клевенской [1], микробо-растительные ассоциации являются весьма информативными консорционными единицами агро- и техногенных систем.

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал, доказывающий огромное и разнообразное значение ризосферной микрофлоры в жизни высшего растения. Однако сведения о динамике численности и функциональном составе микрофлоры ризосферы зерновых в онтогенезе растений отрывочны и носят противоречивый характер. В связи с этим целью исследования явилось изучение микробного населения ризосферы основных зерновых культур в процессе их роста и развития. Это дает возможность выявить закономерности влияния отдельных растений на формирование микробных сообществ в почве, проникнуть в сложные взаимные связи между почвенными микроорганизмами и растениями, играющими важную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и сохранении плодородия почвы.

**Целью** исследования явилось изучение формирования микробных комплексов ризосферы в онтогенезе зерновых культур

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи**:

1. Оценка изменений общей численности микроорганизмов в ризосфере пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), ячменя двурядного (*Hordeum distichon* L.) и овса посевного (*Avena sativa* L.) в различные фазы их развития;
2. Определение соотношения спороносных и неспороносных групп сапротрофных микроорганизмов ризосферы зерновых культур в процессе роста и развития;

3. Исследование сукцессии различных физиологических групп микроорганизмов ризосферы изучаемых зерновых культур по фазам вегетации растений.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили на агробиостанции МарГУ. Почва опыта имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса 1,9%; гидролизуемого азота 60 мг/кг; подвижного фосфора и калия 182 и 141 мг/кг; рН сол. 5,4; Нг 3,0 мг-экв/100 г почвы. В качестве объекта исследований использовали пшеницу мягкую (*Triticum aestivum* L.), ячмень двурядный (*Hordeum distichon* L.), овёс посевной (*Avena sativa* L.).

Образцы почвы для микробиологического анализа отбирали из ризосферы растений по фазам вегетации [2]. Учет численности микроорганизмов проводили по общепринятой методике, посевом почвенной суспензии на соответствующие агаризованные питательные среды. Микроорганизмы, использующие органические формы азота, учитывали на мясопептонном агаре (МПА); актиномицеты – на крахмалоаммиачном агаре (КАА); микромицеты – на подкисленной среде Чапека; олигонитрофилы и азотобактер – на безазотистой среде Эшби; целлюлозоразрушающие микроорганизмы – на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой. Общую численность ризосферных микроорганизмов определяли методом прямого подсчета по Виноградскому в модификации Шульгиной [3]. Для изучения морфолого-физиологических и тинкториальных свойств микроорганизмов, выросших на МПА, готовили фиксированные мазки и окрашивали их по Граму. Определение культур проводили, руководствуясь определителем Берджи [4]. Статистическая

обработка результатов исследований проведена с помощью программы Statistica V5.5A.

**Изменение общей численности микроорганизмов ризосферы зерновых культур.** Результаты исследования показали, что общая численность микроорганизмов в ризосфере пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), ячменя двурядного (*Hordeum distichon* L.), овса посевного (*Avena sativa* L.) изменяется по фазам развития зерновых культур (табл. 1). Причем, характер изменений однотипен для всех исследованных растений: в стадию кущения общая численность микроорганизмов минимальна и достигает максимальных величин в фазу колошения. По мнению многих исследователей [5, 6, 7], причиной изменения численности микробных сообществ ризосферы в процессе вегетации растений является изменение состава и количества корневых выделений у растений, служащих источником питания для микроорганизмов.

Таблица 1 – Общая численность микроорганизмов ризосферы зерновых культур в разные фазы развития растений, млн. КОЕ/г почвы

Фаза развития растений	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>Hordeum distichon</i> L.	<i>Avena sativa</i> L.
Кущение	73,61±10,63	76,11±3,99	85,34±4,11
Выход в трубку	102,92±4,05	179,01±19,25	160,48±15,00
Колошение	248,26±16,08	247,75±13,45	234,99±3,02
Созревание	154,91±1,23	152,69±12,42	158,51±9,21

**Изменение соотношения аспорогенных и спорообразующих бактерий в ризосфере зерновых культур.** В ходе проведенных нами исследований были выявлены изменения в соотношении численности неспорозоносных и спорозоносных микроорганизмов в ризосфере растений: доля спорообразующих бактерий в общей численности сапротрофных

микроорганизмов ризосферы увеличивается в процессе роста и развития растений и максимальна в фазе формирования зерна. Представители рода *Pseudomonas* доминировали среди непороносных микроорганизмов в ризосфере пшеницы в фазах выхода в трубку и колошения. Такая же закономерность наблюдалась в ризосфере овса и ячменя. В фазе формирования зерна в ризосфере преобладали представители рода *Bacillus*, они менее требовательны к количеству выделяемых растением веществ (табл. 2).

