

Vatchev, Tz. & Yanashkov, I. (2017). Effect of natural grass fallow on Fusarium root and crown rot of wheat. *Rastenievadni nauki/Bulgarian Journal of Crop Science*, 54(3), 15-27 (Bg).

## Ефект на естествен тревен прелог върху фузарииното кореново и базично гниене по пшеница

Ценко Въчев\*, Иво Янашков

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкаров”, направление „Защита на растенията”, отдел “Фитопатология”, Костинброд 2230, ул. „Панайот Волов” № 35

\*E-mail: [vatchevtzenko@yahoo.com](mailto:vatchevtzenko@yahoo.com)

### Резюме

Настоящото изследване проследява ефекта на краткотраен тревен прелог върху нивото на общата супресивност на два типа почви – Излужена Чернозем-Смолница и Алувиално-Ливадна почва, по отношение на фузариино кореново и базично гниене по пшеницата. За целта в осреднени почвени проби, събрани от обработвани без прекъсване през последните 25 години и временно необработвани земеделски площи, зачимени с естествена тревна растителност (в прелог) в продължение на четири и седем години - съответно за двата почвени типа, са внасяни самостоятелно чисти култури на един от причинителите на заболяването – *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* или *F. oxysporum*, развити върху автоклавирани (30 min при 121°C) ечемичени зърна. Нивото на супресивност на всяка от почвите е определяно по интензитета на проявите на кореново и базично гниене по опитни пшеничени растения, сорт Ласка 5, отглеждани във вегетационни съдове в стъклена оранжерия. Силно нападение и от трите изпитвани патогена беше констатирано както при Чернозем-Смолницата, така и при Алувиално-Ливадната почва. Незначително редуциране на кореновото и базичното гниене – приблизително с 9% до 25%, беше наблюдавано в част от почвените проби, събрани от необработваните терени в сравнение с тези от обработваните. Макар и статистически доказано, установеното ниво на потискане на болестта в двата типа почви в състояние на прелог не може да се разглежда като практически значимо. В допълнително проведени опити с най-агресивния от трите патогена, *F. culmorum*, бяха отчетени статистически по-силни прояви на кореново и базично гниене в термично стерилизирани (240°C за 2 h) монолити на изследваните почви в сравнение с тези в естествено състояние, нестерилизирани. С тези резултати изследването ясно демонстрира наличие на биологично детерминиран, естествен супресивен ефект по отношение на фузарииното кореново и базично гниене по пшеницата при Излужена Чернозем-Смолница и Алувиално-Ливадна почва, но и невъзможността за повишаване на почвената супресивност до практически значими нива на контрол над болестта чрез поддържане на обработваеми площи в състояние на краткотраен тревен прелог. Изразено е становището, че използването на естествен тревен прелог за контрол над болести по растенията, запазващи се в почвата, трябва да се осъществява след предварително проучване на възможните ефекти от въвеждането му като метод върху всяка конкретна патологична система.

**Ключови думи:** пшеница; фузариино кореново и базично гниене; агротехнически метод за борба; тревен прелог

## Effect of natural grass fallow on Fusarium root and crown rot of wheat

Tzenko Vatchev\*, Ivo Yanashkov

Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection ‘Nikola Pushkarov’, Plant Protection Division, Department of Plant Pathology, 2230 Kostinbrod, 35 Panayot Volov, Str.

## Abstract

The present study have investigated the effect of short-term grass fallow on general disease suppressiveness of two soil types – Luvic Vertisol and Eutric Fluvisols, against *Fusarium* root and crown rot of wheat. For this purpose, average soil samples were collected from agricultural fields, either cultivated uninterruptedly for over the last 25 years or uncultivated for four and seven years, respectively for both soil types and divided into portions corresponding to number of treatments. The individual soil portions were either left uninoculated or were separately inoculated with pure cultures of three pathogenic fungi that cause the disease – *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* or *F. oxysporum*, developed on autoclaved (30 min at 121°C) barley grains. The level of disease suppression of each soil was estimated on the basis of root and crown rot disease index on wheat plants, cultivar Laska 5 in greenhouse pot experiments. High disease incidence and severity were recorded in both pathogen-inoculated Luvic Vertisol and Eutric Fluvisols. Slight reduction – between 9% and 25%, in disease intensity was observed in soil samples collected from currently uncultivated areas as compared to those collected from cultivated lands. Although statistically proven, these levels of disease suppression in both soil types under grass fallow were not to be considered practically significant. In additional experiments conducted with the most aggressive species among the three pathogens, *F. culmorum*, significantly more severe root and crown rot was recorded in thermally sterilized (240°C for 2 h) soil portions in comparison to the natural, unsterilized soils. These results clearly demonstrate the biological nature of disease suppression towards *Fusarium* root and crown rot of wheat in Luvic Vertisol and Eutric Fluvisols, but as well as that short-term grass fallow does not increase the natural soil suppression against the disease to useful levels from practical point of view. It was concluded that future application of natural grass fallow as a method to control soil borne diseases of agricultural crops should be preceded by assessment of the potential impact on each individual pathosystem.

