

DOI: <https://doi.org/10.61308/MYTH6891>

## **Влияние на микропластмаси, вермикомпост и зеолит върху микрофлората на почви с различни физични свойства**

**Йонита Перфанова\*, Катерина Донева, Милена Керчева, Христо Вълчовски**

*ССА, ИПАЗР „Н. Пушкарров“, София, България*  
E-mail\*: JPerfanova@gmail.com

### **Резюме**

Изследвано е влиянието на примеси с различен състав и произход - неорганичен (микропластмаси), органичен (вермикомпост) и минерален (зеолит) върху микрофлората и физичните условия в два вида почва. Проведен е лабораторен експеримент с почвени проби, взети от повърхностния слой 0-20 cm на Делувиално-ливадна почва (Vertic Phaeozem) с тежък механичен състав (clay) от затревената площадка в опитно поле Горни Лозен и на Кафява горска почва (Haplic Cambisol) със среден механичен състав (loam) от обработваема площ в опитната станция по картофите в Самоков. Концентрацията на примесите е 10% от масата на пробата. Определено е количеството на основни групи почвени микроорганизми – амонифициращи и целулозоразлагащи микроорганизми, бактерии усвояващи минерален азот, актиномицети и микроскопични гъби. Анализирани са промените във водозадържащата способност на смесите. Установено е, че разпространението на почвените микроорганизми се влияе по различен начин от внесените примеси в изследваните почвени различия.

**Ключови думи:** микрофлора, микропластмаси, вермикомпост, зеолит, тежка и средна по механичен състав почви

## **Effects of microplastics, vermicompost and zeolite on microflora of soils with different physical properties**

**Jonita Perfanova\*, Katerina Doneva, Milena Kercheva, Hristo Valchovski**

*Agricultural Academy, ISSAPP „N. Poushkarov“, Sofia, Bulgaria*  
Corresponding author\*: JPerfanova@gmail.com

**Citation:** Perfanova, J., Doneva, K., Kercheva, M., & Valchovski, H., (2024). Effects of microplastics, vermicompost and zeolite on microflora of soils with different physical properties. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 58(2), 3-13 (Bg).

## Abstract

The effect of additives of different composition and origin - non-organic (microplastics), organic (vermicompost) and mineral (zeolite) on microflora and soil physical conditions of two soil varieties was studied. A laboratory experiment was performed on soil samples, taken from the surface (0-20 cm) soil layer of Vertic Phaeozem (clay textural class), from the experimental field Gorni Lozen under grassland and of Haplic Cambisol (loam textural class), from the experimental station of potatoes Samokov, cultivated land. The concentrations of the additives were 10% by mass of the sample. The amount of main groups of soil microorganisms was determined - ammonifying and cellulolytic microorganisms, mineral nitrogen-utilizing bacteria, actinomycetes and microscopic fungi. The changes of water retention properties of the studied mixtures were analyzed. It was found that the distribution of soil microorganisms was influenced in a different way by the applied additives in the studied soils.

**Key words:** microflora, microplastics, vermicompost, zeolite, fine-textured and medium-textured soils

## Въведение

При употреба на почвени подобрители се увеличава микробната популация и се постига устойчивото земеделие. Те могат да бъдат алтернатива на химическите торове. В резултат от прилагането на почвени подобрители се увеличава съдържанието на биологично активни вещества и почвата се обогатява с полезна микрофлора. Същевременно тези подобрители имат и мелиоративно значение, тъй като подобряват структурата на почвата, повишават водозадържащата ѝ способност, сорбционния капацитет и степента на наситеност с бази. Положителен ефект върху физичните свойства на почвата се наблюдава при добавяне на 10% зеолит, който повишава усвояемия воден капацитет (Chrankina-Katsarova, 2021).

Внасянето на органични материали в почвата влияе върху количеството и активността на основни групи почвени микроорганизми. Благоприятният ефект на органичните торове и подобрители на почвата върху микрофлората, е

установен от много автори (Petkova & Marinova-Garvanska, 1998; Marinari et al., 2000; Parham et al., 2003; Petkova et al., 2007; Balakrishnan et al., 2007; Perfanova et al., 2022).

Освен добавянето на примеси в почвата, които действат като мелиоранти и подобрители на качеството ѝ, в нея попадат и отпадъци, които влошават почвените свойства. Наземните екосистеми са замърсени с микропластмаси, поради широкото използване и лошото боравене с пластмасови материали. В почвената среда микропластмасата представлява потенциална заплаха за оцеляването, растежа и възпроизводството на почвената микробиота, което от своя страна застрашава биоразнообразието и функциите на сухоземните екосистеми. Същевременно микроорганизмите са чувствителни към микропластмасите, поради адаптивността им към промените в субстратите и свойствата на почвата. Чрез процесите на метаболизъм и минерализация микроорганизмите са основен участник в биоразграждането на пластмасата (Zhang et al., 2021).

