

Влияние на нападението от основни причинители на кореново и базично гниене върху структурни елементи на добива от пшеница

Иво Янашков, Ценко Въчев*

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкарров”,
направление „Защита на растенията”, отдел “Фитопатология” – Костинброд

*E-mail: vatchevtzenko@yahoo.com

Резюме

В настоящото изследване беше проследен ефектът от нападението на пет основни почвообитаващи фитопатогенни гъби – *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Drechslera sorokiniana* и *Rhizoctonia solani*, самостоятелно и в комбинация от петте патогена, върху структурни елементи на добива от пшеница, сорт Ласка 5. Първоначално всички инфекции водеха до гниене на семената и кълновете, загиване на пониците и като резултат – прореждане на посева от опитната култура. Най-силни прояви на кореново и базично гниене бяха установени в по-късни фенофази по растенията, инокулирани самостоятелно с *F. culmorum* и смесен инокулум от петте патогенни гъби – индекс на нападение, съответно 3.6 и 3.8, докато растенията от неинокулираната контрола оставаха видимо здрави. Отчетените индекси на нападение, резултат от самостоятелни инфекции с останалите патогени, варираха между 2.9 и 1.6. Резултатите от изследването сочат значително ($P \leq 0.001$) редуциране на структурни елементи на добива от болни пшеничени растения спрямо тези от неинокулираната контрола. Най-голяма дължина на корена беше отчетена в неинокулираната контрола (20.4 cm), а най-малка при растенията, инокулирани с *F. culmorum* и със смес от петте патогена (12.1 и 12.2 cm). При тези два варианта беше констатирано най-силно редуциране на относителното (0.31g и 0.35 g) и абсолютното тегло на корените (2.5 и 2.6 g), докато при контролните неинокулирани растения тези показатели бяха съответно 0.76 g и 3.7 g. Дължината и теглото на корените в другите варианти също показваха значително по-ниски стойности спрямо контролата ($P \leq 0.001$). Растенията, инокулирани с *F. culmorum* и със смесен инокулум образуваха най-ниски стъбла – 52.2 cm и 52.4 cm, съответно, значително по ниски ($P \leq 0.001$) от неинокулираните (84.4 cm). Заболяванията, причинявани от *F. culmorum* и *D. sorokiniana*, са свързани с формиране на най-малък брой листа – 3.6 на едно растение. Броят на листата в останалите варианти с инокулиране беше между 4.0 и 5.2 на едно растение и като цяло редуциран в сравнение с контролата (5.5 листа). Най-малък брой класове – 6.2 на едно растение, бяха формирани от растенията, инокулирани със смесен инокулум от петте патогена, както и във варианта с *F. graminearum* (10.2). Самостоятелните инфекции с *F. oxysporum*, *D. sorokiniana* и *R. solani* не водеха до значително редуциране на този показател, като броя на класовете, формирани на едно растение от съответните варианти беше близък до този на неинокулираните растения – 14.2. Дължината на класа беше най-малка при растенията, инокулирани с *F. culmorum* (3.2 cm), след което се нареждаха вариантите със смесен инокулум от петте вида гъби (4.0 cm), *F. graminearum* (4.1 cm), *D. sorokiniana* (5.0 cm), *R. solani* (5.0 cm), *F. oxysporum* (5.2 cm), а в контролния вариант без патоген – 6.5 cm. Значително редуциране на броя зърна от един клас беше установено във всички варианти с внесен инокулум от патогенни гъби – в най-голяма степен с *F. culmorum* (17.9), докато формираните зърна от клас по контролните растения беше най-висок – 31.2. Според показателите маса на 1000 зърна и хектолитрова маса на зърното най-силно изразени загуби бяха констатирани при смесените инфекции – 38.5 g и 65.0 kg и във варианта със самостоятелен инокулум на *F. culmorum* – 38.8 g и 64.4 kg, съответно. В останалите варианти с инокулиране също се наблюдаваха значително понижени стойности на двата показателя (42.4-45.2 g и 64.4-78.1 kg) спрямо контролата (48.1 g и 82.7 kg, съответно). Резултатите от изследванията ясно демонстрират, че всички изследвани почвени патогенни гъби, атакуващи кореновата система и основата на растенията водят до значително редуциране на структурните параметри на добива от пшеница. За минимизиране на загубите

е налице необходимост от разработване и внедряване в производството на системи за борба, ефективни срещу целия комплекс от причинители на кореново и базично гниене по растенията.

Ключови думи: пшеница; почвообитаващи гъбни патогени; структурни елементи на добива

Influence of the attack by major causal agents of root and lower stem rot on structural elements of wheat yield

Ivo Yanashkov, Tzenko Vatchev*

Institute of Soil Science, Agro-Technologies and Plant Protection “Nikola Pushkarov”, Plant Protection Division, Department of Plant Pathology – Kostinbrod, Bulgaria

*E-mail: vatchevtzenko@yahoo.com

Abstract

Yanashkov, I. & Vatchev, Tz. (2018). Influence of the attack by major causal agents of root and lower stem rot on structural elements of wheat yield. *Rastenievadni nauki*, 55(5), 22–32

