МОНИТОРИНГ КОНСОРТОВ В ЭКОСИСТЕМЕ: РАСТЕНИЕ – ФИТОПАТОГЕНЫ – САПРОФЫ ПОЧВЫ

Е.Ю. Торопова^{1,2}, И.Г. Воробьева³, Р.И. Трунов¹, В.В. Пискарев⁴

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, р.п. Большие Вяземы, Московской области

³Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

⁴Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

⁸9139148962@yandex.ru, vip.fungii@mail.ru, roman.trunoff2015@yandex.ru, piskaryov_v@mail.ru

Аннотация. Мониторинговые исследования, были проведены по общепринятым методикам в северной лесостепи Западной Сибири в 2019–2020 гг. на коллекции сортов Института цитологии и генетики СО РАН. Исследования показали, что генотипы сортов яровой пшеницы оказывали существенное влияние на функционирование системы «растение-фитопатоген-антагонист». Паразитическая активность фитопатогенов (*Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., *Fusarium spp.* Link.) различалась по группам сортов до 43,6 %. Сильнее всего поражались корневыми инфекциями сорта азиатского происхождения (Китай, Индия, Казахстан, Сирия), меньше всего поражались фитопатогенами австралийские сорта, за счет химического состава корневых экссудатов, подавлявших численность и паразитических, и сапротрофных микроорганизмов. Сортвые выделения корней растений пшеницы регулировали численность сапротрофных ризосферных микроорганизмов. Доля влияния фактора «сорт» на численность сапротрофных почвенных микроорганизмов составила 24,3 % и была достоверной на 1 % уровне. Наиболее чувствительными к составу и количеству корневых экссудатов растений пшеницы оказались бактерии различных трофических групп, наиболее устойчивыми – микромицеты. По сравнению с фоновыми показателями неризосферной почвы численность целлюлозолитических бактерий увеличивалась до 3 раз (западноевропейские сорта), бактерий, потребляющих органический азот – до 5,6 раз (азиатские сорта), потребителей органических форм азота – до 2,9 раз (западноевропейские сорта), олигонитрофильных бактерий – до 12,7 раз (сибирские сорта). Далекие по происхождению от региона исследований сорта (Австралия, Африка, Америка) оказывали репрессирующее влияние на трофические группы микроорганизмов, снижая их численность по сравнению с показателями неризосферной почвы.

Ключевые слова: яровая пшеница, ризосфера, сапротроф, почва, микромицет, актиномицет, бактерия.

Консорция, как структурная единица биоценоза, объединяет автотрофные и гетеротрофные организмы на основе пространственных и пищевых связей. Большинство ныне существующих систем триотрофа паразитарного типа (растение-фитопатоген-антагонист) являются компонентами естественных экосистем и сложились до начала земледелия, благодаря освоению микроорганизмами своеобразной экологической ниши – организма растения-хозяина [1]. Агроэкологические и социально-экономические особенности регионов и стран мира через технологии землепользования определили таксономический состав консорций, формирующихся вокруг культурных видов растений, биологическую активность отдельных видов, интенсивность антропогенного воздействия на отдельные консорты и консорции в целом [2, 3]. Большой интерес исследователей вызывают закономерности функционирования сообществ почвенных организмов (микромицетов, актиномицетов, бактерий), обитающих вокруг или на (в) подземных органах культурных растений [4, 5]. В зависимости от комплекса биотических, абиотических и антропогенных факторов, харак-

тер взаимодействий почвенных микроорганизмов с растениями и друг с другом может существенно изменяться, что имеет большое практическое значение [6, 7].

Исследования по общепринятым методикам проводили в северной лесостепи Западной Сибири в 2019–2020 гг. Изучение сортов яровой пшеницы проводили с использованием коллекции ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН». Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по Б.А. Доспехову методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ SNEDECOR для Windows.

В ризосфере яровой пшеницы идет активное взаимодействие консортов в системе триотрофа (растение-фитопатоген-антагонист), а эдификаторная функция яровой пшеницы в этой системе проявляется и в непосредственном влиянии корневых экссудатов растений на фитопатогенные микромицеты, и опосредованно, через индукцию или супрессию сапротрофных почвенных микроорганизмов, среди которых около 50 % видов обладают антагонистическими фитопатогенам свойствами (табл. 1).