**Keywords:** wheat; *Fusarium* root and crown rot; agro-technical control method; grass fallow

С внедряване на съвременните индустриализирани форми на земеделие, при които земята се обработва ежегодно без „почивка”, се създадоха условия за феноменална деградация на почвата и редуциране на естествената почвена продуктивност (Bridges et al., 2001; Duiker and Thomason, 2014). Съгласно Naas et al. (1957), след разораване на целинни терени и превръщането им в обработваема земя, съдържанието на органично вещество в почвата намалява с 40-73% за период от 30-40 години. По обясними причини процесите на изхвърляване протичат още по-интензивно във влажните тропици – органичното вещество в почвата намалява с 50% за петгодишен период на обработка (Brams, 1971; Stoorvogel and Smaling, 1998; Aweto, 2013). Редица автори, цитирани от Bentley et al. (1995), а така също Parr et al. (1992), споменават за поразителните 0.7% средни годишни загуби от повърхностния, плодороден почвен слой в световен мащаб. Голяма част от загубите са в резултат от стопанска ерозия (soil nutrient depletion or mining), термин, с който обозначаваме ежегодния, некомпенсиран

износ на хранителни вещества от почвата със стопанския и биологичен добив от земеделските култури (Lal, 1997; Drechsel and Gyiele, 1999; Penning de Vries, 2008). Нарастващият интерес към нови, алтернативни форми на земеделие е пряк резултат от повсеместното негативно въздействие на съвременното, интензивно земеделие върху производствените ресурси, околната среда, човешкото здраве и обществения живот. В противовес на глобализираното, индустриализирано, химически базирано и експортно ориентирано земеделско производство, бяха предложени многобройни алтернативи, вариращи от различни форми на биологично земеделие до традиционни, самодостатъчни или интензивни, но биоразнообразни ферми, запазили се непроменени – главно в развиващите се страни, и предлагащи хилядолетни примери за успешни, аборигенни форми на земеделско производство (Altieri et al., 1987; Altieri, 1995; 2005; Glaser, 2007; Jat et al., 2014).

Залежната система се разглежда като най-старата и широко практикувана традиционна система на земеделие, просъществувала в разно-

образни форми през всички исторически епохи от Неолита до наши дни (Denevan, 1992, 1995; Ramachandran Nair, 1993; Zadoks, 2013). Изразява се в относително кратки периоди на култивиране, редувани с по-продължителни периоди на залеж под естествена дървесна, хрстовидна или тревна растителност. Като средство за възстановяване на почвената продуктивност и гарантиране на добивите при тревния (степен) залеж, по-известен като „прелог”, преди да бъде използвана отново, земята е оставяна да „залежи”, или „прележи” под естествена целина за период от 30-40 години до три-пет години (Sheng, 1989; Altieri, 1995). Продължителността на прелога е намалявала от древността към наши дни, едновременно с нарастване на човешката популация и необходимостта от усвояване на нови обработваеми площи. В българската научна литература „прелог” и базираната на прелога „преложна” система на земеделие се споменават в по-ранни източници, като Gerov (1899) - *диал.* „орище”, Stranski (1919) и Dichev (1930), както и в отделни учебни помагала, съставени предимно през втората половина на 20-ти век. По данни на българските автори и в контекста на историческото развитие на земеделските системи, прелогът успешно заменя горския залеж. Към края на 19-ти и началото на 20-ти век се прилага у нас в комбинирана система на земеползване: двуполно сеитбообращение – редуване на пшеница и царевица, и прелог – 8-10 години „мера” („пасище”) (Dichev, 1930). Счита се, че по нашите земи непосредствено след 1910 г. прелогът е изцяло заменен със свободна (черна) угар, заета угар (с окопни култури) и тревополен прелог (зает с фуражни бобови или житни треви) (Stranski, 1919; Dichev, 1930). Така у нас, както и навсякъде по света, се преминава от устойчиво земеделие към форми на производство, водещи до влошаване на качеството, здравето състояние и изчерпване на основния природен и производствен ресурс – почвата (Van der Pol, 1992).

С настъпилите социално-икономически промени в края на миналия век, в България се създадоха условия за драстично редуциране на обема на земеделското производство, а оттам и на размера на обработваемите площи. След периода 1990-1993 г., част от земеделската земя беше изоставена, затревена и превърната вре-

менно в целина, рядко или спорадично подлагана на временна или постоянна паша и на ниско окосяване. Тази своеобразна форма на непреднамерен тревен прелог, е често асоциирана с упадък в селското стопанство на страната, контрастира с доминиращи сред обществото антропоцентрични нагласи и интуитивно формирани представи сред част от специалистите и академичните кръгове. Допускаме, обаче, че така създаденият краткотраен прелог има потенциала да осигури „почивка” за обработваемите почви, явява се естествен път за частично възстановяване на органичната материя в почвата, а оттам и почвената продуктивност („плодородие”), нарушени в резултат на продължителна експлоатация и стопанска ерозия на земеделските земи. Напоследък аграрната политика на Европейския съюз (ЕС) и на редица държави-членки на ЕС налага включване на петгодишен тревен прелог в съвременното интензивно сеитбообращение като едно от условията за финансово подпомагане на земеделските производители. Данните сочат, че между 7 и 9 млн. ha обработваема земя в ЕС се поддържа в състояние на затревен прелог (European Commission, 2016).

Редица автори разглеждат тревния прелог като устойчив, традиционен подход за възстановяване на продуктивността и структурата на обработваемите почви, а така също като удачен метод за борба с почвообитаващи фитопатогени (Thurston, 1992; Finney et al., 2009) и други вредни за културните растения организми (Desaeger and Rao, 2000; Sileshi and Mafongoya, 2003). Приема се, че краткотрайният прелог с продължителност от три до пет години способства за редуциране на популациите от фитопатогенни гъби в почвата (Orlove and Godoy, 1986; Finney et al., 2009). Основен биологичен механизъм, за който се приема, че стои зад редуциране на инфекциозния (инокулумен) потенциал на почвата (Garrett, 1970; Duniway, 2002) през периода на прелог, е прекъснатият биологичния цикъл на развитие на фитопатогенните организми (Sileshi et al., 2008). Като цяло, обаче, публикуваните научни доказателства в тази насока, са оскъдни. Приема се още, че в конкретни случаи краткотрайният или по-продължителен тревостой създава условия за повишаване на органичното съдържание, биологичната маса