The present study evaluated the effect of individual or mixed infections by five major soil-inhabiting fungal pathogens - *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Drechslera sorokiniana* and *Rhizoctonia solani* on structural elements of wheat (c. Laska 5) yield. Initially, all infections led to pre-emergence decay of seeds and post-emergence damping-off of wheat seedlings. In later phenological phases, the highest disease severity indices were observed on plants inoculated with *F. culmorum* and the five pathogens concomitantly – 3.6 and 3.8, respectively, while the non-inoculated control plants remained visually healthy. Recorded disease indices resulting from single infections with the other pathogens varied between 2.9 and 1.6. The results of the study showed a significant ($P \leq 0.001$) reduction in both structural elements of the yield from diseased wheat plants as compared to those from the non-inoculated control plants. Thus, the longest roots exhibited non-inoculated control plants (20.4 cm) and the shortest roots had the plants inoculated with *F. culmorum* and the mixture of the five pathogens – 12.1 and 12.2 cm, respectively. In these two treatments, the most significant reductions were recorded in the relative root weight (0.31g and 0.35 g) and in the absolute root weight (2.5 g and 2.6 g), while in the uninoculated control these parameters were 0.76 g and 3.7 g, respectively. The length and weight of the roots in the other treatments also showed significantly lower values compared to the control ($P \leq 0.001$). Plants inoculated with *F. culmorum* and mixed inoculum formed the lowest stems - 52.2 cm and 52.4 cm, respectively, significantly lower ($P \leq 0.001$) than the stems of non-inoculated plants (84.4 cm). The diseases caused by *F. culmorum* and *D. sorokiniana* were associated with formation of the lowest number of leaves – 3.6 per plant. The numbers of leaves in the other treatments with inoculations were between 4.0 and 5.2 per plant and generally lower as compared to the control (5.5 leaves). The least number of spikes – 6.2 per plant, formed the plants inoculated with mixed inoculum of the five pathogens, as well as in the treatment with *F. graminearum* (10.2). The single infections with *F. oxysporum*, *D. sorokiniana*, and *R. solani* led to no significant reduction of this element as compared to the number of spikes formed on a single uninoculated plant – 14.2. The smallest spike length had the plants inoculated with *F. culmorum* (3.2 cm), followed by the treatments with mixed inoculum of the five fungal species (4.0 cm), *F. graminearum* (4.1 cm), *D. sorokiniana* (5.0 cm.), *R. solani* (5.0 cm) and *F. oxysporum* (5.2 cm); the largest was the spike length of plants in the control treatment without pathogen inoculation. Significant ($P \leq 0.001$) reductions in number of grains per spike were found in all treatments with inoculations. The most expressive was this reduction in plants inoculated with *F. culmorum* (17.9), while the control plants had the highest number of grains per spike – 31.2. With regard to the structural elements of yield, the mass of 1000 grains and hectoliter weight of grain yield, most pronounced losses were found in the mixed infection – 38.5 g and 65.0 kg, respectively and in the treatment with a single inoculum of *F. culmorum* - 38.8 g and 64.4 kg, respectively. Significantly reduced values of these two parameters were observed in all other inoculum treatments (42.4-45.2 g and 64.4-78.1 kg) compared to the control (48.1 g and 82.7 kg, respectively). The results presented herewith clearly demonstrate that all the soilborne fungal pathogens included in the study cause significant reductions in structural elements of wheat yield. In order

to minimize the yield losses in wheat fields, an integrated disease control management program, effective against the whole complex of root and lower stem rot causal agents should be developed and put to practice.

Keywords: wheat; soilborne fungal pathogens; yield structural elements

Пшеницата е основна житна култура със слята повърхност, обект на нападение от редица почвообитаващи патогени, в т.ч. гъби от род *Fusarium*, *Drechslera*, *Rhizoctonia* и др. (Atanasov et al., 1932; Todorova and Karzhin, 1972; Mladenov, 1974; Karadjova, 1979; Mladenov and Karadjova, 1982; Singleton et al., 1992; Strausbaugh et al., 2004; Yanashkov et al., 2016; 2017). Видове *Fusarium* spp. са едни от най-широко разпространените и често срещани причинители на гниене на кълновете преди поникване, некротични напътнявания по основата на стъблото и първите един-два листа, последвано от загиване на младите поничи, и прореждане на посеви-те от пшеница в ранни фази от развитието на растения (Karadjova, 1979; Hafiz, 1986; Kishwar et al., 1992; Khan et al., 2006). През по-късни фенофази инфекциите се характеризират с прояви на некротично напътняване и гниене по корените и основата на стъблата на растенията (Cook and Christen, 1975; Paulitz and Adams, 2003). Сред тази група патогени видът *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder & Hansen се счита за повсеместно разпространен в районите с отглеждане на пшеница и други житни култури със слята повърхност (Rayllo, 1950; Mueller, 1977; Dimitrov, 1980; Bottalico, 1998; Yanashkov et al., 2017). Инфекциите по корените, причинявани от видовете *Fusarium graminearum* Schwabe и *Fusarium culmorum* (Wm.G.Sm.) Sacc. са свързани със значителни икономически загуби в умерените и субтропични географски ширини (Atanasov et al., 1932; Mladenov, 1974; Karadjova, 1979; Mladenov and Karadjova, 1982; Rennie et al., 1983; Gebremariam et al., 2018). Освен с повредите по кореновата система, ниските добиви от заразени с *Fusarium* spp. пшеничени растения се свързват с по-слабо братене (Duczek, 1989; Sharma, 2012), редуциран растеж (Campbell and Ephgrave, 1983; Smiley et al., 2005), увяхване на листната маса (Carter et al., 1999), преждевременно стареене на класа („белокласие“) (Bottalico, 1998; Bockus et al., 2010; Chongo et al., 2001; Cook

et al., 2002; Trail et al., 2002; Goswami and Kistler, 2004; Moya-Elizondo et al., 2015), спаружване на зърното (Weise, 1987) и др.

В условията на по-влажен климат по корените на пшеницата се наблюдават некротични напътнявания и гниене, причинявани от вида *Drechslera sorokiniana* (Sacc.) Subram. & B.L. Jain (syn. *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker, (syn. *Helminthosporium sativum*) Pammel, C.M. King & Bakke, анаморф) с полова форма *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur (Oswald, 1950; Mathre, 1982; Weise, 1987; McDonald, 2017). По-късно през вегетацията заболяването преминава от корените към основата на стъблото. По тези части, както и по ниско разположените обвивни листа се развиват некротични участъци (Mathre, 1982; Weise, 1987), които се разрастват, и през периода на изкласяване водят до прегаряне на засегнатите петури (Weise, 1987; Singleton, 1996). Представителите на род *Drechslera* често участват в смесени инфекции по корените и базите на житните култури в комбинация с гъби от род *Fusarium* (Butler, 1961; Smiley et al., 2005; Moya-Elizondo, 2011).

С прояви на базично гниене и полягане на посева е свързано нападението от *Rhizoctonia solani* Kühn (Pitt, 1964; Parmeter, 1970; Weise, 1987; Hayden, 2018). Заболяването причинява най-големи загуби по пшеницата в умерените географски ширини и на континента Австралия (Clarkson and Cook, 1983; Wiese 1987; Murray and Brennan, 2009, 2010). Симптоматиката често се изразява с ясно очертани, неравномерно разпръснати огнища („хармани“) от болни или загинали растения (Weise, 1987; MacNish and Neate, 1996; Paulitz et al., 2010).

