

DOI: <https://doi.org/10.61308/PKIZ6968>

Влияние на минерално и органично торене върху микрофлората в ризосферата на царевица, в условията на Излужена Смолница

Миладин Назарков*, Йонита Перфанова

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкиarov“, Селскостопанска академия

E-mail*: m.nazarkov@issapp-pushkarov.org

Резюме

Царевицата (*Zea mays* L.) е една от най-важните зърнени култури в световен мащаб и заема ключово трето място на отглеждане в земеделието на България.

Предизвикателство пред земеделието е необходимостта от увеличаване на производителността на обработваемите земи, като същевременно се намалят вредните за околната среда последици от минералното торене, чрез включване на торене с органичен произход.

През 2023 година на почва Излужена Смолница в ОП на ИПАЗР „Н. Пушкиarov“, гр. Божурище, е изведен полски опит при неполивни условия с основна цел изпитване влиянието на различно торене с минерални и органични торове, върху микрофлората в ризосферата на царевица. Микроорганизмите в почвата представляват потенциален ресурс за устойчивото управление на агроecosystemите.

Установено е че прилагането на минерално и органично торене при царевица, влияе положително върху разпространението на основни групи почвени микроорганизми при Излужена Смолница. Амонифициращите микроорганизми, бактериите усвояващи минерален азот и микроскопичните гъби, имат най-добро развитие при комбинираното внасяне на органичните торове от растителен и животински произход. Най-голям брой актиномицети са установени при вариантите с органичния тор от животински произход. Целулозоразграждащите микроорганизми се влияят благоприятно от минералното торене.

Ключови думи: царевица, минерални и органични торове, микрофлора

Effect of mineral and organic fertilization on rhizosphere microflora of maize under leached smolnica soil conditions

Miladin Nazarkov*, Yonita Perfanova

Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection “Nikola Pushkarov” – Sofia, Agricultural Academy

Corresponding author*: m.nazarkov@issapp-pushkarov.org

Citation: Nazarkov, M., & Perfanova, Y. (2026). Effect of mineral and organic fertilization on rhizosphere microflora of maize under leached smolnica soil conditions. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 60(1), 3-11 (Bg).

Abstract

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important cereal crops worldwide and ranks third in terms of cultivated area in Bulgarian agriculture. A major challenge facing modern agriculture is the need to increase productivity on arable land while simultaneously reducing the negative environmental impacts associated with mineral fertilization, through the inclusion of fertilizers of organic origin.

In 2023, a field experiment was conducted under rainfed conditions on Haplic Vertisol soil at the Experimental Station of the Institute of Plant Genetic Resources “N. Pushkarov” in Bozhurishte, Bulgaria. The primary objective of the study was to evaluate the effects of different mineral and organic fertilization regimes on the rhizosphere microflora of maize.

Soil microorganisms represent a valuable resource for the sustainable management of agroecosystems.

The results of the study indicate that the application of both mineral and organic fertilizers in maize cultivation has a positive influence on the distribution of major groups of soil microorganisms in Haplic Vertisol soils. Ammonifying microorganisms, mineral nitrogen-utilizing bacteria, and microscopic fungi exhibited the most favorable development under combined applications of organic fertilizers from both plant and animal origins. The highest abundance of actinomycetes was recorded in treatments receiving organic fertilizers of animal origin, while cellulose-decomposing microorganisms were most positively affected by mineral fertilization.

Key words: maize, mineral and organic fertilizers, microflora

Въведение

В България, царевичката е втората по значение зърнена и земеделска култура след пшеницата като заема трето място у нас по територия на отглеждане и е основен източник на зърно за фуражни цели. Значителният ѝ дял в структурата на обработваемите площи и високия добивен потенциал обуславят нейната водеща роля, както в растениевъдството, така и в животновъдния сектор.

