

<https://doi.org/10.61308/QHWT7218>

Кратък обзор върху микробиологични аспекти на компостирането

Павлина Наскова*, Бойка Малчева, Драгомир Пламенов, Албена Иванова

Технически университет - Варна, катедра „Растениевъдство“

*E-mail: pnaskova@abv.bg

Резюме: Рециклирането и депонирането на градските отпадъци е една от целите, които поставя Европейският съюз. Счита се, че процесът на компостиране, който е рентабилен и екологичен метод за преработка на органични остатъци е един от начините за постигане на тези цели. Компостирането е процес на биологично окисление, при който органичните остатъци се разграждат от голяма група различни микроорганизми. Настоящата публикация представя кратък обзор върху компостирането на органични остатъци и участието на отделни групи микроорганизми в този процес. Гниенето на материалите по време на компостирането следва общите биохимични пътища на всеки друг процес на разграждане. В процесите на компостиране и в готовия компост, основен дял в състава на общата микрофлора заемат неспорообразуващите бактерии и бацилите, които участват най-активно в началните етапи на деградация на органичните вещества. По-малък е дялът на актиномицетите и микромицетите, които по принцип са по-активни в крайните етапи на разграждане на органичната материя. Количеството на актиномицетите нараства с увеличаване на температурата във фазите на компостиране. Биогенността на компоста зависи от вида на използваните биоразградими отпадъци от селското стопанство.

Ключови думи: компост; микроорганизми; почва; органични отпадъци

Brief overview of microbiological aspects of composting

Pavlina Naskova*, Boyka Malcheva, Dragomir Plamenov, Albena Ivanova

Technical University-Varna, Department of Plant Production

*E-mail: pnaskova@abv.bg

Citation: Naskova, P., Malcheva, B., Plamenov, D., & Ivanova, A. (2024). Brief overview of microbiological aspects of composting. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 61(1), 68-74 (Bg).

Abstract: Recycling and disposal of urban waste is one of the goals set by the European Union. The process of composting, which is a cost-effective and environmentally friendly method of processing organic residues, is considered to be one of the ways to achieve these goals. Composting is a biological oxidation process in which organic residues are broken down by a large group of different microorganisms. The present publication presents a brief overview on the composting of organic residues and the participation of individual groups of microorganisms in this process. The decay of materials during composting follows the general biochemical pathways of any other degradation process. In the composting processes and in the finished compost, non-spore-forming bacteria and bacilli, which are most actively involved in the initial stages of degradation of organic substances, occupy a major share in the composition of the general microflora. The share of actinomycetes and micromycetes, which are generally more active in the final stages of organic matter decomposition, is smaller. The amount of actinomycetes increases with increasing temperature in the composting phases. The biogenicity of compost depends on the type of biodegradable agricultural waste used.

Keywords: compost; microorganisms; soil; organic waste

Икономическият растеж е съпроводен с увеличаване на количеството на образуваниите отпадъци в това число и тези от селското стопанство. Човечеството отдавна използва негодните за консумация части от селскостопански растения, като постеля за добитък, за месене на глина, за направата на кирпичени глинени тухли или покриви. Все по актуален става проблемът с оползотворяването на отпадъци, тор, слама и плевели за подобряване на почвеното плодородие. За тази цел се правят множество изследвания върху екологичната биотехнология на компостиране и биоразграждане на растителни отпадъци за повишаване на плодородието на почвата и получаване на енергия в процеса на биоразграждане на растителни и органични отпадъци. Компостирането е начин за получаване на стабилен продукт в резултат на биологично окисление. Хумифицираните продукти бързо влизат в баланс с екосистемата, в която са въведени, и не причиняват сериозни смущения в нея, както се случва при внасянето на непреработени отпадъци. Компостирането е екзотермичен процес на биологично окисление, при който органичен субстрат претърпява аеробно биоразграждане от смесена популация от микроорганизми при условия на повишена температура и влажност. В процеса на биоразграждане органичният субстрат претърпява физични и химични трансформации с образуването на стабилен хумифициран краен продукт. Този продукт е ценен за селското стопанство както като органичен тор, така и като подобрител на почвата (Mischustin, 1972). В процеса на компостиране се задоволява основно нуждата от кислород, органичните вещества се превръщат в по-стабилна форма, отделят се въглероден диоксид и вода и температурата се повишава (Kutrovskii & Sidorenko, 2009). В естествени условия процесът на биоразграждане протича бавно, на повърхността на земята, при температура на околната среда и главно при анаеробни условия. Естественият процес на разграждане може да се ускори, ако обработеният субстрат се събира на купчини, което позволява да се спести част от отделе-

ната по време на ферментацията топлина и да се постигне по-бърза скорост на реакцията. Този ускорен процес е процесът на компостиране (Antunes et al., 2016).

Настоящата публикация представя кратък обзор върху компостирането на органични остатъци и участието на отделни групи микроорганизми в този процес.