От представените литературни източници, както и от предходни наши публикации (Yanashkov et al., 2016, 2017) става ясно, че почвените гъбни патогени, в т.ч. *Fusarium* spp., *D. sorokiniana* и *R. solani*, са сред най-често срещаните причинители на заболявания по корените на житните култури, атакуващи растения самостоятелно

или едновременно – в комплекси от две и повече таксономични единици (Duben and Fehrmann, 1979; Sturz and Bernier, 1987; Miedaner, 1997; Smiley et al., 2005; Sun et al., 2018). Същевременно у нас липсва актуализирана информация относно влиянието на гъбните инфекции по кореновата система на житните със слята повърхност върху количеството и качеството на добива от зърно. Целта на настоящото изследване беше да се установи ефектът на нападението от почвообитаващи причинители на кореново и базично гниене по пшеницата върху биометрични характеристики на растенията и структурни параметри на добива от зърно (Shanin, 1977; Popova et al., 2013; Dimitrova-Doneva, 2016).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Патологични системи

За целите на настоящото изследване беше използвана зимна пшеница (сорт Ласка 5), инфектирана с пет вида патогенни гъби, в т.ч. *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *D. sorokiniana* и *R. solani* – поотделно и в комбинация от петте патогена едновременно. В изследването бяха включени наши изолати на патогените, изолирани през предходни години от корени и бази на симптомни пшеничени растения. В предварителни опити беше установена патогенността на изолатите и доказана способността им да причиняват гниене на кълновете, загиване на пониците, кореново и базично гниене по растенията. Освен това, използваните представителни изолати от род *Fusarium* доказано причиняваха гниене по класовете, а *D. sorokiniana* – некрози по листата на опитната култура.

Експериментален модул и условия на експериментиране

Опитите бяха проведени на открито на опитно поле на направление Защита на растенията, ИПАЗР „Н. Пушкаргов” край гр. Костинброд. Използваните експериментални единици представляваха пластмасови саксии с отвор 25 cm в диаметър, височина 28 cm, обем 11 L и четири стандартни (1.5 cm в диаметър) отвора на дъното. За създаване на условия максимално близки до производствените, съдовете бяха вкопавани

в почвата на дълбочина 25 cm, така че ръбът на отвора на всеки съд да остане на 3 cm над нивото на почвената повърхност. Същевременно за спазване на пространствена изолация между вариантите, съдовете бяха разполагани на разстояние 50 cm един от друг. Във всеки съд бяха насипвани по 10 L почва, тип Чернозем-Смолница (1.2% пясък, 64.5% глина, 16.6% прах, 4.71% хумус, рН (KCl) 5.46), събрана от същото опитно поле, ръчно размесена и пресята през сито с отвори 2 cm. Инокулум на патогените беше развиван в чисти култури, в продължение на 14 дни, в стъклени колби при 26°C върху предварително автоклавирани (30 min на 121°C) ечемичени зърна. Опитната почва беше инокулирана по варианти, като по 7.5 g инокулум на съответната гъба или смес от равни части по 1.5 g инокулум на всеки от петте патогена беше внасян на 1L почва. Почвата в контролните варианти беше оставяна неинокулирана, с внесено същото количество неинокулирани, автоклавирани ечемичени зърна. В така подготвените експериментални единици предварително бяха посявани по 15 семена от пшеница, а получените растения бяха култивирани в продължение на 90 дни с цел трайно установяване на патогените и хомогенизиране на инокулума в почвата. След изкореняване на растенията, почвата беше насипвана по варианти, допълнително размесвана и връщана в същите вегетационни съдове. За провеждане на фактическите опити във всеки съд бяха посявани по 15 броя семена от пшеница, сорт Ласка 5. След успешно поникване броят на пшеничените растения беше довеждан до 10 на съд.

Експериментален дизайн

За всеки вариант с инокулиране и неинокулираната, включена в схемата на опита контрола бяха използвани по пет повторения – отделни вегетационни съдове, разположени в пет напълно рандомизирани блока – пет реда с по шест експериментални единици в ред.

Отчитане на данни

Опитните растения бяха култивирани в продължение на девет месеца след сеитбата – от октомври до юли, следващата календарна година. В края на опитите инокулираните и неинокулирани (контролни) растения бяха изваждани вни-

мателно, кореновата им система беше промивана на течаша вода и подсушавана между двуслойна филтърна хартия. Отчитани бяха прояви на кореново и базично гниене (Ledingham et al., 1973). Степента на нападение по корените и базите на всяко растение беше отчитана по разработена от нас шест-бална скала (0-5), където 0 съответства на липса на видими повреди по корените, 1=1-25%, 2= 26-50%, 3=51-75%, 4=76-100% от кореновата система е обхваната от некротични напетнявания, 5=кореновата система, изцяло обхваната от гниене, при което болните растения увяхват трайно и загиват. Индексът на нападение беше изчислен като средна стойност от степените на нападение по корените на растенията за всяко отделно повторение и вариант.

В края на опитите от всички растения по варианти бяха събирани биометрични данни, съответстващи на структурни параметри на добива от зърно, използвани в предходни изследвания на наши автори, като Shanin (1977), Ilieva (2011), Popova et al. (2013), Desheva and Chavdarov (2015) и Dimitrova-Doneva (2016). Отчитани бяха дължина и тегло на кореновата система, дължина на стъблата и брой листа за всяко растение. Относително тегло на корена беше изчислявано като отношение между абсолютното му тегло и неговата дължина. Отчитани бяха структурни елементи на добива – продуктивна братимост (брой класове във всяко повторение), дължина на класа и брой зърна в клас, както и качествените показатели тегло на 1000 зърна и хектолитрова маса на зърното.

Опитите бяха проведени двукратно. В края на всеки опит от корените и основата на стъблата на опитните растения от вариантите с инокулиране бяха правени реизолации за потвърждаване на естеството на заболяване и инфекцията от съответния вид патоген.

