

ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ЖИЗНЕННОЙ ФОРМЫ И ВИДА ХОЗЯИНА НА ВИДОВОЙ КОМПЛЕКС ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗА ПШЕНИЦЫ

Ю. В. Зеленева^{1, 2}, О. С. Афанасенко³, В. П. Судникова¹

¹ Среднерусский филиал Федерального научного центр им. И. В. Мичурина
Россия, 392553, Тамбовская обл., пос. Новая Жизнь, Молодежная
E-mail: tmbsnifs@mail.ru

² Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина
Россия, 392000, Тамбов, Интернациональная, 33
E-mail: zelenewa@mail.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
Россия, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, шос. Подбельского, 3
E-mail: info@vizr.spb.ru

Поступила в редакцию 27.08.2019 г., после доработки 24.12.2019 г., принята 16.02.2020 г.

Зеленева Ю. В., Афанасенко О. С., Судникова В. П. Влияние агроклиматических условий, жизненной формы и вида хозяина на видовой комплекс возбудителей септориоза пшеницы // Поволжский экологический журнал. 2020. № 2. С. 177 – 190. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-177-190>

В настоящее время септориоз составляет основу патогенного комплекса на посевах пшеницы в России, занимая доминирующее положение среди вредоносных грибных болезней. При сильном поражении пшеницы потери урожая, вызываемые грибом *Zimoseptoria tritici*, составляют от 10 – 25 до 40 – 60%. Потери урожая, вызываемые паразитированием гриба *Parastagonospora nodorum* – от 10 – 20 до 30 – 50% в годы эпифитотии. Вопрос об экономическом значении *Parastagonospora avenae* до конца не изучен. Однако в зависимости от зоны возделывания пшеницы и года наблюдения его доля в популяции септории может достигать до 76.9%. Представляло интерес подробно изучить влияние условий года, жизненной формы и вида пшеницы на формирование видового состава септориоза в патогенном комплексе пшеницы. Среди сложного комплекса факторов, входящих в понятие среды, существенная роль принадлежит её абиотическим компонентам – климату и погоде, однако решающая роль остаётся за сортом как за средообразующим фактором. Исследования проводились в течение 2010 – 2017 гг. В период проведения исследований погодные условия значительно изменялись по годам и не всегда были благоприятными для развития растений и формирования хорошего урожая пшеницы. За время исследований отмечены отклонения количества осадков, выпавших в период вегетации, и в целом за год от многолетних значений. Наибольшей влагообеспеченностью в вегетационный период характеризовались 2012, 2014 и 2015 гг. Показано, что более прохладные дни апреля и мая скажутся на лучшем развитии видов *P. avenae* и *P. nodorum*. Вид *P. nodorum* получает преимущественное развитие в годы с более влажной погодой во время вегетации пшеницы в отличие от вида *Z. tritici*, который является более устойчивым к пониженным показателям влажности. Эти данные демонстрируют адаптацию патогена к условиям повышения температурного режима и уменьшения количества осадков.

Ключевые слова: агроклиматические условия, пшеница, сорта, патоген, устойчивость.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-177-190>

ВВЕДЕНИЕ

Развитие болезней растений подвержено колебаниям. Это проявляется в изменении ареалов распространённости на территории различных областей и в интенсивности поражения посевов (Goodwin et al., 2015; Kuzdraliński et al., 2015; Ben Ja-beur et al., 2017). Данные показатели определяют размеры недобора урожая, величину экономического ущерба (Голощاپов, 2011; Schilly et al., 2011).

Среди сложного комплекса факторов, входящих в понятие среды, существенная роль принадлежит её абиотическим компонентам – климату и погоде, однако решающая роль остаётся за сортом как за средообразующим фактором (Санин, 2013; Склименок, Буга, 2014; Евсеев, 2015; Simón et al., 2007; Torgiani et al., 2009).

С 2000 г. авторами статьи ведётся работа по изучению видового состава септориоза на сортах озимой и яровой пшеницы территории Центрально-Черноземного региона (Тамбовская, Липецкая, Воронежская, Курская и Белгородская области). Представляло интерес подробно изучить влияние условий года, жизненной формы и вида пшеницы на формирование видового состава септориоза в патогенном комплексе пшеницы (Плахотник и др., 2007; Зеленева, Судникова, 2017, 2019; Зеленева и др., 2018).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в течение 2010 – 2017 гг. Для изучения зависимости между частотой встречаемости видов септориоза и агроэкологическими условиями, складывающимися в разные годы, был собран инфекционный материал на производственных посевах, Госсортучастках и в коллекциях НИИ с шестидесяти сортов озимой мягкой (*Triticum aestivum* L.), тридцати трёх яровой мягкой (*Triticum aestivum* L.) и шестнадцати яровой твёрдой пшеницы (*Triticum durum* Desf) в 5 областях Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) (Тамбовской, Липецкой, Воронежской, Курской и Белгородской).

Микологические опыты проводили в специально оборудованных помещениях. Для определения видового состава собранные образцы микроскопировали. Небольшой кусочек (5×5 мм) поражённой ткани с плодовыми телами помещали на предметное стекло в каплю воды, накрывали покровным стеклом и просматривали при малом увеличении микроскопа. Через некоторое время наблюдали выход пикноспор. По форме и размеру выделившихся спор определяли вид возбудителя (Пахолкова и др., 2008). Анализировали не менее 50 проб с каждого образца.