Предизвикателствата пред земеделието включват необходимостта от увеличаване на производителността на обработваемите земи, като същевременно се намалят вредните за околната среда последици от минералното торене. Микроорганизмите в почвата представляват потенциален ресурс за устойчивото управление на агроекосистемите (Alegria et al., 2016). Торовете от различен произход, промишлени и органични, включени в системите на земеделие при отглеждане на земеделски култури, водят до промени в почвената среда, които се отразяват в различна степен, върху условията за развитие на почвената микрофлора. В резултат на торенето се изменят както химичният състав, така и физичните характеристики на почвата, което влияе върху числеността, разнообразието и биологичната активност на основните групи почвени микроорганизми. Внасянето на органични торове в почвата в научно обосновани и оптимални дози създава условия за постигане на висока агрономическа ефективност. Тяхното приложение оказва положително влияние върху азотния баланс в почвата и повишава съдържанието на биологично активни съединения. Органичните торове допринасят за обогатяване на почвената среда с полезна микрофлора, тъй като служат като източник на енергия и хранителни вещества за почвените микроорганизми.

Наред с това, органичните торове имат ясно изразено мелиоративно действие, като подобряват почвената структура, увеличават водозадържащия капацитет и сорбционните свойства на почвата, както и повишават степента на наситеност с обменни бази (Ivanova et al.,

2019). Положителното влияние на органичните торове върху почвената и ризосферна микрофлора е установено от много автори (Petkova and Marinova-Garvanska, 1998; Petkova et al., 2007; Marinari et al., 2000; Parham et al., 2003 и др.). Според Wang et al., (2018) неорганичните торове, особено азотните, намаляват бактериалното биоразнообразие в ризосферата на растенията, докато оборският тор повишава тези популации. След дългогодишно проучване Geisseler and Scow (2014), установяват, че прилагането на минерални торове е довело до 15,1% увеличение на микробиалната биомаса в сравнение с неторения вариант. Минералното торене също повишава съдържанието на органичен въглерод в почвата. Резултатите показват, че органичният въглерод е основен фактор, допринасящ за общото увеличение на микробиалната биомаса. Начинът, по който конкретни групи микроорганизми реагират на повтарящи се приложения на минерални торове, варира значително и зависи от факторите, свързани с околната среда и отглеждането на културите.

Материал и методи

През 2023 в Опитната база (ОБ) Божурище към ИПАЗР „Н. Пушкиров“, Софийска област, е проведен еднофакторен полски опит, насочен към изследване ефекта от торенето. Като обект на изследването е използван ранен хибрид царевичка (*Zea mays* L.) Феномен (ФАО 160), селекция на „Синджента България“. Опитното поле се намира в района на високите полета на Западна България и попада в Софийско-Крайщенския екологичен район.

Опитът е проведен върху почва от типа Излужена Смолница, която се характеризира като една от най-тежките по механичен състав почвени разновидности в България. Съгласно българската и международната почвена класификация тя се отнася към Haplic Vertisol (FAO, 2006) и е типичен представител на глинестите смолници в района на Софийското поле. Почвата се отличава с високо съдържание на физична глина (78–80%) и ил (около 62%). Обемната плътност в сухо състояние варира в

границите 1,95–2,0 g.cm⁻³, а при пределна полска влагоемност – 1,23–1,25 g.cm⁻³. Относителната плътност е 2,68.

Експериментът е заложен по стандартния блоков метод с дълги парцелки, като общата площ на опитния участък е 615 m². Отглеждането на културата е осъществено при неполивни условия. В изследването са включени осем варианта на торене (V0–V7), разположени в три повторения, като площта на всяка реколтна парцела е 25 m². Таблица 1 съдържа варианти и норми торене на използваните минерални и органични торове (kg.ha⁻¹). В таблица 2 са представени съдържание и химичен състав на използваните торове.

Подготовката на почвата за отглеждане на царевица включва провеждане на комплекс от предсеитбени обработки. Те обхващат двукратно дискуване в кръстосана посока с дискова брана с работна ширина 4 m, последвано от дълбока обработка с чизелен култиватор със същата работна ширина. Торенето е внесено преди сеитбата, съчетано с последната предсеитбена почвена обработка, с цел равномерно инкорпориране на хранителните вещества.

