DOI: 10.48368/bgs-2025.1.n12

Използване на магнитните свойства на компостни смеси за оценка на хранителните им свойства

Даниел Ишлямски[1], Деян Лесигярски[1], Божурка Георгиева[1], Диана Йорданова[1], Нели Йорданова[1]

[1] Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География – БАН; ул. Акад. Г. Бончев, бл. 3, 1113 София, България; danielishlyamski95@abv.bg

Ключови думи: вермикомпост, торф, магнитни минерали, pXRF

Резюме

Настоящото изследване има за цел да оцени ефективността на прилагането на методите на магнетизма на околната среда и рентгенофлуоресцентната спектрометрия (pXRF) за бърза и надеждна характеристика на търговски почвени субстрати, използвани в градското земеделие. Изследвани са десет търговски субстрата, включително компостни смеси, почвени субстрати и вермикомпости, с оглед на техните магнитни, геохимични и биологични характеристики. Проведени са измервания на магнитната възприемчивост, остатъчната намагнитеност, термомагнитен анализ и химичен състав, както и експеримент с поникване на доматени семена. Установени са статистически значими зависимости между магнитните и химическите параметри и растежната ефективност. Получените резултати демонстрират, че магнитните изследвания на компостни смеси имат потенциал като скринингов метод за оценка на качеството им.

Въведение

С нарастващата урбанизация и необходимостта от устойчиво използване на ресурсите, търговските почвени субстрати намират все по-широко приложение в градското земеделие и вертикалното озеленяване. Оценката на тяхното качество и ефективност изисква прилагането на надеждни, неразрушителни и бързи аналитични подходи. Един от тях е магнетизмът на околната среда, който чрез измерване на параметри като магнитна възприемчивост и остатъчна намагнитеност, дава информация за магнитния минерален състав и позволява оценка на евентуално антропогенно въздействие (Evans and Heller 2003). Комбинирането на магнитните с геохимични анализи проведени с рентгенофлуоресцентна спектрометрия (pXRF), позволява разработването на мултидисциплинарна методология за скрининг и мониторинг на субстратни материали. Настоящото изследване има за цел да изследва корелациите между магнитните, химичните и биологичните свойства на търговски субстрати с оглед на тяхната приложимост в агроекологичен контекст.

Методика

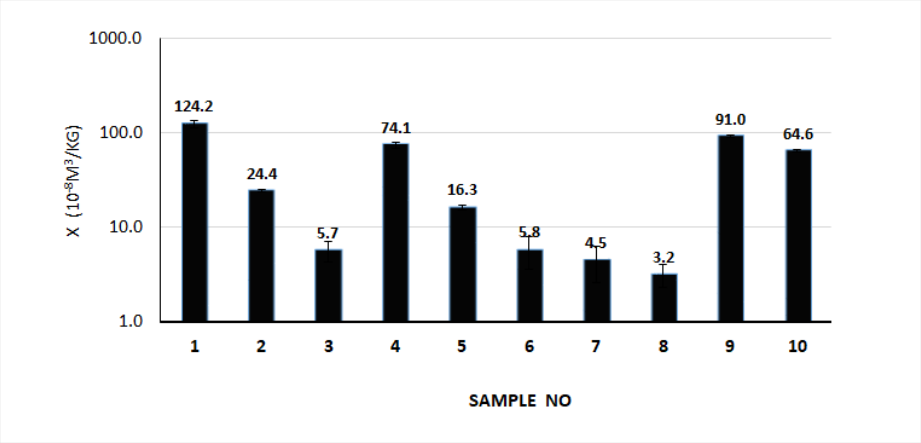
Изследването обхваща десет търговски почвени субстрата (Табл. 1) с различен произход и химико-минерален състав, разделени в три основни категории: почвени субстрати, компостни смеси и вермикомпости. Приложената мултидисциплинарна методология включва:

- ***Магнитни анализи*** – определяне на магнитна възприемчивост при ниска и висока честота (χ_{LF}, χ_{HF}) за изчисляване на честотната зависимост на магнитната възприемчивост ($\chi_{FD} = \chi_{LF} - \chi_{HF}$), измерване на безхистерезисна остатъчна намагнитеност (ARM) и изотермична остатъчна намагнитеност (IRM), както и регистриране на термомагнитни криви с цел идентификация на магнитните минерали и термичната стабилност на магнитните фази;
- ***Геохимичен анализ*** – количествено определяне на съдържанието на макро- и микроелементи чрез портативна рентгенофлуоресцентна спектрометрия (pXRF), позволяваща бърза и неразрушителна спрямо материала оценка на елементния състав;
- ***Химична характеристика*** – измерване на киселинната реакция (pH) във вода при стандартизирани условия;
- **Биологична оценка** – контролирано растежно изпитване с Lycopersicon esculentum (семена на домат) в лабораторни условия, проследяващо процента на поникване и средната дължина на кълновете като биоиндикаторни параметри. Статистическата обработка на данните е извършена чрез изчисляване на коефициента на линейна корелация на Пиърсън, като

резултатите са анализирани посредством дескриптивна статистика за оценка на взаимовръзките между магнитните, геохимичните, химичните и биологичните показатели.

Таблица 1. Описание на колекцията от проби

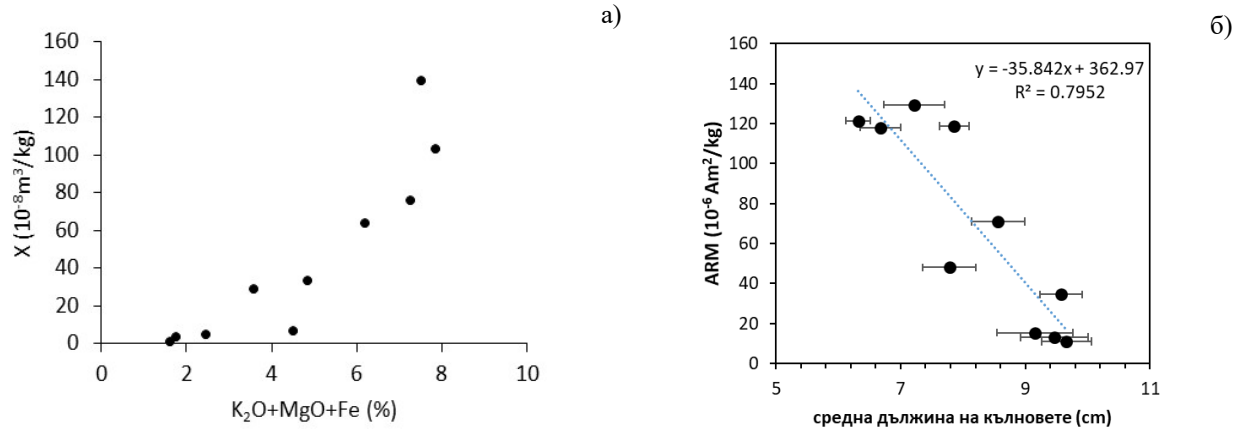
№ на пробата	**Вид на материала**	**Държава на произход**	**Състав по данни на производителя**	**Забележка**
	Субстрат за засаждане	България	н.д.	Липсва перлит
	Субстратна смес за засаждане	България	торф – 10%; кокосови влакна – 50%; компост – 30%; перлит – 10%	Подходящ за стимулиране на здравословен растеж на растителността
	Субстратна смес за засаждане	Латвия	блоков торф (пресят) – 30%; млян торф (пресят) – 70%; минерални торове – 1 kg/m³; доломитово брашно – 1,8 kg/m³; варовиково брашно – 6 kg/m³	Най-високо съдържание на перлит (непосочено от производителя); субстрат от висококачествен торф, обогатен с хранителни елементи.
	Субстратна смес за засаждане	България	Торф – 30%; кокосови влакна – 30%; компост – 20%; перлит – 10%; пемза – 10%	Субстрат за отглеждане на подправки и микрозелени култури
	Субстратна смес за засаждане	Гърция	Смес от светъл и черен торф, кокосови влакна, калциев карбонат, хумусни материали и допълнително зеолит	Субстрат за зеленчукови култури
	Субстратна смес за засаждане	България	Фин торф – 45%; кокосови влакна – 50%; перлит – 5%	Предназначен за сеитба и млади растения
	Субстрат за засаждане	Чехия	светъл торф, дървесна кора, финокристален NPK тор с микроелементи, магнезиев варовик	Субстрат за сеитба
	Субстратна смес за засаждане	България	Кафяв торф – 95%; перлит – 5%	Универсален торф
	Органичен тор	България	Вермикомпост, получен от калифорнийски червен червей	Биотор
	Органичен тор	България	Вермикомпост, получен от калифорнийски червен червей	Биотор