На основании полученных данных устанавливали частоту встречаемости отдельных видов септориоза (Пахолкова и др., 2017) по формуле:

$$N = A/B \times 100,$$

где N – частота вида, %; A – число случаев, в которых отмечен данный вид септориоза; B – общее число случаев, в которых встречался как данный вид, так и другие.

Влияние агроэкологических условий на частоту встречаемости возбудителей септориоза пшеницы определяли с использованием F -критерия Фишера. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез (p) принимался равным 0.05.

Для проведения множественного сравнения средних величин, характеризующих частоту встречаемости видов септориоза в различные годы проведённых ис-

следований, использовали критерий Бонферрони. За критический уровень значимости различий брали $p = 0.05/\text{число сравнений}$.

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы «STATISTICA».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав возбудителей септориоза пшеницы в течение 2010 – 2017 гг. изучения был представлен грибами *Zimoseptoria tritici* Quaedvlieg Verley & Crous (син. *Z. tritici* Rob. Et Desm), *Parastagonospora avenae* (= *Stagonospora avenae* f. sp. Triticea Johns), *Parastagonospora nodorum* (= *Stagonospora nodorum* (Berk) Castellani & E. G. Germano). Доминирующим был вид *Z. tritici*. Полученные результаты отражены на рис. 1.

Аномальные погодные условия 2010 г. с высоким температурным режимом, воздушной и почвенной засухой отрицательно сказались на растении-хозяине и на патогенном комплексе. Отмечено низкое развитие септориоза на пшенице, однако вид *Z. tritici* имел наибольшую частоту встречаемости в патогенном комплексе септориозных пятнистостей – 96.71%. Виды *P. avenae* и *P. nodorum* в 2010 г. имели наименьшую частоту встречаемости за весь период изучения (0.6 и 2.69% соответственно).

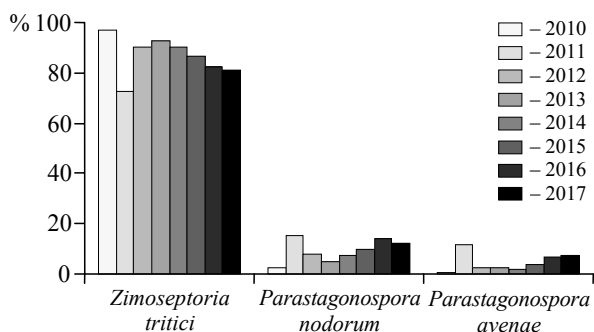


Рис. 1. Видовой состав септориоза на озимой мягкой, яровой мягкой и твёрдой пшенице с территории Центрально-Черноземного региона за период 2010 – 2017 гг.

Fig. 1. Species composition of *Septoria* on winter soft, spring soft and durum wheat in the territory of the Central Black Soil Region during 2010–2017

Как было показано ранее, *Z. tritici* являлся самым распространённым видом септориоза на протяжении всех лет изучения в Тамбовской области. По обобщённым результатам анализа частоты встречаемости видов септориоза на пшенице в пяти областях ЦЧР показано, что частота встречаемости вида *Z. tritici* в 2011 г. составила 72.58, в 2015 – 86.5, в 2016 – 82.37, в 2017 – 81.08%. Следует отдельно выделить 2012, 2014 и 2013 гг. Они характеризуются тем, что складывались наиболее благоприятные агроэкологические условия для развития вида *Z. tritici*. Его частота встречаемости превысила 90 случаев из 100 и составила 90.08, 90.16 и 92.42% соответственно.

По частоте встречаемости за восемь лет изучения вид *P. nodorum* занимал стабильно вторую позицию в патогенном комплексе септориозных пятнистостей. В 2013 г. его показатель составил 4.97, в 2014 – 7.59, в 2012 – 7.68%. В 2015, 2017, 2016 и 2011 гг. частота встречаемости вида *P. nodorum* превысила 10% и составила 10.04, 11.97, 14.08 и 15.2% соответственно.

Вид *P. avenae* отмечен достаточно редко. Он, как правило, выделяется на поздних стадиях развития пшеницы и поэтому не наносил вреда качественным и количественным показателям сельскохозяйственной продукции. Его частота встречаемости в 2012, 2013 и 2014 гг. не превышала 3%. В 2016 г. показатель составил 6.56%, в 2017 – 9.67%, а в 2011 г. частота встречаемости превысила порог 10% и составила 11.84%.

Влияние агроэкологических условий, складывающихся на протяжении восьми лет изучения, на частоту встречаемости видов *Z. tritici*, *P. nodorum* и *P. avenae* определяли с использованием *F*-критерия Фишера (табл. 1).

Таблица 1. Дисперсионный анализ показателей частоты встречаемости видов септориоза на сортах пшеницы Центрально-Чернозёмного региона в зависимости от условий года, складывающихся в процессе вегетации растений (2010 – 2017 гг.)

Table 1. Variance analysis of the occurrence frequency indices of Septoria species on wheat varieties of the Central Black Soil Region depending on conditions of the certain year, made up in the process of plant vegetation (2010–2017)

Виды септориоза (2010 – 2017)	<i>F</i> -критерий Фишера	<i>p</i>
<i>Zimoseptoria tritici</i>	9.37	0.00
<i>Parastagonospora nodorum</i>	11.93	0.00
<i>Parastagonospora avenae</i>	6.73	0.00

Примечание. Курсивом отмечены эффекты, значимые на уровне $p < 0.05$.