Поради отчетените интензивни и чести валежи през месец май, сеитбата на царевицата е извършена със закъснение от 25 дни спрямо оптималния агротехнически срок за района, като реалната дата на засяване е 23.05.2023. За сеитбата е използвана пневматична сеялка за окопни култури марка „Gaspardo“, а полето е било без предшественик и поддържано като угар през предходната 2022 година. Непосредствено след засяването е проведено валиране с валеж тип „Кембридж“ с цел подобряване контакта между семената и почвата.

Сеитбата е извършена при препоръчана от производителя гъстота от 64 000 растения в ha, като към момента на прибиране на реколтата са отчетени около 60 000 растения в ha. В ранните фази на развитие на културата е проведено листно третиране с широкоспектърен хербицид за контрол на едногодишни и многогодишни житни и широколистни плевели. Използван е препаратът Елумис ОД (никосулфурон 30 g.l⁻¹ и мезотрион 75 g.l⁻¹) в доза 2 l.ha⁻¹, в резервоарна

смес с биологично активно вещество от водорасли Лейли Алга 600 в норма 500 g.ha⁻¹. Пръскането е извършено с работен разтвор 300 l.ha⁻¹ във фаза 6–7 лист на царевицата, при плевелите – едногодишни житни във фаза 1–3 лист и широколистни (едногодишни и многогодишни) във фаза 2–4 лист.

Единадесет дни след хербицидното третиране е проведена междуредова обработка чрез окопаване с култиватор „Gaspardo“.

След прибирането на реколтата от царевица са взети почвени проби от орния слой (0–30 cm), като за всяка схема на торене е извършена отделна микробиологична оценка. Определянето на числеността на основните групи почвени микроорганизми е проведено по метода на десеткратните разреждания, чрез култивиране на почвени суспензии върху селективни агаризирани хранителни среди, съгласно методиката на Grudeva et al. (2006). В хода на изследването са анализирани следните физиологични и таксономични групи микроорганизми: амонифициращи микроорганизми, култивирани върху месо-пептонен агар след 72-часова инкубация; микроскопични гъби, изолирани върху подкиселена среда на Чапек с продължителност на инкубация седем дни; актиномицети и микроорганизми, усвояващи минерален азот, отглеждани върху скорбяло-амонячен агар за период от седем дни; както и целулозоразлагащи микроорганизми, развивани върху хранителна среда на Гутчинсон при четиринадесетдневна инкубация.

Извършена е статистическа обработка на получените резултати, чрез еднофакторен дисперсионен анализ (ANOVA), използвайки програмния продукт Statgraphics. За установяване на статистически значимите различия между отделните варианти на торене е приложен критерият за най-малка значима разлика (LSD) при ниво на значимост $p \leq 0,05$.

Резултати и обсъждане

Климатичните условия през стопанската 2023 се отличават с изразен дефицит на валежи и повишен температурен фон спрямо климатичните

Таблица 1. Варианти на торене и приложени физически количества торове (kg.ha⁻¹)
Table 1. Variants of fertilization and the physical quantities of the applied fertilizers (kg.ha⁻¹)

Варианти на торене (kg.ha ⁻¹) / Variants of fertilizations (kg.ha ⁻¹)
V0 - Control (three-year fallow period with no fertilization)
V1 - Control (no fertilization)
V2 – NPK (200 kg.ha ⁻¹) + NH ₄ NO ₃ (400 kg.ha ⁻¹)
V3 - NPK (200 kg.ha ⁻¹) + Лейли Алга Сойл/Leili Alga Soil (200 kg.ha ⁻¹)
V4 - NPK (200 kg.ha ⁻¹) + Фертилполина/Fertilpolina (400 kg.ha ⁻¹)
V5 - NPK (100 kg.ha ⁻¹) + NH ₄ NO ₃ (200 kg.ha ⁻¹) + Лейли Алга Сойл/Leili Alga Soil (200 kg.ha ⁻¹)
V6 - NPK (100 kg.ha ⁻¹) + NH ₄ NO ₃ (200 kg.ha ⁻¹) + Фертилполина/Fertilpolina (400 kg.ha ⁻¹)
V7 - Лейли Алга Сойл/Leili Alga Soil (300 kg.ha ⁻¹) + Фертилполина/Fertilpolina (600 kg.ha ⁻¹)