Статистически анализи

Получените експериментални данни бяха анализирани след статистическа обработка по стандартен метод за вариационен анализ и по метода на Duncan, използващи *F*-тест за оценка на значимостта на анализа при нива на достоверност при $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ и $P \leq 0.001$ (Gardiner, 1997). Всички анализи бяха извършвани с програмен продукт, разработен в направление Защита на растенията, гр. Костинброд (Maneva,

2007). Експерименталните данни, получени след двукратно провеждане на опита бяха анализирани поотделно за установяване на хомогенност на резултатите, след което – обединени, анализирани и интерпретирани съвместно.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

В резултат на култивиране на пшеница в излужена Чернозем-Смолница, без изкуствено инокулиране с патоген (контролен вариант 1, Таблица 1) бяха наблюдавани незначителни прояви на кореново гниене, дължащи се на вероятен въздушен пренос на инокулум по време на вегетацията на растенията. Статистически значими разлики ($P \leq 0.001$) в индекса на нападение бяха констатирани във вариантите с изкуствено инокулиране на растенията с петте патогена, самостоятелно или в комбинация. Най-силно нападение по кореновата система беше отчетено във варианта със самостоятелен инокулум на вида *F. culmorum* – индекс на нападение 3.6. Относително по-нисък индекс на нападение – 2.9 и 1.6, показаха вариантите с внесен инокулум на другите два вида от род *Fusarium*, съответно *F. graminearum* или *F. oxysporum*. За висока агресивност на вида *F. culmorum*, като патоген по корените и базите на пшеница и други житни видове, съобщават още Colhoun et al. (1968), Malalasekera et al. (1973), Scherm et al. (2013) и др. Резултатите от тези опити и предходни наши изследвания (Yanashkov et al., 2017; Yanashkov, 2018) показват, че видът *F. culmorum* се характеризира като един от най-високо агресивните сред комплекса причинители на фузариози по житните култури в нашата страна и в чужбина. По-слабо кореново гниене и по-силно изразени некротични напетнявания в основата на стъблата бяха наблюдавани след инокулиране на опитните пшеничени растения с гъбите *R. solani* или *D. sorokiniana* – индекс на нападение, съответно 2.1 и 1.8. Най-висок индекс на нападение – 3.8, но статистически идентичен с този на *F. culmorum*, беше установен по растенията, отглеждани в почва, изкуствено инокулирана с комбиниран инокулум от петте патогенни гъби (вариант 7). Смесената инфекция от изпитваните пет вида гъби доведе до значително по-силни поражения по корените и базите на пшеницата в сравнение

с нападението от останалите патогени, внесени самостоятелно в почвата. За по-силен – адитивен или синергистичен, ефект от комбинираните инфекции по корените на пшеница и други житни култури съобщават още Lyamani (1988), Matusinsky et al. (2008), Lamichhane and Venturi (2015). По-високата вредоносност, резултат от смесен инокулум на различни видове патогенни гъби в настоящото и предходни изследвания, вероятно отразява реалния ефект от инфекции по корените на житни култури, породени от различни асоциации от патогени, „естествено“ обитаващи обработваемите почви и ризосферата на растенията (Braithwaite et al., 1998; Mao et al., 1998; Paulitz et al., 2010; Yanashkov et al., 2016; 2017).

Влиянието на патологичния процес върху биометрични (структурообразуващи) характе-

ристики на болните растения се проследява от резултатите, представени на Таблица 2. В сравнение с неинокулираната контрола, растенията от вариантите, инокулирани с *F. culmorum*, *F. graminearum*, *R. solani* и смес от петте патогена формираха значително по-къса коренова система ($P \leq 0.001$). Сред тях най-силно редуцирани бяха корените на растенията с най-висок индекс на нападение – тези от вариантите с внесен инокулум от *F. culmorum* и смес от петте патогена – съответно 12.1 и 12.2 cm. Макар и редуцирана, дължината на корените на растенията, инокулирани с останалите два патогена – *F. oxysporum* и *D. sorokiniana*, беше статистически идентична с тази на контролните, неинокулирани растения. Значително по-ниски стойности на параметрите абсолютно и относително тегло на кореновата система бяха отчетени във всички варианти с

Таблица 1. Прояви на кореново и базично гниене по пшеница в излужена чернозем-смолница след инокулиране с пет вида патогенни гъби, самостоятелно и в комбинация

Table 1. Disease intensity of root and crown rot of wheat in Luvic Vertisol soil type inoculated with five pathogenic fungi, either individually or in combination

№	Патоген/ Pathogen	Индекс на нападение*/ Disease index*	Разпределение по Duncan**/ Duncan's range test**	Статистическа доказаност/ Statistical significance
1	Без/None	0.2	a	Контрола/Control
2	<i>F. culmorum</i>	3.6	d	+++
3	<i>F. graminearum</i>	2.9	c	+++
4	<i>F. oxysporum</i>	1.6	a	C
5	<i>D. sorokiniana</i>	1.8	a	ns
6	<i>R. solani</i>	2.1	b	+++
7	Смесен инокулум/Mixed inoculum	3.8	d	+++

$$F = 99.05$$

$$Sd = 2.25 \text{ LSD}_{0.001} = 0.18$$

ns – статистически недоказана разлика / ns – non-significant difference

+ = $P \leq 0.05$; ++ = $P \leq 0.01$; +++ = $P \leq 0.001$

*Индексът на нападение е изчислен като средна стойност от степента на нападение по корените и базите на растенията в съответния вариант от два последователно проведени опита. Степента на нападение е отчетена по 0-5 бална скала, където 0 = липса на видими повреди по кореновата система; 5 = коренова система, изцяло обхваната от гниене, болните растения увяхват трайно и загиват.

*Disease index is calculated as an average value of disease severity assessed on roots and lower stems of the plants in each treatment after two successive experiments using 0-5 rating scale, where 0 = no lesions on root system; 5 = partial or entire root destruction resulting in wilted or death plant.

**Стойности, обозначени с различни символи, са статистически различни при $P \leq 0.001$, съгласно метода на Duncan.

**Means without a letter in common are significantly different at $P \leq 0.001$ according to the range test of Duncan.

внесен инокулум на патогенни гъби. Най-значим негативен ефект върху абсолютното тегло на корените оказаха самостоятелното заразяване с *F. culmorum* и комбинираното с пет патогенни гъби. Най-вероятно като резултат от това, растенията, инокулирани с *F. culmorum* и смес от пет патогена оставаха с най-ниска дължина на стъбла (52 cm). Значително по-ниски спрямо контролата (84.4 cm) бяха растенията и в останалите варианти с инокулиране – между 57.9 cm за *F. graminearum* и 69.5, и 69.9 cm, съответно за *D. sorokiniana*, и *R. solani*.