Таблица 1. Влияние сортов разного происхождения на паразитическую активность фитопатогенов и численность почвенных микроорганизмов

Вариант, происхождение сортов	Развитие корневых гнилей, %	Грибы на ЧАх 10^4	Бактерии				Актиномицеты на ГНх 10^4
			ГН х 10^5	КАА х 10^6	МПА х 10^6	ПА х 10^6	
Неризосферная почва, контроль	–	0,46	4,94	1,03	6,42	0,65	8,00
Сибирь	9,27	2,08	10,69	5,35	14,82	8,24	9,70
Европейская часть РФ	10,62	1,80	6,56	3,28	7,83	2,46	8,93
Азия	11,00	1,78	6,55	5,79	4,72	1,36	5,23
Западная Европа	10,34	1,84	14,66	1,64	18,60	1,23	7,28
Америка	10,25	1,36	4,19	2,99	8,47	1,71	6,15
Африка	8,80	0,35	3,80	1,50	2,99	1,07	6,10
Австралия	6,20	0,77	0,27	0,23	1,74	0,39	0
НСР ₀₅	1,32	0,21	3,05	0,89	1,69	0,18	1,65

Примечание: ЧА – агар Чапека, ГН – агар Гетчинсона, КАА – крахмало-аммиачный агар, МПА – мясо-пептонный агар, ПА – почвенный агар

Данные таблицы позволяют заключить, что происхождение сортов, их генотип, оказывали существенное влияние на функционирование системы триотрофа. Паразитическая активность фитопатогенов (*Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., *Fusarium spp.* Link.), вызывавших симптомы корневых гнилей у растений яровой пшеницы, различалась по группам сортов до 43,6 %. Сильнее всего поражались сорта азиатского происхождения (Китай, Индия, Казахстан, Сирия), меньше всего поражались фитопатогенами австралийские сорта. Проявление симптомов болезни зависело как от индукции корневыми выделениями прорастания покоящихся структур фитопатогенов, так и от активности защитных механизмов растений-хозяев, которые могли иметь как пассивный (строение покровных тканей), так и активный (токсичные для фитопатогенов метаболиты) характер.

Численность отдельных трофических групп почвенных микроорганизмов еще в большей степени, нежели паразитическая активность фитопатогенных грибов, зависела от сорта. Практически все группы сортов оказали стимулирующее действие на почвенные микроорганизмы своими корневыми экссудатами, о чем можно судить по росту их численности в сравнении с образцом неризосферной почвы.

Численность сапротрофных микромицетов почвы изменялась по группам сортов в 5,9 раз. Самая высокая численность грибов была отмечена в ризосферах сибирских сортов, а самая низкая – в ризосфере африканских. Последние оказали даже некоторое, на 23,9 %, репрессирующее влияние на микромицеты по сравнению с неризосферной контрольной почвой. Численность сапротрофных почвенных грибов в ризосфере остальных сортов была выше контрольной от 40,3 % (Австралия) до 4,5

раз (Сибирь). Эти данные свидетельствуют о более высокой адаптации сапротрофных микромицетов к корневым выделениям растений местного происхождения, по сравнению с зарубежными сортами, особенно с других континентов. По-видимому, химический состав экссудатов близких по происхождению растений имеет большое сходство, и напротив, экссудат сортов отдаленного происхождения отличаясь по химическому составу, является более слабым индуктором прорастания покоящихся структур почвенных грибов.

Целлюлозолитические микроорганизмы (ГН) были представлены бактериями и актиномицетами, способными утилизировать трудно разлагаемую мортмассу в почве, способствуя возврату биофилов в круговорот веществ. Численность целлюлозолитических бактерий различалась по группам сортов в 54,3 раза! Самая высокая численность бактерий была отмечена в ризосфере европейских сортов, самая низкая – у австралийских. По сравнению с контрольной неризосферной почвой сорта разделились на 2 группы: отечественные (сибирские и европейские) азиатские и западноевропейские сорта стимулировали размножение целлюлозолитических бактерий, а под американскими, африканскими, а особенно австралийскими сортами, происходила депрессия этой группы бактерий. Целлюлозолитические актиномицеты были более устойчивы в почве, их численность колебалась под сортами разного происхождения до 46,1 %. Однако, австралийские сорта в четвертом почвенном разведении совсем не имели целлюлозолитических актиномицетов в ризосфере. Таким образом, целлюлозолитические микроорганизмы показали высокую зависимость от сортовых особенностей и происхождения растений.