Въпреки многобройните приложения на пластмасите в съвременното земеделие (Mitova et al., 2019), те могат да представляват заплаха за качеството на почвата. Засилен научен интерес през последните години е насочен към разпространението и придвижването на микропластмасите в почвите, замърсяването, което причиняват, както и отстраняването им от почвите (Sain et al., 2014; Rubio et al., 2016; Qi et al., 2020 и др.). Микропластмасите представляват малки пластмасови фрагменти с размери <5 mm. Разработени са методи за отстраняване на най-често срещаните видове микропластмаси включително поликарбонат (PC) и полиметилметакрилат (PMMA) от почвата (He et al., 2018; Liu et al., 2018). Всъщност повечето от микропластмасите са неразградими, инертни замърсители. Прилагането на подходяща химична модификация на целулозни пълнители и включването им в изкуствена субстанция, като PMMA ги прави частично разградими (Sain et al., 2014).

Целта на настоящото изследване е да се сравни влиянието на примеси с различен произход върху количеството основни групи почвени микроорганизми върху два вида почва в рамките на лабораторен експеримент.

## Материали и методи

В настоящото изследване влиянието на различни примеси е изпитано в лабораторни условия, като са изследвани два вида почва: Делувиално-ливадна почва (Vertic Phaeozem) от затревената площадка в опитно поле Горни Лозен (42°63'N, 23°46'E, 585 m н.в.), Софийска област и Кафява горска почва (Haplic Cambisol) от обработваемата площ в опитната станция по картофите в района на Самоков (42°34'N, 23°54', 945 m н.в.). Почвените проби са взети в ненарушено и нарушено състояние от повърхностния 0-20 cm почвен слой. Механичният състав е определен съгласно ISO 11277:2009, чрез ситов анализ за фракцията на пясъка и с пипетен метод за фракциите на праха и глината. Текстурните класове и наименованията на почвите са определени съгласно IUSS Working

Group WRB (2022) (таблица 1).

Съдържанието на общ органичен въглерод (SOC, %) е определено по модифицирания метод на Тюрин (Filcheva & Tsadilas, 2002; Kononova, 1963). Съдържанието на SOC е класифицирано по Филчева (Raichev & Filcheva, 2011). Въз основа на данни за механичния състав и SOC е изчислен индекса за устойчивост на почвената структура (SI), който е предложен от Pieri (1992) и е използван като един от индикаторите за физично качество на почвата (Reynolds et al., 2009), като определя възможността за възстановяване на деградирала почва:

$$SI=1,724 \times SOC / (\text{прах} + \text{глина}) \times 100\% \quad (1)$$

По данни на производителя на вермикомпост (Биотур 2012 ООД) съдържанието на органичен въглерод е над 35%. Киселинността е около 7,2-7,9.

Киселинността на почвата е измерена във вода с рН метър (ISO 10390:2011).

Лабораторният експеримент със смеси на избраните почви и примеси при различни нива на влажност е проведен в следните варианти: контрола (S, почва, без примеси), смеси на почва с: поликарбонат (PC, неорганичен), полиметилметакрилат (PMMA, неорганичен), вермикомпост (V, органичен) и зеолит (Z, минерален). Природният зеолит е добит в района на с. Бели пласт. Размерът на микропластмасите (PC и PMMA) е около 2 mm, а на зеолита е между 0,8-2,5 mm.

Въздушно сухи почвените проби са стрити и пресети през сито с отвори 2 mm и фракцията по-малка от 2 mm е използвана за изготвяне на смеси с всеки от примесите. Изготвени са контрола и варианти в съотношение 90% почва:10% примес. В смесите се поддържа влажност на почвата, съответстваща на 75% от пределната полска влагоемност (ППВ) чрез периодично навлажняване за период от 6 месеца, за да се улесни формирането на агрегати между почвените частици и примесите. Впоследствие въздушно сухите проби (почва и смеси) се поставят в два метални пръстена с обем 100 cm<sup>3</sup> (d=5,1 cm, h=4,9 cm), като запълването

**Таблица 1.** Механичен състав, почвен органичен въглерод (SOC) и индекс за устойчивост на почвената структура (SI, ур. 1)

**Table 1.** Soil texture fractions, soil organic carbon content (SOC) and structural stability index (SI, eq. 1)

Почвено различие/ Soil variety	Место-положение/ Site	Начин на земяно-ползване/ Land use	Пясък/ Sand (2-0,063 mm), %	Праx/ Silt (0,063-0,002 mm), %	Глина/ Clay (<0,002 mm), %	Тексту-рен клас/ Texture class	SOC, %	SI
Делувиално-ливадна почва (Vertic Phaeozem) (S1)	Г. Лозен G. Lozen	Трева Grassland	12	40	48	clay	0,92	1,8
Кафява горска почва (Haplic Cambisol) (S2)	Самоков Samokov	Обработ-ваема Cultivated	46	32	22	loam	1.10	