Видно от резултатите, представени на Таблица 2 е, че всички заразени с патогенни гъби растения формираха значително по-малък брой листа в сравнение с контролните. Броят на листата беше най-силно редуциран във вариантите с *F. culmorum* и *D. sorokiniana* – до 3.6 листа на едно растение при 5.5 за контролата. Ако отчетеният негативен ефект от инфекцията с първия от двата патогена може да се отдаде на по-силните повреди по корените на растенията, то що се отнася до вида *D. sorokiniana*, беше наблюдавана директна атака и напетняване по

най-долните листа на опитните растения, което водеше до прегаряне и загиване на цели листни петури.

От резултатите, представени на Таблица 3 се вижда, че най-малък брой класове (6.2 на едно растение) бяха формирани във варианта със смесен инокулум от петте патогенни гъби. Статистически значително редуциране на броя на класовете спрямо неинокулираната контрола се наблюдаваше по растенията, инокулирани самостоятелно с *F. culmorum* и *F. graminearum*. Същевременно самостоятелните инфекции с *F. oxysporum*, *D. sorokiniana* или *R. solani* по кореновата система не се отразяваха негативно върху изследвания показател: броят на класовете, отчетен върху всяко от растенията в съответните варианти беше идентичен с този в контролния вариант – над 14 класа на растение.

Спрямо контролата – измерена средна дължина от 6.5 cm, дължината на класа беше значително по-малка във всички варианти с внесен в почвата патоген (Таблица 3). Най-къси класове – 3.2 cm, бяха измерени по растенията, инокулирани с гъбата *F. culmorum*, следвани от тези с

Таблица 2. Биометрични характеристики на болни пшеничени растения, сорт Ласка 5, култивирани в излужена Чернозем-Смолница, инокулирана с пет вида патогенни гъби, самостоятелно и в комбинация

Table 2. Biometric characteristics of diseased wheat plants, cultivar Laska 5 in Luvic Vertisol soil type inoculated with five pathogenic fungi, either individually or in combination

№	Патоген/ Pathogen	Дължина на корена/ Length of the root (cm)	Абсолютно тегло на корена/ Absolute weight of the root (g)	Относително тегло на корена/ Relative weight of the root (g)	Височина на стъблото/ Length of the stem (cm)	Брой листа/ Number of leaves
1	Без/None	20.4 a	0.76 a	3.7 a	84.4 a	5.5 a*
2	<i>F. culmorum</i>	12.1 c	0.35 e	2.5 d	52.4 d	3.6 e
3	<i>F. graminearum</i>	16.0 b	0.43 d	3.1 b	57.9 c	4.0 d
4	<i>F. oxysporum</i>	18.5 ab	0.49 b	2.7 cd	69.8 b	5.2 b
5	<i>D. sorokiniana</i>	19.0 ab	0.48 bc	2.5 d	69.9 b	3.6 e
6	<i>R. solani</i>	17.2 b	0.46 c	2.7 c	69.5 b	4.5 c
7	Смес/Mix	12.2 c	0.31 f	2.6 d	52.2 d	4.4 c
	F	52.36	65.58	33.79	129.31	82.55
	Sd	1.16	0.008	0.054	0.459	0.117
	LSD _{0.05}	2.39	0.017	0.112	0.945	0.242

*Стойности, обозначени с различен буквен символ, са статистически различни при $P \leq 0.001$, съгласно метода за разпределение на Duncan

*Means without a letter in common are significantly different at $P \leq 0.001$ according to the range test of Duncan

F. graminearum и внесен инокулум от петте патогена – 4 cm. Закономерно, аналогични резултати бяха отчетени и по отношение на останалите три структурни елемента на добива – брой зърна в клас, маса на 1000 зърна и хектолитрово тегло. Една и съща тенденция беше наблюдавана и за трите изследвани параметри: значително по-ниски стойности във всички варианти с инокулирани с патоген растения в сравнение с неинокулираната контрола. И тук с най-силно изразен негативен ефект се отличаваха видът *F. culmorum* и комбинацията от пет патогенни гъби (Таблица 3).

Получените от нас резултати са изцяло в синхрон с установеното от редица други автори, които свързват проявите на кореново и базично гниене по пшеница и други житни култури със слята повърхност, резултат от нападение от почвообитаващи патогенни гъби със значим негативен ефект върху количеството и качеството на добива от зърно (Ledingham et al., 1973; Wildermuth et al., 1992; Duveiller et al., 1997; Schoeny et al., 2001).

Настоящото изследване доказва пряко влияние на гъбните инфекции по кореновата систе-

ма на растенията върху структурните елементи на добива от пшеница.

В хода на изследването във всички варианти с инфектирани с патоген растения бяха отчетени и статистически доказани по-ниски стойности на наблюдаваните параметри, в т.ч. дължина и тегло на кореновата система, дължина на стъблата, брой листа на растение, брой класове, дължина на класа, брой зърна в клас, тегло на 1000 зърна и хектолитрова маса на зърното в сравнение с тези при видимо здравите растения от неинокулираната контрола.

Повечето от публикуваните литературни източници разглеждат изолирано влиянието на отделни патогенни видове върху един или друг елемент на добива от зърно. Така кореновото и базично гниене по пшеницата с причинителите *Fusarium* spp. и *D. sorokiniana* е свързано с редуциране на структурни параметри на добива, в т.ч. брой и дължина на класовете, маса на 1000 зърна и хектолитрово тегло на зърното. Вследствие на по-слабо братене (Duczek, 1989; Sharma, 2012), редуциран растеж (Campbell and Ephgrave, 1983; Smiley et al., 2005), увяхване на листната маса (Carter et al., 1999), преж-

Таблица 3. Структурни елементи на добива от пшеница, сорт Ласка 5, култивирана в излужена Чернозем-Смолница, инокулирана с пет вида патогенни гъби, самостоятелно и в комбинация

Table 3. Structural elements of yield of wheat, cultivar Laska 5 in Luvic Vertisol soil type inoculated with five pathogenic fungi, either individually or in combination