и биоразнообразието в почвата, а оттам и засилената микробиологична активност (Manlay et al., 2000; Juo and Franzluebbers, 2003; Garbeva et al., 2004; Nyamadzawo et al., 2009) - фактори, които се свързват пряко с общата супресивност на почвената екосистема по отношение на фитопатогенни организми и/или причиняваните от тях заболявания (Vatchev, 2004; Mazzola, 2004, 2010). У нас Karzhin (1983) съобщава, че използването на диворастящи житни треви, в т.ч. *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds., *Lolium multiflorum* Lam., *L. perenne* L. и *Phleum pratense* L. като предшественици на пшеница, води до редуциране на черното кореново гниене с причинител *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & D.L. Olivier (syn. *Ophiobolus graminis* Saccardo). Очевидно, в този случай механизмът на контрол включва специфичен супресивен ефект по отношение на патогена, който, според автора, се дължи на повишаване на популационната плътност на антагонистичната гъба *Phialophora radicola* var. *graminicola* Deacon около кореновата система на предшествениците.

Целта на проведеното от нас изследване бе да се проследи ефектът от използване на краткотраен прелог под естествена тревна растителност върху нивото на общата супресивност на обработваеми почви по отношение на фузариеното кореново и базично гниене по пшеницата.

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

### Моделна патологична система

За целите на настоящото изследване беше използвано фузариеното кореново и базично гниене по пшеницата. Под внимание беше взето масовото разпространение и икономическото значение на заболяването по житните култури със слята повърхност в България (Yanashkov et al., 2017). Предвид многокомпонентния характер на етиологията на заболяването, включваща различни патогенни гъби от род *Fusarium*, в изследването бяха включени наши изолати на три вида патогенни гъби, в т.ч. *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* и *F. oxysporum*. Използваните патогени бяха изолирани през предходни години от корени и бази на симптоматични пшеничени растения, като са доказани (в предишни

изследвания) причинители на гниене на кълновете, загиване на пониците, кореново и базично гниене и гниене по класовете.

### Изследвани почви

В настоящото изследване бяха сравнявани два почвени типа от района на направление „Защита на растенията” на ИПАЗР „Н. Пушкиров” край гр. Костинброд – Излужена Чернозем-Смолница (1.2% пясък 64.5% глина, 16.6% прах, рН (KCl) 5.46, 4.71% хумус) и Алувиално-Ливадна почва (30.0% пясък, 17.5% прах, 52.0% глина рН (KCl) 6.56, 4.03% хумус), от обработвани (без прекъсване през последните 25 години) и временно необработвани („пустеещи”) земеделски площи. Последните бяха разглеждани от нас като почви в състояние на „непреднамерен” прелог – естествено затревени в продължение на четири и седем години, съответно за черноземния и алувиално-ливадния почвен тип. От избраните терени бяха събирани индивидуални почвени проби на дълбочина до 20 cm, по решетъчна, пропорционална, квадратна схема (Alef and Nannipieri, 1995) с петметрово отстояние между точките на пробовземане. Събраните индивидуални проби от всяка почва бяха размесвани, пресявани през сито (3x3 cm) и използвани за биологично тестиране.

### Експериментален модел

Прилаган беше биологичен тест, оптимизиран в предходни наши проучвания (Vatchev, unpublished data). Експерименталният модел включваше внасяне в изследваните почви на изкуствено развит инокулум на един от трите патогена с последващо култивиране на пшеничени растения. За оценка и сравнение на нивото на супресивност на всяка от почвите се съдеше по интензитета на проявите на заболяване по корените и базите на опитните растения, причинявано от всеки един от трите патогена.

Допълнителни опити бяха провеждани с естествени (нестерилизирани) и термично стерилизирани (240°C за 2 h) аналози на изследваните почви, за да се потвърди биологичното естество на тяхната супресивност. Използван беше видът *Fusarium culmorum*, в качеството му на най-агресивен патоген сред причинителите на фузариеното кореново и базично гниене по житните култури.

## Производство на инокулум и инокулиране

Инокулум на патогените беше развиван в чисти култури в продължение на 14 дни, в стъклени колби при 26°C върху предварително автоклавиран (30 min на 121°C) ечемичени зърна. Изследваните почви бяха инокулирани по варианти, като по 25 g инокулум на съответната гъба беше внасян на един литър почва или почвите бяха оставяни неинокулирани – контроли с внесено същото количество неинокулирани ечемичени зърна.

## Експериментален дизайн и условия на култивиране

Инокулираните и неинокулирани с патоген почви бяха насипвани в пластмасови саксии с обем 1L. Саксиите бяха подредени върху бетомен плот в отделни, изолирани клетки на неотопляема, застъклена оранжерия по напълно рандомизирана блокова схема. Опитните единици бяха поливани, като влажността на почвата беше довеждана до около 75% от ППВ. След едноседмично инкубиране във всяка саксия бяха засявани по 15 семена от пшеница, сорт Ласка 5. След успешно поникване броят на пшеничените растения във всяка саксия беше довеждан до 10. Всеки вариант се състоеше от по пет повторения (саксии и почва с обем 1L). При необходимост оранжерийните клетки бяха засенчвани с варов разтвор, така че във всички опити растенията бяха култивирани при дневни температури между 11.5°C и 27°C. Растенията бяха поливани между един и три пъти седмично в зависимост от техните нужди, при което влажността на почвата беше поддържана на ниво около 70% от ППВ. Шестдесет дни след сеитбата опитните растения бяха изваждани внимателно, корените им промивани на течаща вода, подсушавани между двуслойна филтърна хартия и отнасяни в лаборатория за анализ. Степента на нападение по корените и базите на всяко растение беше отчитана по разработена от нас шест-бална скала (0-5):