Бактерии, потребляющие неорганические формы азота (КАА), в пятом разведении показали умерен-

ную численность, которая различалась по группам сортов в 25,2 раза. Самая высокая численность бактерий этой группы была отмечена в ризосфере зарубежных азиатских и сибирских сортов, а самая низкая – под австралийскими сортами. Эти сорта оказали репрессирующее, на 77,7 %, влияние по сравнению с неризосферной контрольной почвой на бактерии, потребляющие неорганические формы азота.

Бактерии, потребляющие органический азот (МПА) тоже реагировали на химический состав и интенсивность корневых выделений сортов. Разница в их численности по сортам достигла 10,7 раз, и была самой высокой в ризосфере западноевропейских и сибирских сортов, а самой низкой – в ризосфере африканской и австралийской пшеницы. Только под африканскими и австралийскими сортами происходила достоверная, в 3,7 раза, депрессия бактерий, потребляющих органический азот.

Коэффициент минерализации органического вещества КАА/МПА составил в неризосферной почве 0,16, и значительно различался по группам сортов. Минимального значения – 0,09 он достиг в ризосферной почве западноевропейских сортов, максимального – 1,23 у азиатских сортов. Этот коэффициент отражает активность минерализационных процессов, скорость разложения органического вещества, перехода азота из органической в минеральную форму, усваиваемую растениями. Чем он выше, тем интенсивнее идут в почве процессы гумификации органических остатков.

Общее микробное число (ПА), или численность олигонитрофильных микроорганизмов подчинялась той же закономерности, что и численность микроорганизмов других трофических групп. Она колебалась по группам сортов в 21,3 раза, и была максималь-

ной в ризосфере сибирских сортов, минимальной – в почве под австралийскими сортами. Большинство сортов стимулировали размножение олигонитрофилов, так сибирские сорта имели в ризосфере в 12,7 раз больше этих микроорганизмов, чем в неризосферной почве. Австралийские сорта на 72 % снижали численность олигонитрофилов в почве по сравнению с фоновым значением неризосферной почвы.

Таким образом, сортовые выделения корней растений пшеницы существенным образом регулировали численность ризосферных микроорганизмов. В целом, доля влияния фактора «сорт» на численность сапротрофных почвенных микроорганизмов составила 24,3 % и была достоверной на 1 % уровне. Наиболее чувствительными к составу и количеству корневых экссудатов растений пшеницы оказались бактерии различных трофических групп, наиболее устойчивыми – микромицеты. По сравнению с фоновыми показателями неризосферной почвы численность целлюлозолитических бактерий увеличивалась до 3 раз (западноевропейские сорта), бактерий, потребляющих органический азот – до 5,6 раз (азиатские сорта), потребителей органических форм азота – до 2,9 раз (западноевропейские сорта), олигонитрофильных бактерий – до 12,7 раз (сибирские сорта). Далекие по происхождению от региона исследований сорта (Австралия, Африка, Америка) оказывали репрессирующее влияние на определенные трофические группы микроорганизмов, снижая их численность по сравнению с показателями неризосферной почвы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00079.

Список литературы

1. Vorobyeva I.G., Toropova E.Yu. 2019. On the Issue of Ecological Niches of Plant Pathogens in Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*. 12(6): 667–674.
2. Schroeder K.L., Paulitz T.C. 2006. Root Diseases of Wheat and Barley During the Transition from Conventional Tillage to Direct Seeding. *Plant Disease*. 90: 1247–1253.
3. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Stetsov G.Ya. et al. 2015. Soil Infections of Grain Crops with the Use of The Resource-saving Technologies in Western Siberia. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2:1081–1093.
4. Lapina V.V., Smolin N.V., Ivoilov A.V. et al. 2016. The micromycetiae composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolaris sorokiniana* and *Fusarium* spp. strains. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 7(4): 1804–1810;
5. Sokolov M.S., Semenov A.M., Spiridonov Yu.Ya. et al. 2020. Healthy Soil – Condition for Sustainability and Development of the Argo and Socio spheres (Problem-Analytical Review). *Biology Bulletin*. 47(1): 18–26.
6. Burlakoti R.R., Shrestha S.M., Sharma R.C. 2014. Effect of natural seed-borne inoculum of *Bipolaris sorokiniana* on the seedling emergence and vigour, and early establishment of foliar blight in spring wheat. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 47(7): 812–820.
7. Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Selyuk M. P., et al. 2018. Development of Soil-Borne Infections in Spring Wheat and Barley as Influenced by Hydrothermal Stress in the Forest-Steppe Conditions of Western Siberia and the Urals. *Russian Agricultural Sciences*. 44(3): 241–244.