№	Патоген/ Pathogen	Брой класове/ Number of fertile tillers	Дължина на класа/ Length of spike (cm)	Брой зърна в клас/ Grain number per spike	Маса на 1000 зърна/ 1000 grains weight (g)	Хектолитрова маса на зърното/ Hectoliter weight on grain yield (kg)
1	Без/None	14.2 a*	6.5 a	31.2 a	48.1 a	82.7 a
2	<i>F. culmorum</i>	8.0 c	3.2 d	17.9 e	38.8 e	64.4 c
3	<i>F. graminearum</i>	10.2 b	4.1 c	20.9 d	42.4 d	73.2 b
4	<i>F. oxysporum</i>	15.0 a	5.1 b	28.1 b	43.7 c	75.9 b
5	<i>D. sorokiniana</i>	14.2 a	5.0 b	28.0 b	45.1 b	78.0 b
6	<i>R. solani</i>	14.8 a	5.0 b	26.9 c	45.2 b	78.1 b
7	Смес/Mix	6.2 d	4.0 c	21.6 d	38.5 e	65.0 c
	F	101.020	98.120	300.710	159,980	
	Sd	0.511	0.104	0.393	0,231	
	LSD _{0,05}	1.042	0.212	0.802	0,471	

*Стойности, обозначени с различен буквен символ, са статистически различни при $P \leq 0.001$, съгласно метода за разпределение на Duncan

*Means without a letter in common are significantly different at $P \leq 0.001$ according to the range test of Duncan

двевременно стареене на класа (Bottalico, 1998; Bockus et al., 2010; Chongo et al., 2001; Cook et al., 2002; Trail et al., 2002; Goswami and Kistler, 2004; Moya-Elizondo et al., 2015) и спаружване на зърното (Weise, 1987) се получават по-ниски добиви с влошени стопански качества.

От получените от нас резултати става ясно, че редуцирани стойности на структурните параметри на добива се наблюдават при инокулиране на растенията с по-агресивни патогени, като *F. culmorum*, *F. graminearum*, както и при смесена инфекция с различни причинители на заболявания по корените и базите на пшеничните растения. Същевременно същите патогени, респ. комплекс от патогени, са отговорни за по-силно изразени прояви на заболяване по кореновата система на културата. Аналогични резултати съобщават и други автори, като Cook and Christen (1975) и Paulitz and Adams (2003), съгласно които степента на нападение по корените и базите на пшеницата се определят от вида на отделния патоген или асоциацията от различни причинители на заболявания със синдромен характер (Paulitz et al., 2002; Tunalı et al., 2008). Констатираният от нас, като цяло, по-висок негативен ефект върху изследваните биометрични параметри, в резултат от смесена инфекция с различни видове патогенни гъби, отразява в по-голяма степен състоянието и вредноността на „естествено” формиращите се асоциации от почвообитаващи патогени по пшеницата (Yanashkov et al., 2017; Yanashkov, 2018) в реални производствени условия. От установеното досега (Yanashkov et al., 2017; Yanashkov, 2018) може да се направи заключението, че за получаване на реалистични резултати от проучванията върху *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *D. sorokiniana* и *R. solani*, в т.ч. и за успешна борба с причиняваните патологични явления се налага изследователският процес да включва изследвания на ниво асоциация, наред с работата с отделни патогени, обитаващи почвата.

ИЗВОДИ

Кореновото и базично гниене с причинители *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Drechslera sorokiniana* и *Rhizoctonia solani*

е свързано със значително редуциране на стойностите на структурните параметри на добива от пшеница.

С най-висока вредоносност се отличава вида *F. culmorum*, както и смесената инфекция от петте патогенни гъби.

За минимализиране на загубите при отглеждане на пшеница и други житни култури със слята повърхност е налице необходимост от разработване на системи за борба, ефективни срещу целия комплекс от причинители на кореново и базично гниене по растенията.

ЛИТЕРАТУРА

- Atanasov, D., Dodov, D., Martinov, S., Trifonova, V. & Hristov, Al. (1932). Sofia University Yearbook, Faculty of Agronomy, (10), 341-366 (Bg).
- Bockus, W. W., Bowden, R. L., Hunger, R. M., Murray, T. D., & Smiley, R. W. (2010). *Compendium of wheat diseases and pests* (Ed. 3). American Phytopathological Society (APS Press).
- Bottalico, A. (1998). Fusarium diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of plant Pathology*, 80(2), 85-103.
- Braithwaite, M., Alexander, B. J. R., & Adams, R. L. M. (1998). Nationwide survey of pests and diseases of cereal and grass seed crops in New Zealand. 2. Fungi and Bacteria. In: *Proceedings of the 51st New Zealand Plant Protection Conference*: 51-59.
- Butler, F. C. (1961). Root and foot rot diseases of wheat. *New South Wales Department of Agriculture Bulletin*, New South Wales, Sydney, Australia.
- Campbell, R., & Ephgrave, J. M. (1983). Effect of bentonite clay on the growth of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* and on its interactions with antagonistic bacteria. *Microbiology*, 129(3), 771-777.
- Carter, J. P., Spink, J., Cannon, P. F., Daniels, M. J., & Osbourn, A. E. (1999). Isolation, characterization, and avenacin sensitivity of a diverse collection of cereal-root-colonizing fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(8), 3364-3372.
- Cook, R. J., & Christen, A. A. (1976). Growth of cereal root-rot fungi as affected by temperature-water potential interactions. *Phytopathology*, 66(2), 193-197.
- Cook, R. J., Schillinger, W. F., & Christensen, N. W. (2002). Rhizoctonia root rot and take-all of wheat in diverse direct-seed spring cropping systems. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 24(3), 349-358.
- Colhoun, J., Taylor, G. S., & Tomlinson, R. (1968). Fusarium diseases of cereals: II. Infection of seedlings by *F. culmorum* and *F. avenaceum* in relation to environmental factors. *Transactions of the British Mycological Society*, 51(3-4), 397-404.