Таблица 2. Химичен състав на използваните торове
Table 2. Chemical composition of the used organic fertilizers

Видове торове / Types of fertilizers	Съдържание / Contents
Фертилполина / Fertilpolina	N - 3,2% P ₂ O ₅ - 3% K ₂ O - 1% Органична материя / Organic matter > 59% Въглерод (C) / Carbon (C) - 33% Хуминови и фулво киселини / Humic and fulvic acid - 7%
Лейли Алга Сойл / Leili Alga Soil	N - 1,7% P ₂ O ₅ - 2,6% K ₂ O - 1,7% Водорасли (Sargassum sp.) /Seaweed (Sargassum sp.) Леонардит и бентонит / Leonardite and bentonite
Амониев нитрат - NH ₄ NO ₃ (%) / Ammonium nitrate (NH ₄ NO ₃)	Нитратен азот (NO ₃) / Nitrate nitrogen (NO ₃ ⁻) - 17,2% Амонячен азот (NH ₄) / Ammonium nitrogen (NH ₄ ⁺) - 17,2%
Сложен минерален тор – N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅ / Compound mineral fertilizer – N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	N - 15% P ₂ O ₅ - 15% K ₂ O - 15%

норми за района. В началния етап от вегетацията, през месец май, са регистрирани по-ниски средни месечни температури, приблизително с 1,5° C под дългогодишната средна стойност. През юни температурният режим остава близък до обичайния за периода, без ясно изразени отклонения, като в следващите месеци от вегетационния период (юли–октомври) се

установява трайно повишение на средните месечни температури, като превишението спрямо дългогодишните данни варира в границите от 2,9 до 4,5° C. Комбинацията от по-високи температури и намалените валежни количества през периода юни–октомври 2023 оказва неблагоприятно въздействие върху растежа и продуктивността на царевицата, което се

отразява в понижаване на добивите при всички изследвани варианти на опита. Натрупаната сума на средните месечни температури за интервала май–октомври превишава климатичната норма с 1,9° C.

Средногодишното количество валежи за дългогодишния период 1931–1985 възлиза на 593 l.m⁻², като валежният режим се характеризира с ясно изразен максимум през късната пролет (май–юни) и минимум в зимните месеци (януари–март). За периода май–октомври средната сума на валежите за многогодишния период е 346 l.m⁻². По време на вегетацията на царевицата през 2023 (юни–октомври) е регистрирано общо количество валежи от 317,6 l.m⁻², което представлява намаление от 8,2% спрямо дългогодишната норма (фиг. 1). Най-голямо количество валежи е отчетено през месец юни – 161,4 l.m⁻². В началния етап от развитието на културата, в периода от 1 до 15 май, са регистрирани 11 дни с валежи, което оказва неблагоприятно влияние върху поникването и ранното развитие на растенията (от поникване до фаза трети лист). След този период се установява продължителен интервал с ограничени валежи, обхващащ месеците юли, август и октомври. Най-ниски месечни количества са отчетени през юли и октомври, съответно 11,8 и 4,4 l.m⁻², което създава условия на воден дефицит и допълнително ограничава растежа и продуктивността на царевицата (фиг. 2). Валежите през октомври, нямат стопанско значение за получения добив зърно царевица.

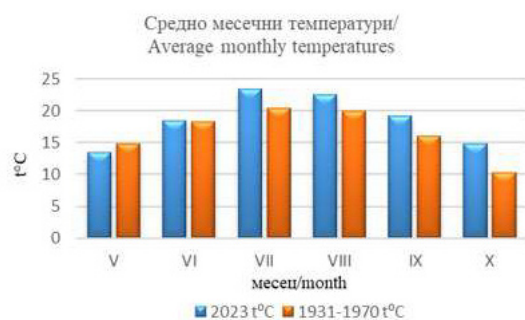
Полският експеримент с царевица, проведен през 2023, е насочен към оценка на ефекта от предсеитбеното внасяне на гранулирани минерални и органични торове, използвани за основно торене. Изследването анализира тяхното въздействие върху формирането на добива от зърно, както и върху числеността и биологичната активност на основните групи почвени микроорганизми (таблица 3).