Note. The effects significant in the level of $p < 0.05$ are in italics.

Согласно критерию Фишера выявлено влияние агроклиматических условий на частоту встречаемости всех трёх видов септориоза. Особенно сильно условия года влияли на частоту встречаемости вида *Parastagonospora nodorum* (*F*-критерий Фишера = 11.93).

Установлено, что присутствует слабая положительная корреляция между показателями частоты встречаемости вида *Z. tritici* и средней температурой в апреле (0.22) и мае (0.13) (табл. 2). Отмечается обратная слабая корреляция частоты встречаемости вида *P. nodorum* и *P. avenae* от показателей температуры в апреле (-0.167 и -0.233), в мае (-0.109 и -0.100 соответственно). Отсюда следует, что тёплый температурный режим мая и апреля оказывает положительное влияние на частоту встречаемости вида *Z. tritici*, тогда как более прохладные дни этих месяцев скажутся на лучшем развитии видов *P. avenae* и *P. nodorum*.

Имеет место слабая отрицательная корреляция между показателями частоты встречаемости вида *Z. tritici* и влажностью в апреле, июне и средним показателем за 4 месяца (-0.097, -0.117, -0.090 соответственно). Следует отметить слабую прямую связь между частотой встречаемости вида *P. nodorum* и показателем влажности в апреле (0.089), влажности в июне (0.116) и средним показателем за 4 месяца (0.092). Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что вид *P. nodorum* получает преимущественное развитие в годы с более влажной погодой во время вегетации пшеницы в отличие от вида *Z. tritici*, который является более устойчивым к пониженным показателям влажности.

Полученные результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости разных видов септориоза приведены в табл. 3, 4 и 5.

Таблица 2. Показатели коэффициентов корреляции частоты встречаемости видов септориоза
Table 2. Correlation coefficient indices of the species frequency of the genus *Septoria*

Сравниваемые показатели	<i>Zimoseptoria tritici</i>	<i>Parastagonospora nodorum</i>	<i>Parastagonospora avenae</i>
Средняя температура в апреле	0.221	-0.167	-0.233
Средняя температура в мае	0.125	-0.109	-0.100
Средняя температура в июне	-0.046	0.036	0.035
Средняя температура в июле	-0.099	0.087	0.108
Средняя температура за 4 месяца	0.069	-0.059	-0.056
Влажность в апреле	-0.097	0.089	0.077
Влажность в мае	-0.034	0.056	-0.017
Влажность в июне	-0.117	0.116	0.075
Влажность в июле	0.031	0.002	-0.067
Средний показатель влажности за 4 месяца	-0.090	0.092	0.045

Примечание. Курсивом отмеченные корреляции, значимые на уровне $p \leq 0.05$.

Note. Marked correlations are significant in the level of $p \leq 0.05$.

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Parastagonospora avenae*, выделенного с пшеницы, в зависимости от агроклиматических условий года (значения ошибки p при попарном сравнении с поправкой Бонферрони)

Table 3. Results of the variance analysis of intergroup differences on the basis of occurrence frequency of the species *Parastagonospora avenae*, sorted out from wheat, depending on agroclimatic conditions of the year (values of the miscount p in case of pairwise comparison with Bonferroni correction)

Год	Год						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2011	0.000	-	-	-	-	-	-
2012	0.000	0.000	-	-	-	-	-
2013	0.000	0.000	1.000	-	-	-	-
2014	0.000	0.000	1.000	1.000	-	-	-
2015	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-	-
2016	0.039	0.031	0.249	0.145	0.080	0.782	-
2017	0.016	0.106	0.096	0.080	0.028	0.313	1.000

Примечание. Общий итог дисперсионного анализа для сравнения трех и более групп $F = 11.259$, $p \leq 0.05$; ошибка при сравнении всех групп одновременно = 0.0001.

Note. Sum total of the variance analysis for comparison of 3 and more groups: $F = 11.259$, $p \leq 0.05$; error when comparing all the groups simultaneously = 0.0001.

Между сравниваемыми показателями частоты встречаемости видов *Z. tritici*, *P. nodorum* и *P. avenae* на сортах пшеницы в разные годы проведенных исследований наблюдаются различия на принятом уровне значимости между показателями 2010 г. и всех остальных лет исследований. Как отмечалось выше, этот год характеризовался аномально жаркими условиями, низким количеством (местами отсутствием) осадков, почвенной и воздушной засухой.

Условия 2011 г. также отразились на частоте встречаемости видов *Z. tritici* и *P. avenae*. Достоверно отличались условия 2011 – 2012, 2013, 2014, 2015 и 2016 гг., повлиявшие на частоту встречаемости видов (см. табл. 3, 4). В отношении показа-

теля частоты встречаемости вида *P. nodorum* в 2011 г. отмечаются различия с 2012, 2013 и 2014 гг. (см. табл. 5).

Достоверно отличались между собой показатели частоты встречаемости *P. avenae* в 2014 и 2017 гг. (см. табл. 3).