0 = липса на видими повреди по корените;

1 = от 1 до 25% от кореновата система е обхваната от некротични напетнявания;

2 = от 26 до 50% повреди;

3 = от 51 до 75% повреди;

4 = от 76 до 100% повреди;

5 = кореновата система е 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 от всяко отделно повторение и вариант. Всички опити бяха проведени двукратно в рамките на две календарни години. В края на всеки опит от корените и основата на стъблата на опитните растения от отделните варианти 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 (1955), използващи *F*-тест за оценка на значимостта на анализа и *t*-тест за значимост на разликите 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” на ИПАЗР „Н. Пушкиров” край гр. Костинброд (Maneva, unpublished data). Експерименталните данни, получени след двукратно провеждане на всеки от четирите отделни опита, бяха анализирани поотделно за установяване на хомогенност на резултатите, след което – обединени, анализирани и интерпретирани съвместно (Таблицы 1-4).

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

В резултат на култивиране на пшеничени растения в Излужена Смолница, без изкуствено инокулиране с патоген, събрани от необработвани и обработвани площи (варианти 1 и 2, Таблица 1), бяха констатирани ниски нива на кореново и базично гниене. Относително висок индекс на нападение – 4.38, 4.32 и 2.46, беше констатиран във вариантите, в които опитната почва беше изкуствено инокулирана, съответно с *F. culmorum*, *F. graminearum* или *F. oxysporum*. Сравнявайки ефекта на състоянието на почвите, обработвани без прекъсване и необработвани (затревени), върху проявите на заболяване, причинявано от всеки един от трите патогена,

е видно, че кореновото и базичното гниене е по-интензивно при отглеждане на растенията в почви от обработвани терени в сравнение с тези от необработвани – под прелог. Разликите в индексите на нападение и за трите патогена в двете сравнявани почви са статистически значими ( $P \leq 0.001$ ). Нивото на потискане на проявите на заболяване във вариантите с необработвана почва под прелог, обаче, е от порядъка на 9.6%-25.2% (непредставени резултати), което може да се разглежда като незначително от агрономическа гледна точка.

Сходни резултати бяха получени при провеждане на опита с Алувиално-Ливадна почва (Таблица 2). Във вариантите без изкуствено инокулиране, както в обработваната, така и в необработваната почви, не бяха констатирани видими прояви на заболяване. Този факт под-

чертава липсата на външен за използваната експериментална система инфекциозен натиск върху отчетените стойности на нападение в това изследване. Висок индекс на кореново и базично гниене беше констатиран във всички варианти с изкуствено инокулиране на опитните растения с видове от род *Fusarium*. Не бяха установени статистически доказани разлики в интензитета на заболяване между вариантите с обработвана и необработвана почва след инокулиране с *F. culmorum* и *F. oxysporum*. Когато внесеният инокулум беше от вида *F. graminearum*, статистически по-нисък индекс на нападение беше отчетен по корените и базите на растенията, отглеждани в необработвана почва в сравнение с обработваната ( $P \leq 0.001$ ). Както в предходния опит с Чернозем-Смолница, така и при Алувиално-Ливадната почва, разликата в нападение-

**Таблица 1.** Прояви на фузариено кореново и базично гниене по пшеница в Излужена Чернозем-Смолница след инокулиране с три отделни патогенни гъби

**Table 1.** Disease intensity of Fusarium root and crown rot of wheat in Luvic Vertisol soil type inoculated with three separate pathogenic fungi

№	Вариант/Treatment		Индекс на нападение* Disease index*	Разпределение по Duncan** Duncan's range test**	Статистическа доказаност Statistical significance
	Почва/Soil	Патоген/Pathogen			
1	Необработвана/Uncultivated	Без/None	0.18	a	Контрола Control
2	Обработвана/Cultivated	Без/None	0.24	a	ns
3	Необработвана/Uncultivated	<i>F. culmorum</i>	3.96	d	+++
4	Обработвана/Cultivated	<i>F. culmorum</i>	4.38	e	+++
5	Необработвана/Uncultivated	<i>F. graminearum</i>	3.76	d	+++
6	Обработвана/Cultivated	<i>F. graminearum</i>	4.32	f	+++
7	Необработвана/Uncultivated	<i>F. oxysporum</i>	1.84	b	+++
8	Обработвана/Cultivated	<i>F. oxysporum</i>	2.46	c	+++

F = 929,92  
Sd = 0,081  
LSD<sub>0.001</sub> = 0,164

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 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.

то във вариантите с обработвана и необработвана почва беше от порядъка на 9.3% (непредставен резултат), което е без значение от стопанска гледна точка.

На Таблица 3 са представени осреднените резултати от опита, сравняващ развитието на болестта с причинител вида *F. culmorum* в стерилизирана и нестерилизирана (естествена), обработвана и необработвана почва, тип Излужена Чернозем-Смолница. Липса или много ниски нива на заболяване бяха констатирани във всички почвени проби без допълнително внесен инокулум на патогена (варианти 1-4, Таблица 3). И в този експеримент изследваната необработвана почва потиска в известна степен развитието на болестта, но ефектът е агрономически незадоволителен (варианти 7 и 8). Резултатите от опита показват, че естествената почва – об-

работвана и необработвана, оказва известен супресивен ефект по отношение на заболяването. Това се демонстрира ясно чрез установеното статистически по-ниско ниво на нападение в нестерилизираните почви – обработвана и необработвана (варианти 7 и 8), в сравнение със стерилизираните им аналози (варианти 5 и 6). Очевидно, в резултат на термично стерилизиране изследваната почва губи своята супресивност. Това води до по-висок, при това статистически еднакъв индекс на нападение във вариантите със стерилизирани почви. Обяснението се крие в биологичното (микробиологично) естество на почвената супресивност (Cook and Baker, 1983; Killham, 1994; Boudreau and Mundt, 1997) - фактор, който бива елиминиран напълно в процеса на термичната стерилизация (Mazzola, 2010; Vatchev, 2016).