CONSORTS MONITORING IN ECOSYSTEM: PLANT – PHYTOPATHOGENS – SOIL SAPROTROPHES

E.Yu. Toropova^{1,2}, I.G. Vorobyova³, R.I.Trunov¹, V.V. Piskarev⁴

¹ Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk

² All-Russian Research Institute of Phytopathology, r.p. Big Vyazemy, Moscow region

³ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk

⁴ Research Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk

⁸9139148962@yandex.ru, vip.fungi@mail.ru, roman.trunoff2015@yandex.ru, piskaryov_v@mail.ru

Abstract. Monitoring studies were carried out according to generally accepted methods in the northern forest-steppe of West Siberia in 2019–2020, using the varieties collection of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS. Studies have shown that the genotypes of spring wheat varieties had a significant impact on the functioning of the “plant-phytopathogen-saprotrophs” system. The parasitic activity of phytopathogens (*Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., *Fusarium spp.* Link.) differed in the varietal groups to 43.6 %. Varieties of Asian origin (China, India, Kazakhstan, Syria) were most affected by the root infections, Australian varieties were least affected by phytopathogens, due to the chemical composition of root exudates, which suppressed the number of parasitic and saprotrophic microorganisms. Varietal secretions of the wheat plants roots regulated the number of saprotrophic rhizospheric microorganisms. The share of the influence of the “variety” factor on the number of saprotrophic soil microorganisms was 24.3 % and was reliable at a 1 % level. The most sensitive to the composition and number of root exudates of wheat plants turned out to be bacteria of various trophic groups, the most resistant were micromycetes. In comparison with the background indices of non-rhizospheric soil, the number of cellulolytic bacteria increased up to 3 times (West European varieties), bacteria consuming organic nitrogen – up to 5.6 times (Asian varieties), consumers of organic nitrogen forms – up to 2.9 times (West European varieties), oligonitrophilic bacteria – up to 12.7 times (Siberian varieties). Varieties far from the region of the study (Australia, Africa, America) exerted a repressive effect on the trophic groups of microorganisms, reducing their number in comparison with indicators of non-rhizospheric soil.

Keywords: spring wheat, rhizosphere, saprotroph, soil, micromycete, actinomycete, bacterium.

References

1. Vorobyeva I.G., Toropova E.Yu. 2019. On the Issue of Ecological Niches of Plant Pathogens in Western Siberia. Contemporary Problems of Ecology. 12(6): 667–674.
2. Schroeder K.L., Paulitz T.C. 2006. Root Diseases of Wheat and Barley During the Transition from Conventional Tillage to Direct Seeding. Plant Disease. 90: 1247–1253.
3. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Stetsov G.Ya. et al. 2015. Soil Infections of Grain Crops with the Use of The Resource-saving Technologies in Western Siberia. Biosciences Biotechnology Research Asia. 2:1081–1093.
4. Lapina V.V., Smolin N.V., Ivoilov A.V. et al. 2016. The micromycetae composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolaris sorokiniana* and *Fusarium spp.* strains. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 7(4): 1804–1810;
5. Sokolov M.S., Semenov A.M., Spiridonov Yu.Ya. et al. 2020. Healthy Soil – Condition for Sustainability and Development of the Argo and Socio spheres (Problem-Analytical Review). Biology Bulletin. 47(1): 18–26.
6. Burlakoti R.R., Shrestha S.M., Sharma R.C. 2014. Effect of natural seed-borne inoculum of *Bipolaris sorokiniana* on the seedling emergence and vigour, and early establishment of foliar blight in spring wheat. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 47(7): 812–820.
7. Toropova E.Yu., Glinushkin A.P., Selyuk M.P., et al. 2018. Development of Soil-Borne Infections in Spring Wheat and Barley as Influenced by Hydrothermal Stress in the Forest-Steppe Conditions of Western Siberia and the Urals. Russian Agricultural Sciences. 44(3): 241–244.