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Zimoseptoria tritici*, выделенного с пшеницы, в зависимости от агроклиматических условий года (значения ошибки p при попарном сравнении с поправкой Бонферрони)

Table 4. Results of the variance analysis of intergroup differences on the basis of occurrence frequency of the species *Zimoseptoria tritici*, sorted out from wheat, depending on agroclimatic conditions of the year (values of the miscount p in case of pairwise comparison with Bonferroni correction)

Год	Год						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2011	0.000	-	-	-	-	-	-
2012	0.000	0.000	-	-	-	-	-
2013	0.001	0.000	1.000	-	-	-	-
2014	0.000	0.000	1.000	1.000	-	-	-
2015	0.003	0.000	1.000	0.466	1.000	-	-
2016	0.001	0.024	0.165	0.003	0.112	1.000	-
2017	0.000	0.116	0.043	0.001	0.027	1.000	1.000

Примечание. Общий итог дисперсионного анализа для сравнения трех и более групп $F = 11.789$, $p \leq 0.05$; ошибка при сравнении всех групп одновременно = 0.0001.

Note. Sum total of the variance analysis for comparison of 3 and more groups: $F = 11.789$, $p \leq 0.05$; error when comparing all the groups simultaneously = 0.0001.

Таблица 5. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Parastagonospora nodorum*, выделенного с пшеницы, в зависимости от агроклиматических условий года (значения ошибки p при попарном сравнении с поправкой Бонферрони)

Table 5. Results of the variance analysis of intergroup differences on the basis of occurrence frequency of the species *Parastagonospora nodorum*, sorted out from wheat, depending on agroclimatic conditions of the year (values of the miscount p in case of pairwise comparison with Bonferroni correction)

Год	Год						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2011	0.000	-	-	-	-	-	-
2012	0.000	0.040	-	-	-	-	-
2013	0.000	0.000	1.000	-	-	-	-
2014	0.000	0.026	1.000	1.000	-	-	-
2015	0.005	0.536	1.000	0.237	1.000	-	-
2016	0.000	1.000	0.094	0.000	0.069	1.000	-
2017	0.014	1.000	1.000	0.078	1.000	1.000	1.000

Примечание. Общий итог дисперсионного анализа для сравнения трех и более групп $F = 6.896$, $p \leq 0.05$; ошибка при сравнении всех групп одновременно = 0.0001.

Note. Sum total of the variance analysis for comparison of 3 and more groups: $F = 6.896$, $p \leq 0.05$; error when comparing all the groups simultaneously = 0.0001.

Подобные различия связаны со значительными изменениями погодных условий во время проведения исследований. Так, наиболее влагообеспеченными были 2012, 2014 и 2015 гг. (см. табл. 3). 2011 год характеризовался прохладной погодой и снижением количества осадков во время весенне-летних месяцев. В 2017 г. осадков выпало ещё меньше (312 мм), чем в 2011 г. (396 мм), однако различия по признаку частоты встречаемости вида *Z. tritici* с годами 2015 (518 мм) и 2016 (262 мм) не отмечаются. По-видимому, имело значение компенсаторное действие факторов значений температуры. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Z. tritici* показали достоверное отличие показателей за 2013 и 2016 гг., несмотря на примерно одинаковые условия, складывающиеся во время вегетации растений. Однако здесь, по-видимому, существенное значение имела перезимовка патогена и отличия в климатических характеристиках предшествующих зимних месяцев, марта и апреля.

Отмечены различия по частоте встречаемости вида *Z. tritici*, выделенные из инфекционного материала в 2012 – 2017, 2013 – 2016, 2013 – 2017 и 2014 – 2017 гг. (см. табл. 4).

Таким образом, несмотря на то, что агроклиматические условия года оказывают влияние на частоту встречаемости видов *Z. tritici*, *P. nodorum* и *P. avenae*, по-видимому, на различия, установленные с использованием *F*-критерия Фишера (см. табл. 4), повлияли показатели 2010 и 2011 гг. В остальные годы существенных отличий для видов *P. nodorum* и *P. avenae* не обнаружено (табл. 6, 8). Для вида *Z. tritici*, кроме того, были отмечены различия по частоте встречаемости, выделенные с инфекционного материала в 2012 – 2017, 2013 – 2016, 2013 – 2017 и 2014 – 2017 гг. (табл. 7).

Таблица 6. Дисперсионный анализ показателей частоты встречаемости видов септориоза на разных жизненных формах и видах пшеницы Центрально-Чернозёмного региона

Table 6. Variance analysis of the occurrence frequency indices of the Septoria species in various life forms and wheat species of the Central Black Soil Region

Виды септориоза	<i>F</i> -критерий Фишера	<i>p</i>
<i>Septoria tritici</i>	8.71	0.00
<i>Stagonospora nodorum</i>	2.00	0.00
<i>Stagonospora avena</i>	1.48	0.23

Примечание. Курсивом отмечены эффекты, значимые на уровне $p < 0.05$.

Note. The effects significant in the level of $p < 0.05$ are in italics.

Анализируя результаты зависимости частоты встречаемости видов септориоза от жизненной формы и вида пшеницы (рис. 2), можно отметить, что существенно-го влияния выявлено не было. Все жизненные формы пшеницы поражаются тремя видами септориоза с одинаковой закономерностью. Частота встречаемости вида *Z. tritici* за время проведённых исследований изменялась от 79.77% на яровой твёрдой пшенице до 86.26 и 88.49% на яровой и озимой мягкой пшенице соответственно.