е поетапно с 4 предварително претеглени равни части почва за контролата (смес за вариантите с почва и примес), за постигане на еднородна среда в металните пръстени и на изчислената лабораторна обемна плътност (Db). Обемната плътност е съобразена с тази, определена на ненарушени почвени проби при полски условия от затревената площадка на Делувиално-ливадната почва (S1) (1,47 g/cm<sup>3</sup>) и от обработваемия слой на Кафявата горска почва (S2) (1,15 g/cm<sup>3</sup>). Пръстените са навлажнени на пясъчна вана при потенциал -0,25 kPa (pF 0,4), като по този начин се осигурява достигането до влажност, близка до пълната влагоемност (ПВ) на пробите. Впоследствие пръстените се поставят на капиляриметър с висящ воден стълб (Shot филтри G5), от който се получават данни за водозадържането при водоотдаване, съответстващо на матрични потенциали -1 kPa, -5 kPa, -10 kPa и -33 kPa. Водозадържането при потенциал -33kPa (pF 2,5) е прието за пределна полска влагоемност (ППВ).

Обемната плътност (Db, g/cm<sup>3</sup>) и влажността на почвата (W, g/g) са определени с цилиндри от 100 cm<sup>3</sup> по гравиметричния метод след сушене в сушилня при 105° C до постоянно сухо тегло. Специфичната плътност (Ds) на примесите и

на почвите е измерена с пикнометри запълнени с вода. Стойностите на общата порьозност (Pt, %) са изчислени, като са използвани измерените Db и Ds ( $Pt = [(Ds - Db) / Ds] \times 100$ ).

Количеството на основните групи почвени микроорганизми е определено по метода на десеткратните разреждания, чрез посяване на почвени суспензии върху селективни агаризирани хранителни среди (Grudeva et al., 2006). Посявката е извършена в три повторения за всяка група почвени микроорганизми, спрямо вариантите на опита. Определени са следните физиологични и таксономични групи почвени микроорганизми: амонифициращи бактерии – на месо-пептонен агар (МПА) след тридневна инкубация; микроскопични гъби – върху подкиселена среда на Чапек – след седемдневна инкубация; актиномицети и бактерии усвояващи минерален азот – скорбяло-амонячен агар (САА) – след седемдневна инкубация и целулозоразлагащи микроорганизми – върху среда на Гутчинсон - след четиринадесетдневна инкубация.

Получените данни са обработени статистически чрез Statgraphics 2.1.

## Резултати и дискусия

Изследваните почви са с различен механичен състав (таблица 1) и рН във вода (таблица 2). Съдържанието на глина в Делувиално-ливадната почва (S1) е два пъти по-високо отколкото в Кафявата горска почва (S2), а съдържанието на пясък е почти четири пъти по-ниско. Съдържанието на почвен органичен въглерод (SOC) е близко за S1 и S2, съответно 0,92 и 1,10% и е оценено, като ниско според класификацията на Филчева (Raichev & Filcheva, 2011).

Почвите са със слабо до силно кисела реакция (таблица 2). Вермикомпостът има много слабо алкална реакция (рН=7,42). Зеолитът има слабо алкална реакция (рН=7,79).

От таблица 2 се вижда, че стойностите на обемната плътност (Db) са по-високи за S1, която е необработваема почва в сравнение с S2, която е обработваема. Стойностите на специфичната плътност (Ds) на почвите са типични за минерални почви с ниско съдържание на органично вещество. Примесите имат по-ниска специфична плътност. Измерените стойности са: 1,98 g/cm<sup>3</sup> за вермикомпоста и 2,37 g/cm<sup>3</sup> за зеолита.

Относителните промени в тегловната влажност (W) на смесите спрямо контролния вариант при матрични потенциали от рF=0,4 (условия близки до пълно насищане) до рF=2,5 (пределна полска влагоемност) са представени на фигура 1. Това е диапазонът на дренажно-аерационните пори. Измерените стойности на влажността в контролата се променят от 39% на 22% за глинестата Делувиално-ливадна почва, и от 43% на 17% за средната по механичен състав Кафява горска почва. Добавянето на неорганичен полимер (РС, РММА) в Делувиално-ливадната почва (S1) намалява W най-силно (с 14%) при рF=2,0 (фиг. 1a), а в Кафявата горска почва (S2) с 8% (при рF=2,5) (фиг. 1b).