**Таблица 2.** Прояви на фузариено кореново и базично гниене по пшеница в Алувиално-Ливадна почва след инокулиране с три отделни вида патогенни гъби

**Table 2.** Disease intensity of Fusarium root and crown rot of wheat in Eutric Fluvisols soil type inoculated with three separate pathogenic fungi

№	Вариант/Treatment		Индекс на нападение* Disease index*	Разпределение по Duncan** Duncan's range test**	Статистическа доказаност Statistical significance
	Почва/Soil	Патоген/Pathogen			
1	Необработвана/Uncultivated	Без/None	0.0	a	Контрола Control
2	Обработвана/Cultivated	Без/None	0.0	a	ns
3	Необработвана/Uncultivated	<i>F. culmorum</i>	4.44	d	+++
4	Обработвана/Cultivated	<i>F. culmorum</i>	4.54	d	+++
5	Необработвана/Uncultivated	<i>F. graminearum</i>	4.20	c	+++
6	Обработвана/Cultivated	<i>F. graminearum</i>	4.50	d	+++
7	Необработвана/Uncultivated	<i>F. oxysporum</i>	2.27	b	+++
8	Обработвана/Cultivated	<i>F. oxysporum</i>	2.00	b	+++

F = 387,05  
Sd = 0,110  
LSD<sub>0.001</sub> = 0,225

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 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.





на почвата се губи напълно или частично след термичната обработка на почвата и е резултат от елиминирането на естествената почвена микрофлора. Установените в проучването факти са убедително доказателство за биологичния характер на естествената супресивност на двата почвени типа спрямо фузарииното кореново и базично гниене по пшеницата.

По данни от отделни литературни източници, прелогът с естествен тревен чим или изкуствено създадена тревна растителност води до редуциране на инокулумния потенциал на

инфектирани, земеделски почви с история на заболявания по житни (Gutteridge et al., 2006) или други култури (Ushiyama and Ogaki, 1970; Denny et al., 1993; Sileshi et al., 2008). Счита се, че биологичният механизъм, който стои зад ефекта, е свързан с редуциране на популационната плътност на патогените в почвата в резултат на отсъствие на чувствителен гостоприемник през периода на прелог (Denny et al., 1993; Noling and Becker, 1994). Настоящото изследване проследява възможността за изграждане на супресивен ефект в обработваемите почви чрез поддър-

**Таблица 4.** Прояви на фузариинно кореново и базично гниене по пшеница в Алувиално-Ливадна почва след инокулиране с *Fusarium culmorum*

**Table 4.** Disease intensity of *Fusarium* root and crown rot of wheat Eutric Fluvisols soil type inoculated with *Fusarium culmorum*

№	Вариант/Treatment		Индекс на нападение* Disease index*	Разпределение по Duncan** Duncan's range test**	Статистическа доказаност Statistical significance
	Почва/Soil	Патоген Pathogen			
1	Необработвана, стерилна Uncultivated, sterilized	Без/None	0.0	a	Контрола Control
2	Обработвана, стерилна Cultivated, sterilized	Без/None	0.0	a	ns
3	Необработвана, естествена Uncultivated, natural	Без/None	0.14	a, b	ns
4	Обработвана, естествена Cultivated, natural	Без/None	0.20	b	+
5	Необработвана, стерилна Uncultivated, sterilized	<i>F. culmorum</i>	4.32	e	+++
6	Обработвана, стерилна Cultivated, sterilized	<i>F. culmorum</i>	4.48	e	+++
7	Необработвана, естествена Uncultivated, natural	<i>F. culmorum</i>	3.16	c	+++
8	Обработвана, естествена Cultivated, natural	<i>F. culmorum</i>	3.92	d	+++
			F = 272.18 Sd = 0.084 LSD <sub>0.001</sub> = 0.170	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 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.

жане на краткотраен тревен прелог върху съответната площ. Получените резултати, обаче, не потвърждават първоначалната хипотеза, както и предположенията на други автори (Garbeva et al., 2004) за очаквано повишаване на естествената почвена супресивност по отношение на фузариено кореново и базично гниене по пшеницата, като резултат от поддържане на земеделската площ в състояние на тревен залеж (прелог). Макар че изследваните почви показват известна супресивност, изразяваща се в незначително, от стопанска гледна точка, по-слабо развитие на болестта в сравнение със стерилизираните техни аналози, „почивката” през периода на прелог не води до изграждане на допълнителен супресивен ефект по отношение на прицелното заболяване.