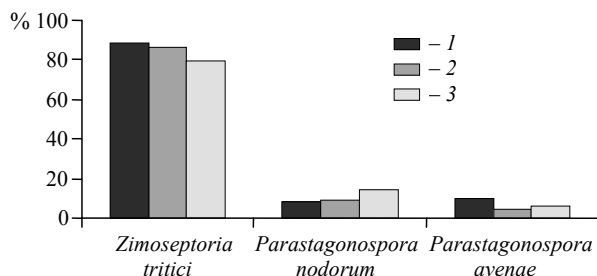


Рис. 2. Видовой состав септориоза на пшенице с территории Центрально-Чернозёмного региона за период 2010 – 2017 гг. в зависимости от жизненной формы и вида пшеницы: 1 – озимая мягкая пшеница, 2 – яровая мягкая пшеница, 3 – яровая твердая пшеница

Fig. 2. Species composition of *Septoria* on wheat in the territory of the Central Black Soil Region during 2010–2017 as depends on the life form and the variety of wheat: 1 – winter soft wheat, 2 – spring soft wheat, 3 – spring durum wheat

Z. tritici, *P. nodorum* и *P. avenae* определяли с использованием *F*-критерия Фишера. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез (*p*) принимался равным 0.05 (см. табл. 6).

Таблица 7. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Parastagonospora avenae*, выделенного с пшеницы, в зависимости от жизненной формы и вида растения-хозяина (значения ошибки *p* при попарном сравнении с поправкой Бонферрони)

Table 7. Results of the variance analysis of intergroup differences on the basis of occurrence frequency of the species *Parastagonospora avenae*, sorted out from wheat, depending on the life form and the host plant species (values of the miscount *p* in case of pairwise comparison with a Bonferroni correction)

Жизненная форма и вид	Жизненная форма и вид	
	Озимая мягкая пшеница	Яровая мягкая пшеница
Яровая мягкая пшеница	1.000000	-
Яровая твёрдая пшеница	0.010130	0.029337

Примечание. Общий итог дисперсионного анализа для сравнения трех и более групп $F = 4.546$, $p \leq 0.05$; ошибка при сравнении всех групп одновременно = 0.011.

Note. Sum total of the variance analysis for comparison of 3 and more groups: $F = 4.546$, $p \leq 0.05$; error when comparing all the groups simultaneously = 0.011.

Согласно *F*-критерию Фишера жизненная форма и вид растения-хозяина достоверно влияет на частоту встречаемости видов *Z. tritici* и *P. nodorum* (*F*-критерий Фишера = 8.71 и 2.00 соответственно). Данный метод не позволил выявить влияние жизненных форм и видов пшеницы на частоту встречаемости вида *P. avenae*.

Частота встречаемости вида *P. nodorum* на сортах озимой мягкой пшеницы была 8.18%, на сортах яровой мягкой пшеницы – 8.99%, на сортах яровой твёрдой пшеницы показатель превысил величину 10% и составил 14.53%.

Вид *P. avenae* отмечен чаще на сортах озимой мягкой пшеницы. Его частота встречаемости составила 9.98%. Реже данным видом поражались сорта яровой мягкой и твёрдой пшеницы – 4.82 и 5.90% соответственно.

Влияние жизненной формы и вида пшеницы на частоту встречаемости видов

Таблица 8. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Zimoseptoria tritici*, выделенного с пшеницы, в зависимости от жизненной формы и вида растения-хозяина (значения ошибки p при попарном сравнении с поправкой Бонферрони)

Table 8. Results of the variance analysis of intergroup differences on the basis of occurrence frequency of the species *Zimoseptoria tritici*, sorted out from wheat, depending on the life form and the host plant species (values of the miscount p in case of pairwise comparison with a Bonferroni correction)

Жизненная форма и вид	Жизненная форма и вид	
	Озимая мягкая пшеница	Яровая мягкая пшеница
Яровая мягкая пшеница	1.000000	-
Яровая твёрдая пшеница	0.003686	0.042913

Примечание. Общий итог дисперсионного анализа для сравнения трех и более групп $F = 5.292$, $p \leq 0.05$; ошибка при сравнении всех групп одновременно = 0.011.

Note. Sum total of the variance analysis for comparison of 3 and more groups: $F = 5.292$, $p \leq 0.05$; error when comparing all the groups simultaneously = 0.005.

При помощи критерия Бонферрони было проведено попарное сравнение средней частоты встречаемости разных видов септориоза в зависимости от жизненной формы и вида растения-хозяина. Полученные результаты представлены в табл. 7, 8 и 9.

Таблица 9. Результаты дисперсионного анализа межгрупповых различий по признаку частоты встречаемости вида *Parastagonospora nodorum*, выделенного с пшеницы, в зависимости от жизненной формы и вида растения-хозяина (значения ошибки p при попарном сравнении с поправкой Бонферрони)

Table 9. Results of the variance analysis of intergroup differences on the basis of occurrence frequency of the species *Parastagonospora nodorum*, sorted out from wheat, depending on the life form and the host plant species (values of the miscount p in case of pairwise comparison with a Bonferroni correction)

Жизненная форма и вид	Жизненная форма и вид	
	Озимая мягкая пшеница	Яровая мягкая пшеница
Яровая мягкая пшеница	0.820692	-
Яровая твёрдая пшеница	0.021446	0.251173

Примечание. Общий итог дисперсионного анализа для сравнения 3-х и более групп $F = 3.711$, $p \leq 0.05$; ошибка при сравнении всех групп одновременно = 0.025.