- Chongo, G., Gossen, B. D., Kutcher, H. R., Gilbert, J., Turkington, T. K., Fernandez, M. R., & McLaren, D.** (2001). Reaction of seedling roots of 14 crop species to *Fusarium graminearum* from wheat heads. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 23(2), 132-137.
- Clarkson, J. D. S., & Cook, R. J.** (1983). Effect of sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) on yield loss in winter wheat. *Plant Pathology*, 32(4), 421-428.
- Desheva, G., & Chavdarov, P.** (2015). Comparative study of common winter wheat lines. *New Knowledge Journal of Science*, 4(4), 47-53.
- Dimitrov, M.** (1980). Mycology review of cereals crops - wheat, corn and beans in Bulgaria. Dissertation, Sofia (Bg).
- Dimitrova-Doneva, M.** (2016). Correlation and Path-coefficient analysis of yield components in barley. *Rasteniev'dni Nauki/Bulgarian Journal of Crop Science*, 53(5-6), 3-8 (Bg).
- Duben, J., & Fehrmann, H.** (1979). Vorkommen und Pathogenität von *Fusarium*-Arten an Winterweizen in der Bundesrepublik Deutschland: I. Artenspektrum und jahreszeitliche Sukzession an der Halmbasis/Occurrence and pathogenicity of *Fusarium* species on winter wheat in the Federal Republic of Germany: I. Spectrum of species and seasonal succession at the stem base. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection*, 638-652.
- Duczek, L. J.** (1989). Relationship between common root rot [*Cochliobolus sativus*] and tillering in spring wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 11(1), 39-44.
- Duveiller, E., Dubin, H.J., Reeves, J., & McNab, A.** (1998). Helminthosporium blights of wheat: spot blotch and tan spot: Proceedings of an International Workshop Held at CIMMYT, El Batan, Mexico, 9-14 February 1997, CIMMYT.
- Gardiner, W.P.** (1997). Statistics for the biosciences: data analysis using Minitab software. Prentice Hall.
- Goswami, R. S., & Kistler, H. C.** (2004). Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology*, 5(6), 515-525.
- Hafiz, A.** (1986). Plant Diseases: Pakistan Agricultural Research Council. North West Frontier Provinces and Punjab. *Sarhad Journal of Agriculture*, 8, 541-545.
- Hayden, H. L., Savin, K., Wadson, J., Gupta, V., & Mele, P. M.** (2018). Comparative metatranscriptomics of wheat rhizosphere microbiomes in disease suppressive and non-suppressive soils for *Rhizoctonia solani* AG8. *Frontiers in Microbiology*, 9, 859.
- Ilieva, D.** (2011). A comparative study of common wheat varieties in northeastern Bulgaria. *Scientific Papers of the Agricultural University*, 50, 58-61.
- Karadjova, Y.** (1979). Studies on *Fusarium* species on cereals. Dissertation, Sofia (Bg).
- Kishwar, A., Sher, H., & Shamim, I.** (1992). Foot rot disease of wheat in rainfed areas of North West frontier province and Punjab. *Sarhad Journal of Agriculture*, 8(5), 541-545.
- Khan, M. R., Fischer, S., Egan, D., & Doohan, F. M.** (2006). Biological control of *Fusarium* seedling blight disease of wheat and barley. *Phytopathology*, 96(4), 386-394.
- Lamichhane, J. R., & Venturi, V.** (2015). Synergisms between microbial pathogens in plant disease complexes: a growing trend. *Frontiers in Plant Science*, 6, 385.
- Ledingham, R. J., Atkinson, T. G., Horricks, J. S., Mills, J. T., Piening, L. J., & Tinline, R. D.** (1973). Wheat losses due to common root rot in the prairie provinces of Canada, 1969-1971. *Can. Plant Dis. Surv.*, 53, 113-122.
- Lyamani, A.** (1988). Wheat root rot in west central morocco and effects of *Fusarium culmorum* and *Helminthosporium sativum* seed and soil-borne inoculum on root rot development, plant emergence and crop yield. Dissertation, Iowa State University.
- MacNish, G. C., & Neate, S. M.** (1996). *Rhizoctonia* bare patch of cereals: An Australian perspective. *Plant Disease*, 80(9), 965-971.
- Maneva, S.** (2007). Mathematical models in plant protection. Dissertation, IPP-Kostinbrod, Bulgaria.
- Mathre, D.E.** (1982). Compendium of barley diseases. Second Edition. APS Press, p. 90.
- Malalasekera, R. A. P., Sanderson, F. R., & Colhoun, J.** (1973). *Fusarium* diseases of cereals: IX. Penetration and invasion of wheat seedlings by *Fusarium culmorum* and *F. nivale*. *Transactions of the British Mycological Society*, 60(3), 453-IN7.
- Mao, W., Carroll, R. B., & Whittington, D. P.** (1998). Association of *Phoma terrestris*, *Pythium irregulare*, and *Fusarium acuminatum* in causing red root rot of corn. *Plant Disease*, 82(3), 337-342.
- Matusinsky, P., Mikolasova, R., Klem, K., Spitzer, T., & Urban, T.** (2008). The role of organic vs. conventional farming practice, soil management and preceding crop on the incidence of stem-base pathogens on wheat. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 115(1), 17-22.
- McDonald, M. C., Ahren, D., Simpfendorfer, S., Milgate, A., & Solomon, P.S.** (2017). The discovery of the virulence gene *ToxA* in the wheat and barley pathogen *Bipolaris sorokiniana*. *Molecular Plant Pathology*, 19(2), 432-439.
- Miedaner, T.** (1997). Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. *Plant Breeding*, 116(3), 201-220.
- Mladenov, M.** (1974). Determination of some origins of the *Fusarium* genus causing wheat foot rot in Bulgaria. *Plant Science*, (11), 142-147 (Bg).
- Mladenov, M. & Karadjova, I.** (1982). Survey of the reaction of wheat varieties and lines to four *Fusarium* species causing head fusariosis. In: II-nd National Symposium on Plant Immunity, Plovdiv, 1, 155-161 (Bg).
- Mueller, E.** (1977). Die systematische des "Schneeschwimmels". *Revue de Mycologie*, 41, 129-134.
- Murray, G. M., & Brennan, J. P.** (2009). Estimating disease losses to the Australian wheat industry. *Australian Plant Pathology*, 38(6), 558-570.
- Murray, G. M., & Brennan, J. P.** (2010). Estimating disease losses to the Australian barley industry. *Australian Plant Pathology*, 39(1), 85-96.