Фигура 1. Мас-специфична магнитна възприемчивост (X) на изследваните проби, номерирани в съответствие с Табл. 1. Всички измервания са извършени в трикратно повторение, като са представени средните стойности на X (отбелязани над всяка колона) заедно със съответното стандартно отклонение

Най-високи стойности на магнитна възприемчивост ($\chi > 120 \cdot 10^{-8}$ m³/kg) се наблюдават при вермикомпостите (Табл. 2), което се свързва с наличието на фини магнетитови и магхемитови частици. Компостните смеси с перлит показват значително по-ниски стойности на χ. Установена е положителна

корелация (r = 0.81, p < 0.01) между χ и съдържанието на хранителни елементи, както и обратна зависимост между безхистерезисната остатъчна намагнитеност ARM и дължината на кълновете на доматени растения (r = 0.79, p < 0.05) (Фиг. 2). Термомагнитните криви показват наличието на стабилна магнетитова фаза (Fe_3O_4), без присъствие на хематит. Резултатите от pXRF анализите сочат допустими нива на потенциално токсичните елементи, с едно изключение – леко повишено съдържание на Cu.



Фигура 2. а) корелация между магнитната възприемчивост (χ) и съдържанието на хранителни елементи (K_2O+MgO+Fe) за изследваните компостни смеси; б) корелация между ARM и средната дължина на кълновете на доматени растения, засадени в съответния субстрат

Таблица 2. Комплекс от магнитни параметри и pH на търговските почвено-торфени субстрати за отглеждане на растения: киселинна реакция на средата (pH); средна стойност на мас-специфичната магнитна възприемчивост (χ_{aver}); честотно-зависима магнитна възприемчивост (χ_{FD}%, изчислена като χ_{FD} = 100(χ_{LF} - χ_{HF})/χ_{LF}; безхистерезисна остатъчна намагнитеност (ARM); изотермична остатъчна намагнитеност, индуцирана в стационарно магнитно поле с големина 2T (IRM_{2T}); хистерезисни параметри: намагнитеност на насищане (Ms), остатъчна намагнитеност на насищане в поле 1T (Mrs), коерцитивна сила (Bc), коерцитивност на остатъчната намагнитеност (Bcr); както и съотношенията между хистерезисните параметри Mrs/Ms и Bcr/Bc, използвани като диагностични индикатори за доменната структура на магнитните фази (Dunlop and Özdemir 1997)

No	pH	χ_{aver}	χ_{fd}%	ARM	IRM_{2T}	M_s	M_{rs}	B_c	B_{cr}	M_{rs}/M_s	B_{cr}/B_c
1	8.69	138.9	0.7	118.7	9140.4	157.2	9.48	5.8	31.0	0.06	5.34
2	6.26	33.2	4.8	71.1	7876.6	15.2	1.64	8.9	33.0	0.11	3.71
3	6.44	4.6		48.1	2144.1	3.9	0.52	12.4	28.8	0.13	2.33
4	6.56	75.5	2.4	129.5	8642.6	56.5	5.27	8.3	30.4	0.09	3.67
5	6.35	28.7	3.5	34.6	1143.0	4.7	0.22	4.9	24.5	0.05	5.00
6	4.60	3.4		11.0	310.0	10.1	1.54	7.2	12.4	0.15	1.73
7	6.09	6.2		13.1	351.1	dia					
8	5.07	0.9		15.4	448.7	dia					
9	8.43	103.2	2.6	121.4	7657.8	99.88	6.91	5.3	23.2	0.07	4.35
10	7.56	63.4	2.7	118.0	4641.4	32.34	2.26	5.3	22.9	0.07	4.30