Note. Sum total of the variance analysis for comparison of 3 and more groups: $F = 3.711$, $p \leq 0.05$; error when comparing all the groups simultaneously = 0.025.

Применение данного статистического метода позволило установить достоверные отличия по частоте встречаемости вида *P. avenae* на мягкой и твёрдой пшенице и отсутствие различий при сравнении частоты встречаемости вида, выделенного с озимой мягкой и яровой мягкой пшеницы.

Подобная тенденция прослеживалась и по отношению к показателю частоты встречаемости вида *Z. tritici* на сортах озимой мягкой, яровой мягкой и яровой твёрдой пшеницы при попарном сравнении. Отмечены различия между мягкими и твёрдыми сортами пшеницы.

При сравнении частоты встречаемости вида *P. nodorum* в зависимости от жизненной формы и вида растения-хозяина установлены достоверные отличия между озимой мягкой пшеницей и яровой твёрдой, различий между яровой мягкой пшеницей и яровой твёрдой пшеницей, озимой мягкой и яровой мягкой пшеницей не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием *F*-критерия Фишера и метода попарного сравнения с поправкой Бонферрони показано достоверное влияние агроклиматических условий года, жизненной формы и вида на формирование видового состава септориозной пятнистости пшеницы.

Изученные показатели коэффициентов корреляции позволили установить, что тёплый температурный режим мая и апреля оказывает положительное влияние на частоту встречаемости вида *Z. tritici*. Средняя температура апреля за 8 лет изучения была +12.39°C, средняя температура мая – +21.73°C. Показано, что более прохладные дни апреля и мая способствовали лучшему развитию видов *P. avenae* и *P. nodorum*. На основании анализа коэффициентов корреляции между частотой встречаемости видов септориоза и показателем средней влажности можно сделать вывод, что вид *P. nodorum* получает преимущественное развитие в годы с более влажной погодой во время вегетации пшеницы в отличие от вида *Z. tritici*, который является более устойчивым к пониженным показателям влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голощанов А. П. Нанотехнологии в защите яровой пшеницы от пыльной головни в Курганской области // Методы исследования в защите растений, генетике, селекции и первичном семеноводстве. Курган : Комстат, 2011. Т. 1. С. 47 – 74.
- Евсеев В. В. Септориоз пшеницы в Зауралье. Саарбрюкке : Paimarium Acad., 2015. 130 с.
- Зеленева Ю. В., Судникова В. П. Встречаемость видов септориоза на посевах зерновых колосовых культурах в Центрально-Чернозёмном регионе России // Эпидемии болезней растений : мониторинг, прогноз, контроль : материалы междунар. конф. Большие Вязёмы : РС-дизайн, 2017. С. 92 – 97.
- Зеленева Ю. В., Судникова В. П. Влияние агроклиматических условий на морфолого-культуральные свойства возбудителя септориоза пшеницы *Stagonospora nodorum* // Стратегия взаимодействия микроорганизмов и растений с окружающей средой : материалы IX Всерос. конф. молодых ученых. Саратов : Изд. центр «Наука», 2019. С. 30.
- Зеленева Ю. В., Судникова В. П., Гусев И. В. Совместное развитие видов септориоза на сортах озимой пшеницы // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция : материалы 2-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых и специалистов с междунар. участием. Саратов : Изд-во «Научная книга», 2018. С. 30 – 35.
- Пахолкова Е. В., Акимова Е. А., Санин С. С., Гудвин С. Б. Особенности эпидемиологии видов *Serptoria* на озимой пшенице в Центральном районе Р.Ф. // 50 лет на страже продовольственной безопасности страны. Большие Вязёмы : Всерос. науч.-исслед. ин-т фитопатологии, 2008. С. 347 – 357.
- Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Куркова Н. А. Эпидемиологические особенности возбудителей септориоза пшеницы *Z. tritici* и *P. nodorum* // Эпидемии болезней растений : мониторинг, прогноз, контроль : материалы междунар. конф. Большие Вязёмы : РС-дизайн, 2017. С. 74 – 81.

Плахотник В. В., Судникова В. П., Артёмов С. В. Некоторые вопросы методологии селекции пшеницы на устойчивость к *Septoria tritici* в Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР) России // Актуальные вопросы иммунитета и защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей : материалы междунар. науч.-практ. конф. Одесса : СП-НЦНС, 2007. С. 20.

Санин С. С. Эпифитотии зерновых культур: распространение во времени и в пространстве // Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке : материалы междунар. науч. конф. СПб. : Копи-Р Групп, 2013. С. 241 – 246.

Склименок Н. А., Буга С. Ф. Влияние факторов погоды на развитие септориоза листьев озимой пшеницы // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем : материалы 8-й междунар. науч.-практ. конф. Краснодар : Всерос. науч.-исслед. ин-т биологической защиты растений, 2014. Вып. 8. С. 89 – 91.

Ben Jabeur M., Somai-Jemmali L., Hamada W. Thyme Essential Oil as an Alternative Mechanism : Biofungicide-causing Sensitivity of *Mycosphaerella graminicola* // J. of Applied Microbiology. 2017. Vol. 122, iss. 4. P. 932 – 939.