Супресивността на почвата по отношение на заболявания, причинявани от почвообитаващи фитопатогенни гъби по пшеницата и други житни култури, се свързва често с натрупване в ризосферната почва и по корените на симбионтни за растенията флуоресцентни бактерии-антагонисти от род *Pseudomonas* (Raaijmakers et al., 1997; Weller, 2007). Явлението е констатирано в стопански стари почви, използвани продължително за култивиране на житни култури със слята повърхност (Gerlagh, 1968; Weller et al., 2002) или в условията на „монокултурно затихване на болестта”, индуцирано в резултат на пет-шестгодишно монокултурно отглеждане на чувствителен гостоприемник (Weller, 1983; Thomashow and Weller, 1990a; Thomashow and Weller, 1990b; Thomashow et al., 1990; Cook et al., 1995; Raaijmakers et al., 1999). Биологичният контрол, осъществяван от тази група бактерии, се отдава на способността им да продуцират широкоспектърни антибиотични вещества, предимно 2,4-Диацетилфлороглуцинол (2,4-DAPG), а така също други флороглуциноли, фенозини, пиолотиорин, пиролнитрин, циклични липопептиди и др. (Thomashow and Weller, 1988; Cook et al., 1995; Kwak and Weller, 2013). В света са известни не по-малко от 22 генотипа на флуоресцентни *Pseudomonas* spp., обитаващи ризосферата и колонизиращи корените на пшеница и ечемик, и носещи ген *phlD*, отговорен за антибиотичен синтез на 2,4-DAPG (Kwak and Weller, 2013). Продуцираният от *Pseudomonas* spp. 2,4-DAPG е сред най-добре проучените антибиоти-

ци, потискащи развитието на редица фитопатогени, в т.ч. на гъби от род *Fusarium* (Weller et al., 2002; Mazzola, 2010). Наличието на бактерии-продуценти на този и други токсични за гъбите метаболити в ризосферата на растенията е най-вероятният механизъм, стоящ зад констатираната в настоящото изследване естествена супресивност на обработвани и необработвани – в прелог, почви по отношение на фузариено кореново и базично гниене по пшеницата. В научната литература липсват данни за индуциране на почвена супресивност към заболяването в условията на монокултура, както и за евентуален противоположен ефект след въвеждане в сеитбооборота на нечувствителен гостоприемник. Съгласно Gutteridge et al. (2006), обаче, заместването на пшеницата с отглеждане на дива житни треви води до редуциране на популациите от антагонистични бактерии в почвата, факт, който кореспондира напълно с резултатите от настоящото изследване.

Редица агротехнически и културностопански методи, прилагани при традиционните – предисторически и/или прединдустриални, земеделски системи, биха могли да намерят и намират приложение в съвременните модели за устойчиво развитие на земеделието (Altieri et al., 1987; Thomas and Kevan, 1993; Denevan, 1995; Zadoks, 2013). Разнообразни традиционни земеделски системи са просъществували в различни части на света, върху едни и същи територии, поддържайки относително големи човешки популации, с минимален антропогенен ефект върху природните и производствените ресурси. Този факт е неоспоримо доказателство за тяхната икономическа, екологична и социална устойчивост (Thurston, 1992; Denevan, 1995; Maloney, 1995; Natarajan, 2002; Lahmar et al., 2012). Съществува схващането, че различни форми на залеж биха могли да намерят приложение в съвременните биологични и конвенционални системи на земеделие (Aweto, 2013). Интегрирането и адаптирането на краткотрайния степен (тревен) прелог с продължителност 3-5 години към индустриалните форми на производство може да се окаже един от успешните подходи за регенериране на продуктивността и консервиране на биоразнообразието в обработваемите почви. Резултатите от настоящото изследване, обаче, неоспоримо показват, че към използването на естествен тре-

вен прелог трябва да се подхожда с повишено внимание. Препоръчването на прелог за контрол над болести по растенията, запазващи се с инокулум в почвата, трябва да се осъществява след предварително проучване на възможните ефекти от въвеждането му като метод върху всяка конкретна патологична система.

## ИЗВОДИ

Изследваните два типа почви – Чернозем-Смолница и Алувиално-Ливадна – оказват известен супресивен ефект спрямо фузарииното кореново и базично гниене по пшеницата. Нивото на потискане на проявите на заболяване, обаче, е незначително от агрономическа гледна точка.

Поддържането на тревен прелог върху двата типа почви в продължение на четири и седем години, съответно, не е в състояние да повиши тяхната супресивност по отношение на заболяването до практически значими нива.

Използването на прелог за контрол над болести по растенията, запазващи се с инокулум в почвата, трябва да се осъществява след предварително проучване на възможните ефекти от въвеждането му като метод върху всяка конкретна патологична система.

## ЛИТЕРАТУРА

**Alef, K., & Nannipieri, P.** (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry* (No. 631.46 M592ma). Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers, London, 576 p.

**Altieri, M. A.** (1995). *Agroecology: the science of sustainable agriculture* (2nd ed). Intermediate Technology Publications Ltd (ITP), Westview Press, Inc., Boulder, CO, USA.

**Altieri, M. A., Anderson, M., & Merrick, L. C.** (1987). Peasant agriculture and the conservation of crop and wild plant resources. *Conservation Biology*, 1(1), 49-58.

**Altieri, M. A., & Nicholls, C. I.** (2005). *Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture*. United Nations Environmental Programme, Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean, Mexico, 290 p.

**Aweto, A. O.** (2012). *Shifting cultivation and secondary succession in the tropics*. CAB International, Wallingford, Boston, 196 p.

**Bentley, J. W., Castaño-Zapata, J., & Andrews, K. L.** (1995). World integrated pathogen and pest management and sustainable agriculture in the developing world. In: *Advances in Plant Pathology*, 11, 249-276, Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers, 322 pp.

**Boudreau, M. A., & Mundt, C. C.** (1997). Ecological approaches to disease control. In: *Environmentally safe approaches to crop disease control* (pp. 33-62). Lewis Publishers, 386 pp.

**Brams, E. A.** (1971). Continuous cultivation of West African soils: Organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. *Plant and Soil*, 35(1), 401-414.

**Bridges, E. M., Oldeman, L. R., Penning, D. V., & Scherr, S. J.** (2001). *Response to land degradation*. Science Publishers Inc., Enfield, New Hampshire, 532 p.