- Moya-Elizondo, E. A., Jacobsen, B. J., Hogg, A. C., & Dyer, A. T.** (2011). Population dynamics between *Fusarium pseudograminearum* and *Bipolaris sorokiniana* in wheat stems using real-time qPCR. *Plant Disease*, 95(9), 1089-1098.
- Moya-Elizondo, E., Arismendi, N., Castro, M. P., & Dousoulis, H.** (2015). Distribution and prevalence of crown rot pathogens affecting wheat crops in southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(1), 78-84.
- Oswald, J. W.** (1950). Etiology of cereal root rots in California. *Hilgardia*, 19(15).
- Parmeter, J. R. (Ed.)**. (1970). *Rhizoctonia solani, biology and pathology*. Univ. of California Press.
- Paulitz, T. C., & Adams, K.** (2003). Composition and distribution of *Pythium* communities in wheat fields in eastern Washington State. *Phytopathology*, 93(7), 867-873.
- Paulitz, T. C., Schroeder, K. L., & Schillinger, W. F.** (2010). Soilborne pathogens of cereals in an irrigated cropping system: Effects of tillage, residue management, and crop rotation. *Plant Disease*, 94(1), 61-68.
- Paulitz, T. C., Smiley, R. W., & Cook, R. J.** (2002). Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest, USA. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 24(4), 416-428.
- Popova, Z., Ganusheva, N., Marcheva, M., & Ganeva, G.** (2013). Correlation dependences between the structural elements of the yield in introduced accessions of durum wheat. *Agrarni Nauki*, 4(12), 25-29.
- Pitt, D.** (1964). Studies on sharp eyespot disease of cereals II. Viability of sclerotia: persistence of the causal fungus, *Rhizoctonia solani* Kühn. *Annals of Applied Biology*, 54(2), 231-240.
- Raylo (1950)**. Fungi of genus *Fusarium*. Gosudarstvennoe izdatelstvo sel'skokozyajstvenoy literaturay, Moscow (Ru).
- Rennie, W. J., Richardson, M. J., & Noble, M.** (1983). Seed-borne pathogens and the production of quality cereal seed in Scotland. *Seed Science and Technology*.
- Gebremariam, E. S., Sharma-Poudyal, D., Paulitz, T. C., Erginbas-Orakci, G., Karakaya, A., & Dababat, A. A.** (2018). Identity and pathogenicity of *Fusarium* species associated with crown rot on wheat (*Triticum* spp.) in Turkey. *European Journal of Plant Pathology*, 150(2), 387-399.
- Scherm, B., Balmas, V., Spanu, F., Pani, G., Delogu, G., Pasquali, M., & Migheli, Q.** (2013). *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. *Molecular Plant Pathology*, 14(4), 323-341.
- Schoeny, A., Jeuffroy, M. H., & Lucas, P.** (2001). Influence of take-all epidemics on winter wheat yield formation and yield loss. *Phytopathology*, 91(7), 694-701.
- Sharma, I.** (2012). Disease Resistance in Wheat. *Molecular Plant Pathology*, 14(4), 323-341.
- Mihail, J. D., Rush, C. M., & Singleton, L. L.** (1992). Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi. The American Phytopathological Society.
- Smiley, R. W., Gourlie, J. A., Easley, S. A., Patterson, L. M., & Whittaker, R. G.** (2005). Crop damage estimates for crown rot of wheat and barley in the Pacific Northwest. *Plant Disease*, 89(6), 595-604.
- Smiley, R. W., Dernoeden, P. H., & Clarke, B. B.** (2005). *Compendium of turfgrass diseases* (Ed. 3). American Phytopathological Society (APS Press).
- Smiley, R. W., Gourlie, J. A., Easley, S. A., & Patterson, L. M.** (2005). Pathogenicity of fungi associated with the wheat crown rot complex in Oregon and Washington. *Plant Disease*, 89(9), 949-957.
- Strausbaugh, C. A., Bradley, C. A., Koehn, A. C., & Forster, R. L.** (2004). Survey of root diseases of wheat and barley in southeastern Idaho. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(2), 167-176.
- Sturz, A. V., & Bernier, C. C.** (1987). Survival of cereal root pathogens in the stubble and soil of cereal versus noncereal crops. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 9(3), 205-213.
- Sun, B., Chen, Q., He, X., Shi, Y., Ding, S., & Li, H.** (2018). A new multiplex polymerase chain reaction assay for simultaneous detection of five soil-borne fungal pathogens in winter wheat. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 1-6.
- Tunali, B., Nicol, J. M., Hodson, D., Uckun, Z., Büyük, O., Erdurmuş, D., Hekimhan, H., Aktaş, H., Akbudak, M. A. & Bağcı, S. A.** (2008). Root and crown rot fungi associated with spring, facultative, and winter wheat in Turkey. *Plant Disease*, 92(9), 1299-1306.
- Todorova, V. & Karzhin, H.** (1972). The worldwide experience of applying effective methods for control of root rot of cereal crops. Centar za nauchno-tehniciska i ikonomicheska informatsia po sel'sko i gorsko stopanstvo pri SSA "G. Dimitrov". Sofia (Bg).
- Trail, F., Xu, H., Loranger, R., & Gadoury, D.** (2002). Physiological and environmental aspects of ascospore discharge in *Gibberella zeae* (anamorph *Fusarium graminearum*). *Mycologia*, 94(2), 181-189.
- Weise, M. V.** (1987). *Compendium of wheat diseases*, St. Paul, MN.
- Wildermuth, G. B., Tinline, R. D., & McNamara, R. B.** (1992). Assessment of yield loss caused by common root rot in wheat cultivars in Queensland. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43(1), 43-58.
- Yanashkov, I., Gilardi, G., & Vatchev, T.** (2016). Soilborne fungal diseases of small grain cereal crops. *Rasteniev' dni Nauki/Bulgarian Journal of Crop Science*, 53(1-3), 3-21.
- Yanashkov, I., Avramov, Z., & Vatchev, T.** (2017). Soilborne fungal pathogens of small grain cereal crops in Bulgaria: species composition and distribution. *Rasteniev' dni Nauki*, 54(2), 10-23.
- Yanashkov, I.** (2018). Soilborne fungal pathogens of small grain cereal crops: species composition and distribution, methods and means of control. PhD Thesis, ISSAPP, Sofia, Bulgaria, 169 p. (Bg).