Прилагането на агротехнически мероприятия – минерално и органично (биологично) торене, оказват значително влияние, върху разпространението на амонифициращите

микроорганизми при Излужена Смолница. Отчетено е двойно по – голямо количество амонифициращи микроорганизми при вариант V1 – без торене, в сравнение с вариант V0 - три години без отглеждане на култури и без торене. Това показва, че след отглеждането и прибирането на царевицата в почвата са новопостъпили органични вещества, които стимулират дейността на тази група микроорганизми. Торенето с органични торове (Лейли Алга Сойл - 300 kg.ha⁻¹ и Фертилполина - 600 kg.ha⁻¹), ускорява протичането на амонификационните процеси в почвата. При вариант V7 са отчетени най-голям брой амонифициращи микроорганизми – 38,0 КОЕ 10⁶ g/почва, в сравнение с останалите варианти на опита.

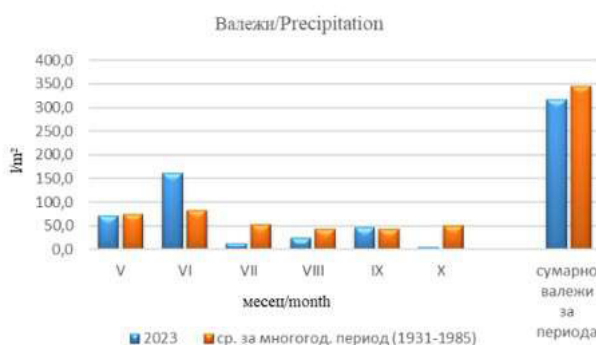
Подобно изследване е проведено от Gong et al. (2009), които изпитват различни варианти на минерално и органично торене при отглеждане на царевица. Те установяват, че общата микробиална биомаса (включително бактерии, гъби и актиномицети) е с най-високи стойности при органичното торене, докато контролата (без торене) показва най-ниски стойности.

Разпространението на бактериите усвояващи минерален азот в отделните варианти на изследването, е аналогично с това на амонифициращите микроорганизми. Минерализационните процеси протичат слабо преди залагане на опита, докато през есента се засилват. Резултатите показват, че всички варианти на торене влияят благоприятно върху разпространението на бактериите усвояващи минерален азот, най-силно изразено при вариант V7 (Лейли Алга Сойл - 300 kg.ha⁻¹ и Фертилполина – 600 kg.ha⁻¹) – 54,2 КОЕ 10⁶ g/почва, което е и статистически доказано. При вариант V1 без прилагане на торене тези микроорганизми са 22,2 КОЕ 10⁶ g/почва. Излужената Смолница притежава значителен потенциал за освобождаване и последващо усвояване на хранителни вещества от растителната биомаса след прибирането на царевицата, което създава предпоставки тези ресурси да бъдат използвани от културите, отглеждани през есенния период. Подобен подход е разгледан



Фиг. 1. Средно месечни температури май–октомври на 2023 и за дългогодишен период в ОП Божурище (°C)

Fig. 1. Average monthly temperatures from May to October in 2023 and for the long-term period at OP Bozhurishte (°C)



Фиг. 2. Сравнение на сумарните валежи през периода май–октомври за дългогодишния период и за 2023 в ОП Божурище (l.m²)

Fig. 2. Comparison of cumulative precipitation during the May–October period for the long-term average and for 2023 at OP Bozhurishte (l.m²)