Дискусия

Анализът на експерименталните резултати недвусмислено потвърждава хипотезата, че магнитните параметри могат да се използват като надеждни индиректни биоиндикатори за оценка на субстратната пригодност в агрономически контекст. Големината на параметъра ARM се проявява като високочувствителен индикатор към наличието и количественото участие на биоактивната магнитна минерална фракция, която често е свързана с повишена микробиологична активност и интензивност на

биогеохимичните процеси. Паралелно с това, мас-специфичната магнитна възприемчивост показва статистически значима корелация с ключови геохимични параметри (определени чрез pXRF), които са пряко свързани с хранителния статус и буферния капацитет на субстрата. Интегрирането на магнитни измервания с pXRF-анализи предоставя обещаващ аналитичен подход, позволяващ бърза функционална оценка и класифициране на субстратите въз основа на техните магнитни и геохимични характеристики. Тази комбинирана методология демонстрира особена ефективност като инструмент за бърз, неразрушаващ и икономически изгоден скрининг на входящи материали в процеси като компостиране, производство на почвени подобрители и формулиране на субстрати за целево агрономическо приложение, включително в условия на урбанизирана среда.

Заключения

- Магнитните параметри (χ, ARM) показват висок потенциал като индикатори за качествена оценка на почвени субстрати.
- Идентифицирани са статистически значими връзки между магнитните свойства, геохимичния състав и биологичния отговор на растенията.
- Вермикомпостите се открояват с най-високи стойности на магнитните параметри и имат най-благоприятен ефект върху растежа на кълновете от доматени семена.
- Методологичният подход, съчетаващ магнетизъм на околната среда и pXRF, се явява ефективен инструмент за бърза оценка на почвени подобрители и субстрати с агроекологично значение.

Благодарности
Настоящото изследване е финансирано от Министерството на образованието и науката на Република България по Национална научна програма „Млади учени и постдокторанти – 2“, договор №03-118 / 06.02.2023 г. и договор № Д01-321/30.11.2023г. (НГИЦ, Тема №8). Авторите изказват благодарност на екипа на Центъра по археометрия към СУ „Св. Климент Охридски“ за оказаното съдействие при извършването на pXRF анализите.

Литература

Evans M, Heller F (2003) Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics. Academic Press, San Diego, CA, 299 pp.
Dunlop D and Özdemir O (1997) Rock Magnetism: Fundamentals and frontiers, ed. D. Edwards. Cambridge Studies in Magnetism, Cambridge University Press, 573 pp.

Utilization of mineral magnetic properties of composts and potting soils for evaluation of their nutrient content

Daniel Ishlyamski[1], Deyan Lesigyarski[1], Bozhurka Georgieva[1], Diana Jordanova[1], Neli Jordanova[1]

[1] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-BAS; danielishlyamski95@abv.bg

Keywords: vermicompost, potting soil, magnetic minerals, pXRF

Summary
The aim of this study is to characterize the mineral-magnetic properties of commercial plant substrates and assess their effect on tomato seedling growth. Ten samples of different growth media (potting soils, mixes, and vermicomposts) were analyzed using magnetic methods: magnetic susceptibility (χ), frequency-dependent susceptibility (χ_{FD}), anhysteretic and isothermal remanent magnetizations (ARM, IRM), hysteresis parameters, and thermomagnetic analysis. Elemental composition was determined using a handheld pXRF spectrometer. The dominant magnetic mineral was identified as relatively coarse-grained maghemite. A strong positive correlation was observed between χ and K_2O content. In a laboratory germination experiment with tomato seeds, a significant relationship was found between the ARM/IRM ratio and the average seedling length. The results suggest that magnetic measurements can serve as a rapid and indirect indicator for assessing the nutrient potential and chemical composition of substrates used in agriculture.