След добавянето на зеолит влажността остава близка до контролните варианти и за двете почви при влажност над ППВ. Наблюдава се нарастване с 10% (при рF=2,5) и с 5% (при

рF=2,0) съответно за Делувиално-ливадната почва и Кафявата горска почва, което се обяснява с наличието на капилярни пори в зеолита и сравнително малкия размер на материала. Изследване на Dilkova et al. (1982), показва, че зеолитът съдържа голямо количество микропори (<0,2 μm), а праховидният зеолит с размер <0,5 mm и значително количество средни пори, които могат да повишат усвояемия воден капацитет, но с по-трудно усвояема вода.

Най-голямото нарастване на W се наблюдава във вариантите с вермикомпост в сравнение с другите варианти. При отрицателен матричен потенциал съответстващ на рF=2,5 (ППВ) нарастването е с 27% за Делувиално-ливадната почва и с 44% за Кафявата горска почва. Тези резултати съответстват на получените от Khosravi Shakib et al. (2019), които установяват, че добавянето на вермикомпост към субстрата намалява вредното влияние на водния дефицит чрез подобряване на водозадържането.

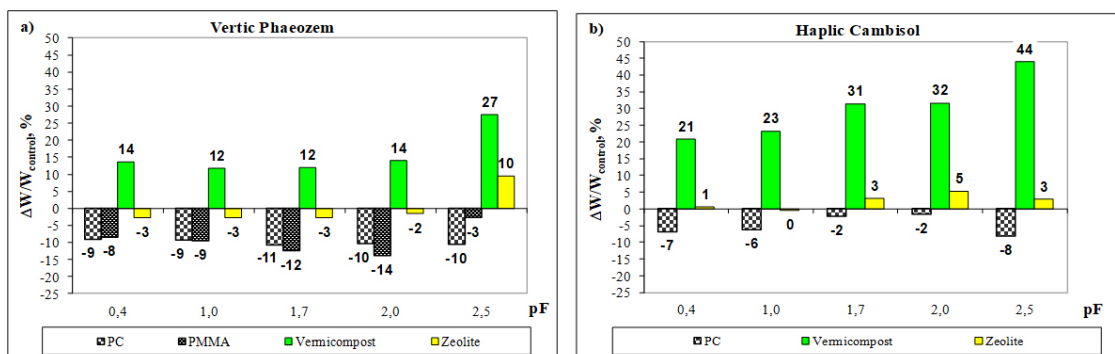
Внасянето на вермикомпост в почвите влияе положително и върху протичането на амонификационните процеси. При вариантите с вермикомпост, и при двете почви е значително увеличението на амонифициращите микроорганизми, спрямо контролите (фиг. 2), съответно 700% при Делувиално-ливадната почва и 300% при Кафявата горска почва. Вермикомпостът се използва в земеделието, както като органичен тор, така и като средство за подобряване на почвата поради големия си биологичен компонент и обилни концентрации на хранителни вещества, по-специално азот. Вермикомпостът насърчава развитието на почвените микроорганизми, които от своя страна влияят благоприятно върху растежа на растенията (Broz et al., 2016). При Делувиално-ливадната почва е отчетено най-голямо количество амонифициращи бактерии при варианта с полимер РММА – 19 КОЕ 10<sup>6</sup> g/ почва. Това показва, че внасянето на полимер РММА влияе най-силно върху минерализацията на органичните вещества – хумусните, при тази почва.

Полимерът РММА влияе най-силно и върху развитието на бактериите, усвояващи минерален

**Таблица 2.** Почвени показатели на изследваните почви (S1, S2) и смеси с примеси: неорганични (PC и PMMA), органичен (Вермикопост, V) и минерален (Зеолит, Z)

**Table 2.** Soil parameters of the studied soils (S1, S2) and mixtures with additives: non-organic (PC and PMMA), organic (Vermicompost, V) and mineral (Zeolite, Z)

Параметър/ Parameter	Почви/Soils (S)		Смеси/Mixtures						
	S1	S2	S1+PC	S1+ PMMA	S1+V	S1+Z	S2+PC	S2+V	S2+Z
Обемна плътност/ Soil bulk density (Db, g/cm <sup>3</sup> )	1,46	1,15	1,43	1,43	1,47	1,51	1,16	1,19	1,21
Специфична плътност/ Soil particle density (Ds, g/cm <sup>3</sup> )	2,71	2,65	2,56	2,56	2,64	2,68	2,50	2,58	2,62
Обща порьозност, %об./ Total poros- ity, %vol. (Pt)	46,1	56,5	44,0	44,1	44,1	43,4	53,8	54,0	53,9
pH (H <sub>2</sub> O)	6,38	4,49	6,43	6,41	6,68	6,64	4,50	5,92	4,77



**Фиг. 1.** Относителни изменения на водозадържането при различен матричен потенциал (pF) на изследваните смеси спрямо контролния вариант при: а) Делувиално-ливадната почва; б) Кафява горска почва