Таблица 3. Основни групи почвени микроорганизми

Table 3. Major groups of soil microorganisms

Варианти / Variants	Амони- фициращи микро- организми / Ammonifying bacteria	Бактерии усвояващи мин. N / Mineral N-utilizing bacteria	Актиномицети / Actinomycetes	Микроскопични гъби / Microscofungi	Целулозо- разграждащи микро- рганизми / Cellulolytic microorganisms
	КОЕ 10 ⁶ g/почва (soil)			КОЕ 10 ³ g/почва (soil)	
V0	7,8 ^a	15,8 ^a	2,4 ^{bc}	24 ^b	62 ^c
V1	16,0 ^{ab}	22,2 ^b	2,2 ^b	20 ^a	22 ^a
V2	19,8 ^{bc}	23,8 ^{bc}	3,0 ^c	40 ^{cd}	60 ^c
V3	29,0 ^{cd}	43,0 ^e	1,8 ^a	44 ^{de}	37 ^{ab}
V4	25,2 ^{bc}	45,6 ^e	4,4 ^e	34 ^c	50 ^b
V5	22,4 ^{bc}	27,4 ^{cd}	1,8 ^a	48 ^{ef}	46 ^b
V6	29,0 ^{cd}	30,2 ^d	3,8 ^{de}	50 ^{ef}	36 ^{ab}
V7	38,0 ^d	54,2 ^f	3,6 ^d	56 ^f	30 ^a
LSD P ≤ 0,05	56,04	23,26	2,95	2,82	13,53

в изследване на Aira et al. (2010), при което е анализирано въздействието на различни норми на торене върху царевица и състоянието на почвата в ризосферната зона след прибирането на реколтата. Резултатите показват, че както числеността, така и биологичната активност

на почвената микрофлора в ризосферата са в тясна зависимост от нивото на приложеното торене.

Най-голяма численост от актиномицети е установена при варианти V4 (NPK + Фертилполина), V6 (N₁₅P₁₅K₁₅ + NH₄NO₃ +

Фертилполина) и V7 (Лейли Алга Сойл + Фертилполина). Това показва, че органичният тор от животински произход, стимулира дейността на актиномицетите. Най-малък брой актиномицети са отчетени при варианти V3 ($N_{15}P_{15}K_{15}$ + Лейли Алга Сойл) и V5 ($N_{15}P_{15}K_{15}$ + NH_4NO_3 + Лейли Алга Сойл) – 1,8 КОЕ 10^6 /почва. Вероятно, при внасянето на органичния тор от растителен произход, в почвата постъпват високи количества органични вещества, които потискат дейността на актиномицетите и е необходим по-дълъг период за активизирането им при създадените условия. И други автори (Ivanova et al., 2019) съобщават за отчетен по-малък брой актиномицети след внасяне на органичен тор от растителен произход в Излужена Смолница, при съдов опит с царевица.

Незначителни са разликите в разпространението на микроскопичните гъби преди залагане и след прибиране на опита, съответно V0 - 24 КОЕ 10^3 g/почва V1 - 20 КОЕ 10^3 g/почва. И при тази група микроорганизми се наблюдава положителното влияние на минералните и органичните торове. Това показва, че внасянето им в почвата, влияе върху образуването на мицел и натрупването на по-голямо количество биомаса от микроскопичните гъби. Както при амонифициращите микроорганизми и бактериите усвояващи минерален азот, така и при микроскопичните гъби най-силно е изразен ефекта от комбинираното прилагане на органичните торове от растителен и животински произход, при вариант V7 - 56 КОЕ 10^3 g/почва. При този вариант протичат най-интензивно процесите на разлагане на растителните и животински остатъци в почвата. Според Swalina-Ambroziak and Wierzbowska (2009), положителното действие на органичното торене се проявява в потискане на популациите от патогенни микроорганизми и стимулиране на микроскопичните гъби.

За разлика от разгледаните до тук групи микроорганизми, при целулозоразграждащите бактерии се наблюдава намаляване в разпространението им след залагане на опита. Най-малък брой целулозоразграждащи микроорганизми е отчетен при контролния

вариант V1 - 22 КОЕ 10^3 g/почва. При вариантите с приложено торене броят им се увеличава в различна степен, спрямо контролата. Най-голямо наличие на целулозоразграждащи микроорганизми има при варианта с минерално торене V2 - 60 КОЕ 10^3 g/почва. Вероятно, при внасянето на органични торове е необходим по-дълъг период за усвояването им в почвата и започването на активни целулозоразграждащи процеси.