Goodwin S. B., Cavaletto J. R., Hale I. L., Thompson I., Xu S. S., Adhikari T. B., Dubcovsky J. A New Map Location of Gene *Stb3* for Resistance to *Septoria tritici* Blotch in Wheat // Crop Science. 2015. Vol. 55, iss. 1. P. 35 – 43.

Kuzdrański A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A., Garbarczyk E., Dziadko P., Muszyńska M., Solarska E. Early PCR Detection of the *Mycosphaerella graminicola* in the Leaves of Winter wheat in Poland // Romanian Agricultural Research. 2015. № 32. P. 491 – 502.

Schilly A., Risser P., Ebmeyer E., Hartl L., Reif J. C., Würschum T., Miedaner T. Stability of Adult-plant Resistance to *Septoria tritici* Blotch in 24 European Winter Wheat Varieties Across Nine Field Environments // J. Phytopathology. 2011. Vol. 159, iss. 6. P. 411 – 416.

Simón M. R., Ayala F. M., Cordo C. A., Röder M. S., Börner A. The Use of Wheat/goatgrass Introgression Lines for the Detection of Gene(s) Determining Resistance to *Septoria tritici* Blotch (*Mycosphaerella graminicola*) // Euphytica. 2007. Vol. 154, iss. 1 – 2. P. 249 – 254.

Torriani S. F., Brunner P. C., McDonald B. A., Sierotzki H. QoI Resistance Emerged Independently at Least 4 Times in European Populations of *Mycosphaerella graminicola* // Pest Management Science. 2009. Vol. 65, iss. 2. P. 155 – 162.

**Influence of Agroclimatic Conditions, Life Form and Host Species
on the Species Complex of Wheat Septoria Pathogens**

Julia V. Zeleneva^{1,2}, <https://orcid.org/0000-0001-9716-288X>; zelenewa@mail.ru

Olga S. Afanasenko³, <https://orcid.org/0000-0003-3087-8597>; info@vizr.spb.ru

Valentina P. Soodnikova, <https://orcid.org/0000-0001-5367-1340>; tmsnifs@mail.ru

¹ Central Russian affiliate Federal Scientific Centre named after I. V. Michurin
Molodyozhnaya St., Novaya Zhizn, Tambov Region 392553, Russia

² Tambov State University named after G. R. Derzhavin
33 Internatsionalnaya St., Tambov 392000, Russia

³ All-Russian Institute of Plant Protection
3 Podbelsky Highway, Saint Petersburg, Pushkin 196608, Russia

Received 27 August 2019, revised 24 December 2019, accepted 16 February 2020

Zeleneva Ju. V., Afanasenko O. S., Soodnikova V. P. Influence of Agroclimatic Conditions, Life Form and Host Species on the Species Complex of Wheat Septoria Pathogens. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 2, pp. 177–190 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-177-190>

Currently, septoria is the basis of the pathogenic complex on wheat crops in Russia, occupying the predominant position among harmful fungal diseases. In case of severe wheat damage, the crop loss caused by the fungus *Z. tritici*, makes up from 10–25 to 40–60%. The crop loss caused by the fungus *P. nodorum* parasitizing is from 10–20 to 30–50% during the years of epiphytoty. The question of the economic significance of *P. avenae* has not yet been examined completely. However, depending on the area of wheat cultivation and the year of observation, its part in the septorian population may reach up to 76.9%. It was of interest to study in detail the influence of conditions of the specific year, life form, and species of wheat on the formation of the species composition of Septoria in the pathogenic complex of wheat. Among the complex set of factors included in the concept of the environment, a significant role belongs to its abiotic components, namely, climate and weather, but the variety as an environment-forming factor has a decisive role. Our studies were carried out during 2010–2017. During the research period, the weather conditions varied significantly over the years and were not always favorable for the development of plants and formation of a good wheat crop. During the study, deviations in the amount of precipitations during the vegetation period, and, in general, over the year from the long-term average annual values, were noted. The years of 2012, 2014 and 2015 were characterized by the highest moisture supply during the vegetation season. It has been predicted that cooler days of April and May will promote the better development of *P. avenae* and *P. nodorum*. *P. nodorum* receives its predominant development during the years with wetter weather within the vegetation period of wheat, in contrast to *Z. tritici* more resistant to low humidity. These data demonstrate adaptation of the pathogen to conditions of an increased temperature regime and reduced rainfall amount.