**Fig. 1.** Relative changes of water content at different matric potentials (pF) of the treated variants against nontreated soil: a) Vertic Phaeozem; b) Haplic Cambisol

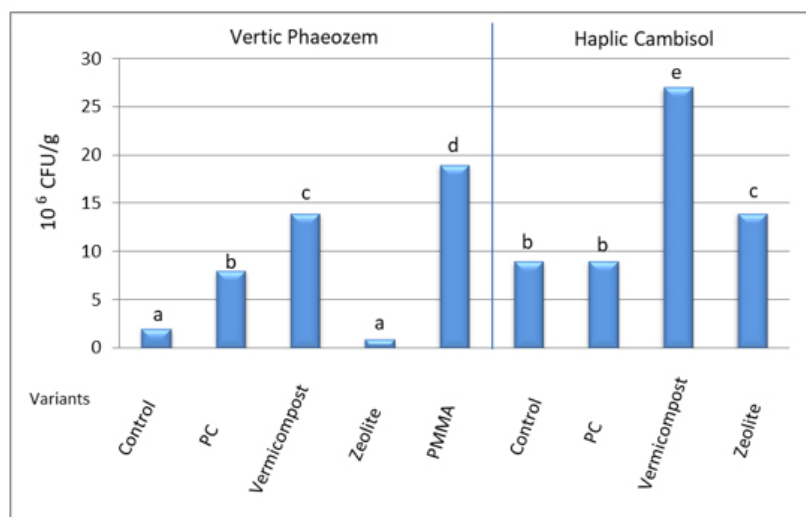
азот. При този вариант (S1+PMMA) е отчетено намаляване на водозадържането, както в дренажните, така и в капилярните пори (фиг. 1a). Това показва, че и по-ниската влажност, в условията на Делувиално-ливадната почва, е благоприятна за развитието на бактериите усвояващи минерален азот и амонифициращите микроорганизми. Значително е влиянието и на останалите примеси върху бактериите усвояващи минерален азот. Единствено при варианта с полимер РС при Делувиално-ливадната почва не се наблюдава увеличение спрямо контролата – 5 КОЕ  $10^6$  g/почва (фиг. 3).

Влиянието на примесите върху актиномицетите зависи от почвения тип. Актиномицетите са разпространени в еднакво количество при двете изследвани почви, в контролните варианти (1 КОЕ  $10^6$  g/почва). При варианта с полимер РС при Кафявата горска почва се стимулира развитието на актиномицетите – 3 КОЕ  $10^6$  g/почва, докато при този вариант с Делувиално-ливадната почва се подтиска развитието на тези микроорганизми. Противоположно е влиянието на вермикомпоста при изследваните почви. При Делувиално-ливадната почва актиномицетите се увеличават три пъти спрямо контролния вариант, докато при Кафявата горска почва не се наблюдава увеличение (фиг. 4).

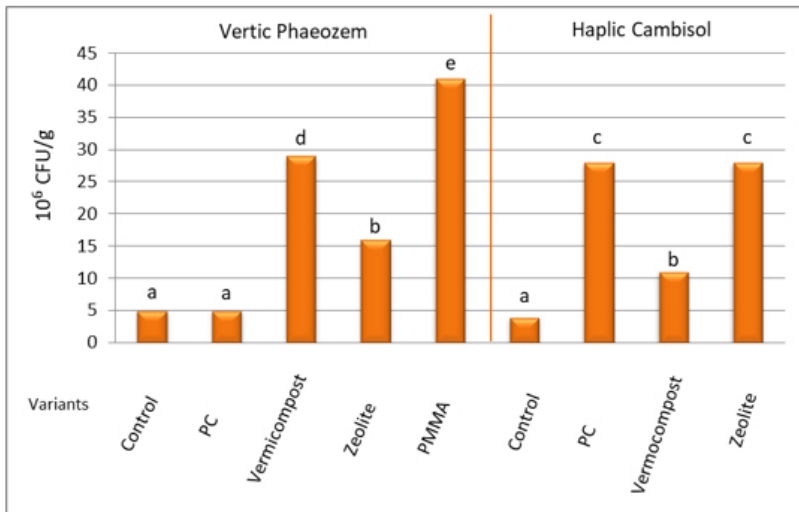
Зеолитът влияе положително, както върху

развитието на актиномицетите, така и върху развитието на бактериите усвояващи минерален азот и амонифициращите микроорганизми. Karlichich et al. (2017) също установяват, че прилагането на зеолит в почвата има положителен ефект върху микробиологичната активност. Установяват увеличение на броя на бактериите, амонификаторите и актиномицетите в почвата.