Изводи

Прилагането на минерално и органично торене при царевица, влияе положително върху разпространението на основни групи почвени микроорганизми при Излужена Смолница. Амонифициращите микроорганизми, бактериите усвояващи минерален азот и микроскопичните гъби, имат най-добро развитие при комбинираното внасяне на органичните торове от растителен и животински произход (Лейли Алга Сойл + Фертилполина). Най-голям брой актиномицети са отчетени при вариантите с употреба на органичния тор от животински произход (Фертилполина). Целулозоразграждащите микроорганизми се влияят благоприятно от минералното торене ($N_{15}P_{15}K_{15}$ + NH_4NO_3).

Благодарности

Настоящата публикация, посветена на изследването „Влияние на минералното и органичното торене върху микрофлората в ризосферата на царевицата при условията на Излужена Смолница“, е изготвена в рамките на Националната програма „Млади учени и постдокторанти – 2“. Проучването е финансирано от Министерството на образованието и науката на Република България, като Селскостопанска академия участва в качеството си на бенефициент по програмата.

Конфликт на интереси: авторите декларират, че нямат конфликт на интереси.

Литература

- Aira, M., Gómez, M., Lazcano, B., Bååth, E., & Domínguez, J. (2010). Plant genotype strongly modifies the structure and growth of maize rhizosphere microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2276-2281.
- Alegria Terrazas, R., Giles, C., Paterson, E., Robertson-Albertyn, S., Cesco, S., Mimmo, T., Pii, Y., & Bulgarelli, D. (2016). Plant-microbiota interactions as a driver of the mineral turnover in the rhizosphere. *Advances in Applied Microbiology*, 95, 1-67.
- Cwalina-Ambroziak, B., & Wierzbowska, J. (2009). Effect of fertilization on the composition of soil fungi community. *Contemporary Problems of Management and Environmental Protection*, 4, 107-118.
- FAO (2006). *World Reference Base for Soil Resources 2006*. FAO, Rome, 132 p.
- Geisseler, D., & Scow, K. (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54-63.
- Gong, W., Xiaoyuan, Y., Wang, T., & Gong, Y. (2009). Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. *Geoderma*, 149(3-4), 318-324.
- Grudeva, V., Naumova, S., Gocheva, B., Nedeva, T., & Antonova-Nikolova, S. (2006). *Manual of Microbiology*. University Publishing House “St. Kliment Ohridski”, Sofia.
- Ivanova, D., Perfanova, Y., & Petkova, Z. (2019). Influence of increasing rates of organic fertilizers on soil microflora (pot experiment with maize). *Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, 53(2), 36-44. (Bg)
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S. (2000). Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72(1), 9-17.
- Parham, J., Deng, S., Da, H., Sun, H., & Raun, W. (2003). Long-term cattle manure application to soil. II. Effect on soil microbial populations and community structure. *Biology and Fertility of Soils*, 38(4), 209-215.
- Petkova, G., & Marinova-Garvanska, S. (1998). Effect of sewage sludge on microbial activity of leached Smolnica and podzolized Vertisol. *Ninth Congress of Bulgarian Microbiologists with Foreign Participation*, 2, 232-235.
- Petkova, G., Dimitrova, A., & Petkova, Z. (2007). Effect of vermicompost on microbial activity of spiniach rhizosphere. *Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, XLI(3), 37-43 (Bg).
- Wang, Q., Jiang, X., Guan, D., Wei, D., Zhao, B., Ma, M., Chen, S., Li, L., Cao, F., & Li, J. (2018). Long-term fertilization changes bacterial diversity and bacterial communities in the maize rhizosphere of Chinese Mollisols. *Applied Soil Ecology*, 125, 88-96.

Received: 20th December 2025, **Approved:** 10th February 2026, **Published:** March 2026