Таблица 2 – Соотношение спороносных и непороносных бактерий в ризосфере зерновых культур, млн. КОЕ/г почвы

Растение	Фаза развития	Общая численность	Спороносные бактерии	Непороносные бактерии
Пшеница	Кущение	5,52±0,73	0,53±0,20	4,98±0,69
	Выход в трубку	20,27±4,02	9,78±1,94	10,48±2,08
	Колошение	11,71±1,74	6,45±0,63	5,25±1,10
	Созревание	1,13±0,46	0,95±0,36	0,17±0,09
Ячмень	Кущение	1,96±0,66	0,23±0,06	1,73±0,13
	Выход в трубку	7,53±0,28	3,99±0,08	3,53±0,29
	Колошение	23,82±0,73	20,68±0,33	3,14±0,39
	Созревание	1,07±0,18	0,96±0,18	0,10±0,00
Овёс	Кущение	6,75±0,75	1,42±0,34	5,33±0,97
	Выход в трубку	17,26±3,70	9,32±2,27	7,93±1,53
	Колошение	25,48±1,71	22,42±1,13	3,06±0,61
	Созревание	1,06±0,12	0,99±0,12	0,07±0,03

Известно, что с наступлением фазы колошения происходит снижение метаболической деятельности корней, что проявляется в снижении

количества выделяемых метаболитов и связано с уменьшением снабжения корневой системы углеводами [5, 8, 9].

Таким образом, доля спорообразующих бактерий в общей численности сапротрофных микроорганизмов ризосферы пшеницы (*Triticum aestivum* L.), ячменя (*Hordeum distichon* L.) и овса (*Avena sativa* L.) увеличивается в процессе роста и развития растений и максимальна в фазе созревания. Такой характер сукцессии связан со сменой бактерий, питающихся продуктами экзоосмоса растений (эккрисотрофами), на гидролитиков, разлагающих растительные остатки.

**Сукцессия основных физиологических групп микроорганизмов в ризосфере зерновых культур.** Проведенные исследования показали, что количество микроорганизмов и соотношение видов в ризосфере одного и того же растения непостоянно и меняется в течение вегетационного периода по фазам развития растений. Наибольшая численность сапротрофных бактерий отмечается в фазы наиболее интенсивного роста растений: выхода в трубку и колошения (табл. 3, 4, 5).

Таблица 3 – Микробоценоз ризосферы пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) в разные фазы развития растений

Фаза развития растения	Аэробные гетеротрофы	Актиномицеты	Олигонитрофилы	Микромицеты	Азотфиксаторы	Целлюлозодеструкторы
	млн к/г абс. сух. почвы					%
Кущение	5,52±0,73	3,83±0,83	0,09±0,01	0,38±0,01	0,012±0,006	50,0±3,64
Выход в трубку	20,27±4,02	1,40±0,47	0,99±0,04	0,52±0,04	0,008±0,003	68,0±3,87
Колошение	11,72±1,74	6,46±1,03	0,99±0,12	0,10±0,01	0,348±0,041	77,0±4,12
Созревание	1,13±0,46	3,57±1,26	0,30±0,01	0,07±0,01	0,071±0,003	91,0±4,74

В фазе колошения отмечается и наибольшее количество олигонитрофильных микроорганизмов, что обусловлено интенсивным потреблением питательных веществ растениями.

Активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов незначительна в зоне молодого корня, численность их возрастает по мере старения растения, что, по-видимому, связано с тем, что эти микроорганизмы живут не за счет экзоосмоса растений, а принимают активное участие в разложении отмирающих корневых остатков.

Таблица 4 – Микробоценоз ризосферы ячменя двурядного (*Hordeum distichon* L.) в разные фазы развития растений

Фаза развития растения	Аэробные гетеротрофы	Актиномицеты	Олигонитрофилы	Микромицеты	Азотфиксаторы	Целлюлозо деструкторы
	млн к/г абс. сух. почвы					%
Кущение	1,96±0,67	2,58±0,68	0,03±0,01	0,08±0,01	0,023±0,033	42,0±3,21
Выход в трубку	7,53±0,28	7,37±2,23	0,19±0,09	0,11±0,02	0,309±0,093	60,0±3,96
Колошение	23,82±0,73	9,95±2,10	0,93±0,03	0,08±0,01	0,388±0,053	84,0±4,17
Созревание	1,08±0,18	15,77±4,53	0,30±0,01	0,14±0,03	0,146±0,018	88,0±4,29

Такая же закономерность отмечается и для актиномицетов. Увеличение численности бактерий в начальные фазы развития растений и актиномицетов в конце вегетации имеет важное значение, так как многие бактерии оказывают положительное влияние на развитие растений и их устойчивость к стрессам [10]. И, живущие в ризосфере растений, продуцируют физиологически активные вещества, а актиномицеты – антибиотики, что обуславливает их

Важную роль в обогащении почвы и растений азотом играют азотфиксирующие микроорганизмы. Процесс азотфиксации зависит от многих факторов: от наличия микроэлементов, кислотности, влажности и

др.; этим объясняется его нестабильность. К числу свободноживущих азотфиксаторов относится азотобактер (*Azotobacter chroococcum*), наличие которого является индикатором благоприятных свойств почвы.