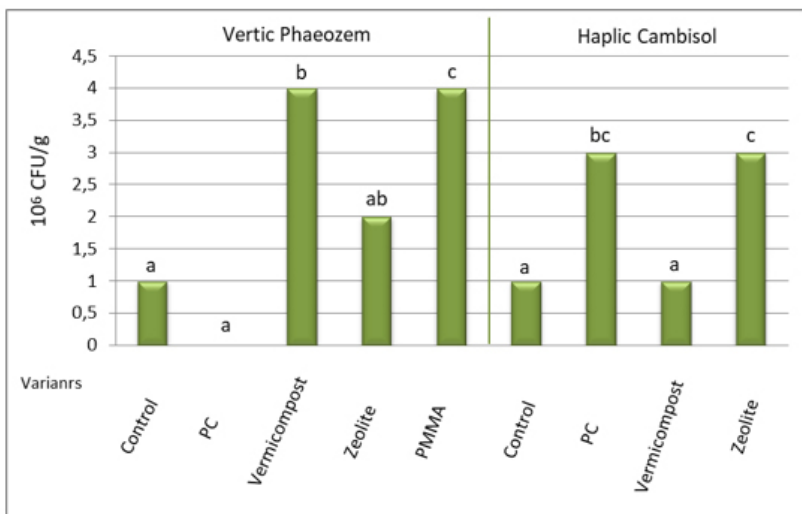
Най-голям брой микроскопични гъби са отчетени при варианта с полимер РС при Кафявата горска почва – 24 КОЕ  $10^3$  g/почва (фиг. 5). Това показва, че полимер РС влияе върху образуването на мицел и натрупването на по-голямо количество биомаса от микроскопичните гъби в условията на понижено водозадържане при рF 2,5 (фиг. 1b). В останалите варианти на опита наличието на микроскопични гъби е значително по-малко. Подобно изследване е проведено от Mercier et al. (2017), които внасят осем различни полимера в компост, за да определят влиянието им върху микрофлората. В отделните варианти на опита са установени различни количества бактерии и микроскопични гъби. Според Yue et al. (2021) различни видове микроорганизми могат да разграждат РС, което е пример за биологичното разграждане на РС и възможност за отстраняване на РС отпадъци.



**Фиг. 2.** Влияние на различни примеси върху количеството на амонифициращите микроорганизми  
**Fig. 2.** Effects of different additives on the number of the ammonifying microorganisms



**Фиг. 3.** Влияние на различни примеси върху количеството бактерии усвояващи минерален азот  
**Fig. 3.** Effects of different additives on the number of mineral nitrogen-utilizing bacteria

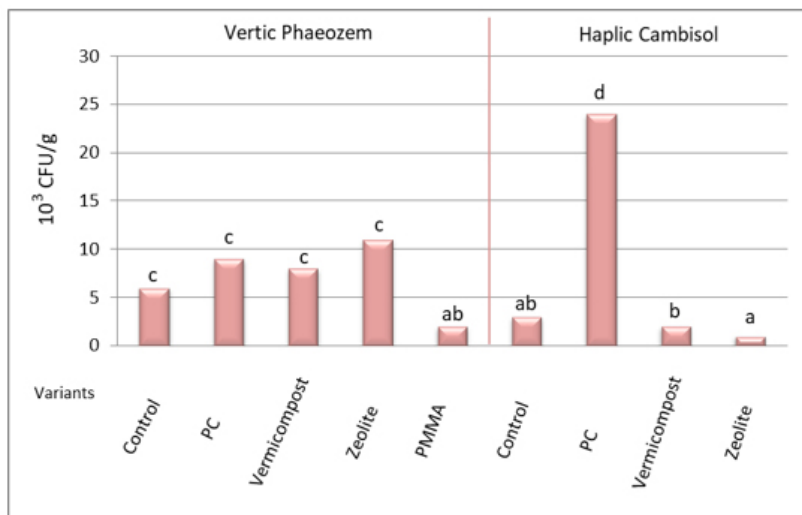


**Фиг. 4.** Влияние на различни примеси върху количеството на актиномицетите  
**Fig. 4.** Effects of different additives on the number of actinomycetes

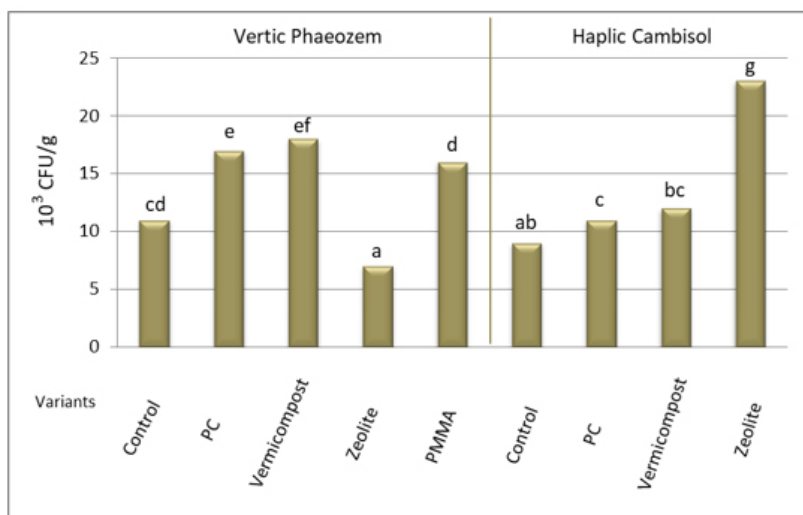
Биологичното разграждане на целулозата е един от основните микробиологични процеси, тъй като тя има голяма роля във въглеродния цикъл. Разграждането на целулозата протича при всички варианти на опита. При Кафявата горска почва са отчетени значително по-голям брой целулозоразграждащи микроорганизми при варианта със зеолит (23 КОЕ 10<sup>3</sup> g/почва) в