**Cook, R. J., & Baker, K. F.** (1983). *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. American Phytopathological Society.

**Cook, R. J., Thomashow, L. S., Weller, D. M., Fujimoto, D., Mazzola, M., Banger, G., & Kim, D. S.** (1995). Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(10), 4197-4201.

**Denevan, W. M.** (1992). Stone vs. metal axes: The ambiguity of shifting cultivation in prehistoric Amazonia. *Journal of the Steward Anthropological Society*, 20(1-2), 153-165.

**Denevan, W. M.** (1995). 2 Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Advances in Plant Pathology*, 11, 21-43.

**Denny, T. P., Brumbley, S. M., Carney, B. F., Clough, S. J., & Schell, M. A.** (1993). Regulation of virulence in *Pseudomonas solanacearum*. In: Bacterial Wilt: proceedings of an international conference held at Kaohsiung, Taiwan, 28-31 October 1992, G.L. Hartman and A.C. Hayward, eds., ACIAR Proceedings, No. 45.

**Desaeger, J., & Rao, M. R.** (2000). Parasitic nematode populations in natural fallows and improved cover crops and their effects on subsequent crops in Kenya. *Field Crops Research*, 65(1), 41-56.

**Dichev, P.** (1930). For the Bulgarian agriculture and the cooperative in 40 years. In: *Sbornik trudove 1890-1930*, vol. I., 320 p. (Bg).

**Drechsel, P., & Gyiele, L. A.** (1999). The economic assessment of soil nutrient depletion: analytical issues for framework development. In: *Issues in Sustainable Land Management*, No. 7. International Board for Soil Research and Management, Bangkok: IBS RAM, 80 p.

**Duiker, S. W. & Thomason, W.** (2014). Conservation agriculture in the USA. In: Jat, R.A, Sahrawat, K.L. and Kassam, A.H. (eds.) *Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges*. CABI, pp. 26-53.

**Duncan, D. B.** (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11(1), 1-42.

**Duniway, J. M.** (2002). Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation of soil. *Phytopathology*, 92:1337-1343.

- European Commission** (2016). Commission Staff Working Document: Review of Greening After one Year. Brussels, 22.06.2016, SWD(2016) 418 final, Part 5/6, 47 p. [http://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/direct-support/pdf/2016-staff-working-document-greening-annex-4\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/direct-support/pdf/2016-staff-working-document-greening-annex-4_en.pdf)
- Finney, D. M., Creamer, N. G., Schultheis, J. R., Wagger, M. G., & Brownie, C.** (2009). Sorghum sudangrass as a summer cover and hay crop for organic fall cabbage production. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(3), 225-233.
- Garbeva, P. V., Van Veen, J. A., & Van Elsas, J. D.** (2004). Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 243-270.
- Gardiner, W. P.** (1997). Statistics for the biosciences: data analysis using Minitab software. Prentice Hall. London, New York, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore, Madrid, Mexico City, Munich, Paris, 416 p.
- Garrett, S. D.** (1970). *Pathogenic Root-Infecting Fungi*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gerlagh, M.** (1968). Introduction of *Ophiobolus graminis* into new polders and its decline. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 74(Suppl. 2), 1-97.
- Gerov, N.** (1899). Dictionary of the Bulgarian language, vol. III (L-O). Plovdiv. Druzhestvena pechatnitsa 'Saglasie', 440 p. (Bg).
- Glaser, B.** (2007). Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 362(1478), 187-196.
- Gutteridge, R. J., Jenkyn, J. F., & Bateman, G. L.** (2006). Effects of different cultivated or weed grasses, grown as pure stands or in combination with wheat, on take-all and its suppression in subsequent wheat crops. *Plant pathology*, 55(5), 696-704.
- Haas, H. J., Evans, C. E., & Miles, E. F.** (1957). Nitrogen and carbon changes in great plains soils as influenced by cropping and soil treatments. *Technical Bulletin 1164*, US Department of Agriculture, Washington, DC, 111 p.
- Jat, R. A., Sahrawat, K. L., & Kassam, A. H.** (Eds.) (2013). *Conservation agriculture: global prospects and challenges*. CABI.
- Juo, A. S., & Franzluebbers, K.** (2003). *Tropical soils: properties and management for sustainable agriculture*. Oxford University Press on Demand.
- Karzhin, H.** (1983). Control of diseases of cereal grain crops in intensive farming. CNTII - SSA, Sofia, (Bg).
- Killham, K.** (1994). *Soil ecology*. Cambridge University Press.
- Kwak, Y. S., & Weller, D. M.** (2013). Take-all of wheat and natural disease suppression: a review. *The Plant Pathology Journal*, 29(2), 125.
- Lahmar, R., Bationo, B. A., Lamso, N. D., Guéro, Y., & Tottonell, P.** (2012). Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: building on traditional local practices for soil restoration. *Field Crops Research*, 132, 158-167.
- Lal, R.** (1997). Degradation and resilience of soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 352(1356), 997-1010.
- Maloney, A.** (1995). Three sources for non-chemical management of plant disease: Towards an ecological framework. In: *Advances in Plant Pathology*, 11, 103-130, T.J. Press (Padstow) Ltd.
- Manlay, R. J., Cadet, P., Thioulouse, J., & Chotte, J. L.** (2000). Relationships between abiotic and biotic soil properties during fallow periods in the sudanian zone of Senegal. *Applied Soil Ecology*, 14(2), 89-101.
- Mazzola, M.** (2004). Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 35-59.
- Mazzola, M., & Reynolds, M. P.** (2010). Management of resident soil microbial community structure and function to suppress soilborne disease development. *Climate Change and Crop Production*, 1, 200-218, CABI, Wallingford, UK, 292 p.
- Natarajan, B.** (2002). Conservation of biological diversity and indigenous traditional knowledge as exemplified by the cases of Asia and Africa. *Indilinga African Journal of Indigenous Knowledge Systems (IAJIKS)*, 1(1), 37-45.
- Noling, J., & Becker, J. O.** (1994). The challenge of research and extension to define and implement alternatives to methyl bromide. *Journal of Nematology*, 26(4S), 573.
- Nyamadzawo, G., Nyamangara, J., Nyamugafata, P., & Muzulu, A.** (2009). Soil microbial biomass and mineralization of aggregate protected carbon in fallow-maize systems under conventional and no-tillage in Central Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, 102(1), 151-157.
- Orlove, B. S., & Godoy, R.** (1986). Sectoral fallowing systems in the Central Andes. *Journal of Ethnobiology*, 6(1), 169-204.
- Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S. B., & Meyer, R. E.** (1992). Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 5-11.
- Penning de Vries, F.** (2008). Large-scale fluxes of crop nutrients in food cause environmental problems at sources and sinks. In: *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series*, v. 6, (pp. 69-82). CABI, 235 p.
- Raaijmakers, J. M., Bonsall, R. F., & Weller, D. M.** (1999). Effect of population density of *Pseudomonas fluorescens* on production of 2, 4-diacetylphloroglucinol in the rhizosphere of wheat. *Phytopathology*, 89(6), 470-475.
- Raaijmakers, J. M., Weller, D. M., & Thomashow, L. S.** (1997). Frequency of antibiotic-producing *Pseudomonas* spp. in natural environments. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(3), 881-887.
- Ramachandran Nair, P. K.** (1993). *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, 499 p.
- Sheng, T. C.** (1989). *Soil conservation for small farmers in the humid tropics* (No. 60). *FAO Soils Bulletin* № 60, Rome, 115 p.