Таблица 5 – Микробоценоз ризосферы овса посевного (*Avena sativa* L.) в разные фазы развития растений

Фаза развития растения	Аэробные гетеротрофы	Актиномицеты	Олигонитрофилы	Микромицеты	Азотфиксаторы	Целлюлозодеструкторы
	млн к/г абс. сух. почвы					%
Кущение	6,76±0,75	2,21±0,61	0,03±0,01	0,10±0,02	0,027±0,003	31,0±2,11
Выход в трубку	17,26±3,70	8,14±1,24	0,23±0,06	0,13±0,01	0,345±0,038	42,0±3,23
Колошение	25,48±1,71	7,42±1,46	0,94±0,03	0,06±0,01	0,070±0,015	59,0±4,01
Созревание	1,06±0,12	15,71±1,95	0,35±0,03	0,20±0,03	0,025±0,003	78,0±4,85

Наибольшая численность азотобактера наблюдалась в период интенсивного роста растений. Более благоприятный режим для развития микроорганизмов данной группы складывался в ризосфере ячменя.

Сравнительный анализ количественного состава физиологических групп микроорганизмов ризосферы изучаемых зерновых культур показал его видовую специфичность, обусловленную характером корневых выделений, характером расположения корней, состоянием и т.п. В ходе проведенных опытов было установлено, что наибольшая численность актиномицетов отмечалась в ризосфере ячменя ( $p=0,27 \cdot 10^{-4}$ ), по сравнению с пшеницей и овсом. Причем, максимальная численность актиномицетов ризосферы наблюдалась в фазу созревания. Численность микроскопических грибов в ризосфере пшеницы (*Triticum aestivum* L.) значимо больше ( $p=0,1 \cdot 10^{-4}$ ), чем в ризосфере ячменя (*Hordeum distichon* L.) и овса (*Avena sativa* L.). Наибольшая численность микромицетов в ризосфере наблюдалась в фазу выхода в трубку, наименьшая – в фазу колошения (вымётывания). Наименьшее количество азотобактера (*Azotobacter chroococcum*) обнаруживалось в ризосфере пшеницы *Triticum aestivum* L.



( $p=0,27 \cdot 10^{-4}$ ), наибольшее – в ризосфере ячменя (*Hordeum distichon* L.) и овса (*Avena sativa* L.). Так как растения произрастали в одинаковых условиях, то можно предположить, что различия в численности различных физиологических групп микроорганизмов ризосферы, по-видимому, обусловлено видовыми особенностями растений, в том числе различиями в составе корневых выделений.

**Выводы:** 1. Общая численность микроорганизмов в ризосфере пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), ячменя двурядного (*Hordeum distichon* L.) и овса посевного (*Avena sativa* L.) изменяется в онтогенезе растений. Максимальное количество их отмечается в фазу колошения.

2. В процессе онтогенеза изучаемых растений происходит перестройка микробного комплекса ризосферы: от фазы кущения до полной спелости установлен последовательный рост актиномицетов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов; динамика численности бактерий имеет вид кривой, с максимумом в фазы выхода в трубку и колошения.

3. С возрастом растения в ризосфере возрастает доля спорообразующих бактерий.

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «МарГТУ».*

Список литературы:

1. Клевенская И.Л. Микробо-растительные ассоциации техногенных систем // Мат-лы 8 Съезда почвоведов. Новосибирск, 1989. С. 122-128.
2. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
3. Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособие / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
4. Краткий определитель бактерий Берги. М.: Мир, 1980. 496 с.
5. Веселов С.Ю. Исследование цитокининов, продуцируемых ризосферными микроорганизмами // Прикладная биохимия и микробиология. 1998. Т. 34. С. 175–179.

6. Мергель А.А., Тимченко А.В., Кудяров В.Н. Роль корневых выделений растений в трансформации азота и углерода в почве // Почвоведение. 1996. №10. С. 1234-1239.

7. Иванов Н.С. Биологическая активность ризосферы различных сельскохозяйственных культур, выращенных в условиях поля и фитокамеры // Пути повышения плодородия почв Нечерноземной зоны РСФСР: Мат-лы зональной школы-семинара. Л., 1982. С.21.

8. Кудрявцев В.А. Рост, развитие и устойчивость растений. Целиноград: Изд-во ЦСИ, 1982. 122с.

9. Полянская Л.М., Оразова М.Х., Звягинцев Д.Г. Гетерогенность корня как местообитания микроорганизмов. Микробиология. 1994. Т.63. Вып.4. С.706-714.

10. Алексеева Р.П. Изучение физиологически активных веществ в ризосфере сельскохозяйственных растений: Автореф. дисс...канд. биол. наук. Казань, 1993. 27 с.