сравнение с останалите варианти (9-12 КОЕ 10<sup>3</sup> g/почва). Зеолитът допринася за положителни промени в популацията, динамиката и развитието на микроорганизмите, стимулира микробиалната активност на почвата (Katai et al., 2015). Вермикомпостът влияе благоприятно върху развитието на целулозоразграждащите микроорганизми, по-силно изразено в условията





**Фиг. 5.** Влияние на различни примеси върху количеството на микроскопични гъби  
**Fig. 5.** Effects of different additives on the number of microscopic fungi



**Фиг. 6.** Влияние на различни примеси върху количеството на целулозоразлагащи микроорганизми  
**Fig. 6.** Effects of different additives on the number of cellulolytic microorganisms

на Делувиално-ливадната почва. Според Lim et al. (2015) вермикомпостът може да увеличи плодородието на почвата - физически, химически и биологично.

Целулозоразграждащите микроорганизми имат слабо разпространение в Делувиално-ливадната почва (7 КОЕ 10<sup>3</sup> g/почва), при варианта със зеолит, което може да се дължи

на по-ниската обща порьозност (таблица 2), в сравнение с останалите варианти на опита.

### Заклучение

Изследваните физични свойства показват, че микропластмасите намаляват аерационните пори в по-голяма степен при глинестата почва

и съдържанието на капилярна вода в двете почви. Зеолитът увеличава само съдържанието на капилярни пори, докато вермикомпостът повишава съдържанието на всички категории пори, което е по-добре изразено при средната по механичен състав почва.

Примесите с различен състав и произход, както и почвеният тип влияят по-различен начин върху разпространението на отделните групи почвени микроорганизми. Внасянето на полимер РММА в Делувиално-ливадната почва води до значително увеличаване на изследваните групи микроорганизми, с изключение на микроскопичните гъби. При Кафявата горска почва се наблюдават най-голям брой: амонифициращи микроорганизми при варианта с вермикомпост, микроскопични гъби при варианта с полимер РС и целулозоразграждащи микроорганизми при сместа със зеолит. Бактериите усвояващи минерален азот и актиномицетите се увеличават значително и с еднаква интензивност при вариантите с полимер РС и зеолит, в условията на Кафявата горска почва.

### Благодарности

Авторите благодарят за финансирането на научните изследвания по проект „Топлинни свойства на почви при различни начини на земеползване и мелиориране” от Фонд „Научни Изследвания” (договор ДН16/11).

### Литература

**Balakrishnan, V., Venkatesan, K., & Ravindran, K. C.** (2007). The influence of halophytic compost, farmyard manure and phosphobacteria on soil microflora and enzyme activities. *Plant soil environ.*, 53(4), 186–192.

**Broz, A., Verma, P., & Appel, C.** (2016). Nitrogen Dynamics of Vermicompost Use in Sustainable Agriculture. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 7(11), 173-183, doi 10.5897/JSEM2016.0587.

**Chrankina-Katsarova, A.** (2021). *Evaluation of different amendments and their influence on soil properties for qualitative and safety production*. PhD Thesis, Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection N. Poushkarov, Sofia, Bulgaria (Bg).

**Dilkova, R., Kerchev, G., & Anachkova, Sv.** (1982). Characterization of physical properties of zeolit regarding its use as conditioner of coarse textured soils. *Soil Science Agrochemistry* 17(4), 111-116 (Bg).

**Filcheva, E., & Tsadilas, C.** (2002). Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. *Commun. Soil Sci Plan* 33(3-4), 595-607. <https://doi.org/10.1081/css-120002766>.

**Grudeva, V., Naumova, S., Gocheva, B., Nedeva, T. & Antonova-Nikolova, S.** (2006). *Manual Microbiology*. University Publishing House “St. Kl. Ohridski “, Sofia (Bg).

**He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L.** (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163-172.

**ISO 10390:(2011)**. Soil Quality—Determination of pH.

**ISO 11277:(2009)**. Soil Quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material. –Method by sieving and sedimentation. Second edition.