- Sileshi, G., & Mafongoya, P. L.** (2003). Effect of rotational fallows on abundance of soil insects and weeds in maize crops in eastern Zambia. *Applied Soil Ecology*, 23(3), 211-222.
- Sileshi, G., Schroth, G., Rao, M. R., & Girma, H.** (2008). Weeds, diseases, insect pests and tri-trophic interactions in tropical agroforestry. In: *Ecological Basis of Agroforestry*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 73-94.
- Stoorvogel, J. J., & Smaling, E. M. A.** (1998). Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. In: *Soil and Water Quality at Different Scales* (pp. 151-158). Springer Netherlands.
- Stranski, I.** (1919). Weeds in agriculture from biological point of view. Pechatnitsa "YuGA", Plovdiv, (Bg).
- Thomas, V. G., & Kevan, P. G.** (1993). Basic principles of agroecology and sustainable agriculture. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 6(1), 1-19.
- Thomashow, L. S., & Weller, D. M.** (1988). Role of a phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Journal of Bacteriology*, 170(8), 3499-3508.
- Thomashow, L. S., & Weller, D. M.** (1990a). Application of fluorescent pseudomonads to control root diseases of wheat and some mechanisms of disease suppression. *Biological control of soil-borne plant pathogens.*, 109-122, CAB International, Wallingford, 779 p.
- Thomashow, L. S., & Weller, D. M.** (1990b). Role of antibiotics and siderophores in biocontrol of take-all disease of wheat. *Plant and Soil*, 129(1), 93-99.
- Thomashow, L. S., Weller, D. M., Bonsall, R. F., & Pierson, L. S.** (1990). Production of the antibiotic phenazine-1-carboxylic acid by fluorescent *Pseudomonas* species in the rhizosphere of wheat. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(4), 908-912.
- Thurston, H. D.** (1992). *Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems*. Westview Press, Inc..
- Ushiyama, K., & Ogaki, C.** (1970). Studies on the replant problem in Unshiu orange orchards. II. (I) The effects of citrus root nematodes, *Tylenchulus semi-pénétrons*, and root lesion nematodes, *Pratylenchus loosi*, on citrus trees and fruits. (II) Effects of grass fallow and fumigation with nematicides on the growth of trees replanted in old citrus soils. *Bulletin of the Horticultural Branch (Section), Kanagawa Agricultural Experiment Station*, (18), 46-56.
- Van der Pol, F.** (1992). Soil Mining. An Unseen Contributor to Farm Income in Southern Mali. *Bulletin of the Royal Tropical Institute*, № 325, KIT Press, 47 p.
- Vatchev, T. D.** (2004). The impact of soil biota and crop management practices on soil-borne plant pathogens and diseases in agricultural systems. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 10(1), 71-87.
- Vatchev, T. D.** (2016). Long-term effect of biocidal soil disinfestation: review and case study on greenhouse tomato. *Global Journal of Advanced Biological Sciences*, 2, 1-13.
- Weller, D. M.** (1983). Colonization of wheat roots by a fluorescent pseudomonad suppressive to take-all. *Phytopathology*, 73(11), 1548-1553.
- Weller, D. M.** (2007). *Pseudomonas* biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years. *Phytopathology*, 97(2), 250-256.
- Weller, D. M., Raaijmakers, J. M., Gardener, B. B. M., & Thomashow, L. S.** (2002). Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 309-348.
- Yanashkov, I., Avramov, Zh. & Vatchev, Ts.** (2017). Soilborne fungal pathogens of small grain cereal crops in Bulgaria: species composition and distribution. *Rastnievadni nauki*, 54(2), 10-23. (Bg).
- Zadoks, J. C.** (2013). *Crop Protection in Medieval Agriculture: Studies in pre-modern organic agriculture*. Sidestone Press, ePub ebook, 333 p.