Keywords: agroclimatic conditions, wheat, varieties, pathogen, resistance.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-177-190>

REFERENCES

- Goloshchapov A. P. Nanotechnologies in Protection of Spring Wheat from Loose Smut in the Kurgan Region. *Metody issledovaniia v zashchite rastenii, genetike, selektsii i pervichnom semenovodstve* [Research Methods in Plant Protection, Genetics, Selection and Primary Seed Farming]. Kurgan, Komstat Publ., 2011, vol. 1, pp. 47–74 (in Russian).
- Evseev V. V. *Wheat Septoria in the Trans-Urals Region*. Saarbrücken, Paimarium Acad., 2015. 130 p. (in Russian).
- Zeleneva Y. V., Sudnikova V. P. Occurrence of Septoriosis Species on Crops of Grain Spike Cereals in the Central Black Soil Region of Russia. In: *Epidemii boleznei rastenii: monitoring, prognoz, kontrol': materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Epidemic of Plant Diseases: Monitoring, Forecast, Control: Materials of the International Conference]. Bolshie Vyazyomy, RS-dizain Publ., 2017, pp. 92–97 (in Russian).
- Zeleneva Y. V., Sudnikova V. P. The Influence of Agroclimatic Conditions on Morphological and Cultural Properties of the Wheat Septoriosis Pathogen *Stagonospora nodorum*. *The Strategy of Interaction of Microorganisms and Plants With the Surrounding Environment: Materials of the IX All-Russian Conference of Young Scientists*. Saratov, Izdatel'skii tsentr "Nauka" Publ., 2019, pp. 30 (in Russian).
- Zeleneva Y. V., Sudnikova V. P., Gusev I. V. Joint Development of Septoriosis Species on Varieties of the Winter Wheat. *Ekologiya, resursosberezhenie i adaptivnaia selektsiia: materialy 2-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov s mezhdunarodnym uchastiem* [Ecology, Resource-saving and Adaptive Selection: Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical Internet-conference of Young Scientists and Specialists With International Participation]. Saratov, Izdatel'stvo "Nauchnaia kniga", 2018, pp. 30–35 (in Russian).
- Paholkova E. V., Akimova E. A., Sanin S. S., Goodvin S. B. Epidemiologic Peculiarities of the Septoria Species Among Winter Wheat in the Central Region of the Russian Federation. In: *50 let na strazhe prodovol'stvennoi bezopasnosti strany* [50 Years on Guard of Food Safety of the Country]. Bolshiye Vyazyomy, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut fitopatologii Publ., 2008, pp. 347–357 (in Russian).
- Paholkova E. V., Salnikova N. N., Koorkova N. A. Epidemiologic Peculiarities of Wheat Septoria Pathogens *Z. tritici* and *P. nodorum*. In: *Epidemii boleznei rastenii: monitoring, prognoz, kontrol': materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Epidemic of Plant Diseases: Monitoring, Forecast, Control: Materials of the International Conference]. Bolshie Vyazyomy, RS-dizain Publ., 2017, pp. 74–81 (in Russian).
- Plakhotnik V. V., Sudnikova V. P., Artyomova S. V. Some Questions of Methodology of Wheat Selection for Resistance to *Septoria tritici* in the Central Black Soil Region of Russia. In: *Aktual'nye voprosy immuniteta i zashchity sel'skokhoziaistvennykh kul'tur ot boleznei i vreditel'ei: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Topical Issues of Immunity and Protection of Agricultural Crops from Diseases and Pests: Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Odessa, SP-NTsNS Publ., 2007, pp. 20 (in Russian).
- Sanin S. S. Epiphytotes of Cereal Crops: Spread in Time and Space. In: *Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Problems of Microbiology and Phytopathology in the XXI Century: Materials of the International Scientific Conference]. Saint Petersburg, Kopi-R Grupp Publ., 2013, pp. 241–246 (in Russian).
- Sklimenok N. A., Booga S. F. Influence of Weather Factors Onto Development of Septoria Leaf Blotch of Winter Wheat. *Biological Protection of Plants as the Stabilization Basis of Agroecosystems: Materials of the 8th International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut biologicheskoi zashchity rastenii Publ., 2014, iss. 8, pp. 89–91 (in Russian).

Ben Jabeur M., Somai-Jemmali L., Hamada W. Thyme Essential Oil as an Alternative Mechanism : Biofungicide-causing Sensitivity of *Mycosphaerella graminicola*. *J. of Applied Microbiology*, 2017, vol. 122, iss. 4, pp. 932–939.

Goodwin S. B., Cavaletto J. R., Hale I. L., Thompson I., Xu S. S., Adhikari T. B., Dubcovsky J. A New Map Location of Gene *Stb3* for Resistance to *Septoria tritici* Blotch in Wheat. *Crop Science*, 2015, vol. 55, iss. 1, pp. 35–43.

Kuzdraliński A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A., Garbarczyk E., Dziadko P., Muszyńska M., Solarska E. Early PCR Detection of the *Mycosphaerella graminicola* in the Leaves of Winter wheat in Poland. *Romanian Agricultural Research*, 2015, no. 32, pp. 491–502.

Schilly A., Risser P., Ebmeyer E., Hartl L., Reif J. C., Würschum T., Miedaner T. Stability of Adult-plant Resistance to *Septoria tritici* Blotch in 24 European Winter Wheat Varieties Across Nine Field Environments. *J. Phytopathology*, 2011, vol. 159, iss. 6, pp. 411–416.

Simón M. R., Ayala F. M., Cordo C. A., Röder M. S., Börner A. The Use of Wheat/goatgrass Introgression Lines for the Detection of Gene(s) Determining Resistance to *Septoria tritici* Blotch (*Mycosphaerella graminicola*). *Euphytica*, 2007, vol. 154, iss. 1–2, pp. 249–254.

Torriani S. F., Brunner P. C., McDonald B. A., Sierotzki H. QoI Resistance Emerged Independently at Least 4 Times in European Populations of *Mycosphaerella graminicola*. *Pest Management Science*, 2009, vol. 65, iss. 2, pp. 155–162.