**IUSS Working Group WRB** (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 234p. Available at [https://eurasian-soil-portal.info/wp-content/uploads/2022/07/wrb\\_fourth\\_edition\\_2022-3.pdf](https://eurasian-soil-portal.info/wp-content/uploads/2022/07/wrb_fourth_edition_2022-3.pdf) (last accessed 17.03.2023).

**Karlichich, V., Jivanovich, I., Matijashevich, D., Raichevich, V., Nikshich, M., Rac, V., & Simich, A.** (2017). Stimulation of soil microbiological activity with clinoptilolite - influence on plant growth. *Farming and vegetable growing*, 54(3), 117-123.

**Katai J., Oláh A., & Tállai M.** (2015). Application of zeolite in the sustainable land use. In: *International Congress on “Soil Science in International Year of Soils”*, 191-194.

**Khosravi Shakib, A., Rezaei Nejad, A., Khandan Mirkohi, A., & Kalate Jari, S.** (2019). Vermicompost and manure compost reduce water-deficit stress in pot marigold (*Calendula officinalis* L. cv. Candyman Orange). *Compost Science and Utilization*, 27(1), 61-68.

**Kononova, M.** (1963). *Soil organic matter*. AN SSSR, Moscow (Ru).

**Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y.** (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156.

**Liu, M., Lu, S., Song, Y., Lei, L., Hu, J., Lv, W., Zhou, W., Cao, C., Shi, H., Yang, X., & He, D.** (2018). Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 242, 855-862.

**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.

**Mercier, A., Gravouil, K., Aucher, W., Brosset-Vincent, S., Kadri, L., Colas, J., Bouchon, D., & Ferreira, T.** (2017). Fate of Eight Different Polymers under Uncontrolled Com-

posting Conditions: Relationships Between Deterioration, Biofilm Formation, and the Material Surface Properties. *Environ. Sci. Technol.*, 51(4), 1988-1997.

**Mitova, Iv., Dimitrov, E., & Dinev, N.** (2019). Plastics - how they changed the world and posed challenges for sustainable and environmentally friendly farming. A review. *Bulgarian Journal of Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, 53(3-4), 25-33.

**Parham, J., Deng, S., Da, H., Sun, H., & Raun, W.** (2003). Long-term cattle application in soil. II Effect on soil microbial populations and community structure. *Biology and Fertility of soils*, 38(4), 209-215.

**Perfanova, J., Dinev, N., & Mitova, I.** (2022). Influence of grandma's teeth compost (tribulus spp.) on the distribution of soil microorganisms. *International scientific journal "mechanization in agriculture & conserving of the resources"*, LXVIII(3), 100-102.

**Petkova, G., & Marinova-Garvanska, S.** (1998). Effect of sewage sludge on microbial activity of leached Smolnica and podzolized Vertisol. In: *Ninth Congress of Bulgarian Microbiologists with Foreign Participation*, 2, 232-235 (Bg).

**Petkova, G., Dimitrova, A., & Petkova, Z.** (2007). Influence of vermikompost on rhizosphere microflora of spinach. *Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, XLI(3), 37-43 (Bg).

**Pieri, C.** (1992). *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

**Qi, R., Jones, D. L., Li, Z., Liu, Q., & Yan, C.** (2020). Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of the Total Environment*, 703, 134722.

**Raichev, T., & Filcheva, E.** (2011). *Soil organic matter. Small terminological dictionary*. Avangard Prima Publishers, Sofia (Bg).

**Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., & Yang, X.M.** (2009). Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152, 252-263, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009>.

**Rubio, C. M., Marcinek, M. & Rodríguez, L.** (2016). An approaching to understand the heat transfer in polymers. *IJSEAS*, 2(12), 179-184.

**Sain, S., Sengupta, S., Kar, A., Mukhopadhyay, A., Sengupta, S., Kar, T. & Ray, D.** (2014). Effect of modified cellulose fibres on the biodegradation behaviour of in-situ formed PMMA/cellulose composites in soil environment: Isolation and identification of the composite degrading fungus. *Polymer degradation and stability*, 99, 156-165.

**Yue, W., Yin, C., Sun, L., Zhang, J., Xu, Y. & Zhou, N.** (2021). Biodegradation of bisphenol-A polycarbonate plastic by *Pseudoxanthomonas* sp. strain NyZ600. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125775.

**Zhang, X., Li Y., Ouyang, D., Lei, J., Tan, Q., Xie, L., Li, Z., Liu, T., Xiao, Y., Farooq, T., Wu, X., Chen, L. & Yan, W.** (2021). Systematical review of interactions between microplastics and microorganisms in the soil environment. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126288.

**Received:** 25th March 2024, **Approved:** 27th March 2024, **Published:** June 2024