Микробиологични аспекти на компостирането

Много микроорганизми участват в процеса на компостиране: идентифицирани са повече от 2000 известни вида бактерии и най-малко 100 вида гъби (De Gannes et al., 2013; Sánchez et al., 2017). Молекулярно-биологичните методи са показали, че по-голямата част от бактериите и микроскопичните гъби в микробната общност на компоста е представена от некултивирани видове (Amann et al., 1990). Значително влияние върху интензивността на процеса на компостиране и скоростта на окисляване на органичните вещества имат температурата, влажността на компостираната маса, мултидисперсността на субстрата, която осигурява аерация, както и наличието на азот в достъпна форма. Микробната активност се увеличава, когато съдържанието на влага и концентрацията на кислород достигнат необходимото ниво. Освен кислород и вода, микроорганизмите се нуждаят от източници на въглерод, азот, фосфор, калий и някои микроелементи за растеж и размножаване. Тези нужди често се задоволяват от веществата, съдържащи се в отпадъците. Консумирайки органични отпадъци като хранителен субстрат, микроорганизмите се размножават и произвеждат вода, въглероден диоксид, органични съединения и енергия. Част от енергията по време на биологичното окисление на въглерода се изразходва в метаболитни процеси, а останалата част се отделя под формата на топлина (Atkinson et al., 1996).

Основните групи организми, участващи в компостирането са: микрофлора-бактерии, актиномицети, гъби, дрожди, водорасли, микрофауна – протозои, макрофлора - висши

гъби, макрофауна - двукраки стоножки, акари, пролетни опашки, червеи, мравки, термити, паяци, бръмбари (Teuchezh & Smirnova, 2017). Биогенността на почвата е резултат от развитието на неспорообразуващи бактерии, бацили, актиномети и микромети (Malcheva et al., 2019; Naskova et al., 2015). В процеса на компостиране всички микроорганизми играят важна роля, но с доминираща такава са амонифициращите бактерии, докато микрометите са с второстепенна (Malcheva et al., 2018).

В процеса на компостиране участват много видове бактерии (повече от 2000) и най-малко 50 вида гъби (Nozhevnikova et al., 2019). Тези видове могат да бъдат разделени на групи според температурните интервали, в които всеки от тях е активен. За психрофилите предпочитаната температура е под 20 °C, за мезофилите - 20-40 °C и за термофилите - над 40 °C. Микроорганизмите, които доминират в последния етап на компостиране, обикновено са мезофилни. Въпреки, че броят на бактериите в компоста е много голям (10 милиона - 1 милиард /g мокър компост), поради малкия си размер те съставляват по-малко от половината от общата микробна биомаса (Ivankin et al., 2014). Актинометите се развиват много по-бавно от бактериите и гъбите и не се конкурират с тях в ранните етапи на компостиране (Nozhevnikova, et al., 2019). Те са по-забележими в по-късните етапи на процеса, когато стават много, а типичният за актинометите бял или сив налеп се вижда ясно на дълбочина 10 cm от повърхността на компостираната маса. Техният брой е по-нисък от броя на бактериите и е около 100 хиляди - 10 милиона клетки на грам мокър компост. Актинометите имат способността да произвеждат ензими, способни да разграждат органичните растителни остатъци, лигнин и хитин. При компостирането се срещат предимно стрептомиети като *S. griseus*, *S. termoviolaceus*, *S. globisporus*, *S. ruber* и *S. viridosporus*, характеризирани се с висока способност за разграждане на хитин, лигнинови съединения, лигноцелулозен комплекс, а също така са с

висока пероксидазна, полифенолоксидазна, ксиланазна, фенолалдехид оксидазна активност (Chanal et al., 2006).

Нишковидните гъби от родовете *Mucor*, *Rhizopus* и *Aspergillus* произвеждат амилаза и целулаза (Kango et al., 2019). Те играят важна роля в разграждането на целулозата и състоянието на компостната маса трябва да се контролира по такъв начин, че да се оптимизира дейността на тези микроорганизми. Температурата е важен фактор, тъй като гъбите умират, при повишаване на температурата над 55 °C. След понижаване на температурата те отново се разпространяват от по-студените зони в целия обем (Tuomela et al., 2000).

В процеса на компостиране активно участват не само бактерии, гъбички, актиномети, но и безгръбначни (Steel & Wim, 2012). Тези организми съжителстват с микроорганизми и са в основата на „здравето“ на компостната купчина. Дружелюбният екип от компостери включва мравки, бръмбари, стоножки, гъсеници на зимния червей, лъжескорпиони, ларви на плодни бръмбари, стоножки, акари, нематоди, земни червеи, паяци и т.н. След достигане на максимална температура, компостът, охлаждайки се, става достъпен за широк кръг почвени животни. Много от тях допринасят значително за рециклирането на компостируемия материал чрез физическото му раздробяване, а също така и за смесването на различни компоненти на компоста.

Нормативни изисквания за готовия компост

В Наредба за третиране на биоотпадъците (ДВ 92/2013) са посочени биоразградимите отпадъци, подходящи за производство на компост и ферментационен продукт. Готовият компост трябва да отговаря на изискванията в посочената наредба за качество на крайния продукт. В следващите таблици са посочени нормите за съдържание на тежки метали (Таблица 1), органично вещество и патогенна микрофлора в компост (Таблица 2).

Таблица 1. Нормативни изисквания за тежки метали в компост (изразени спрямо сухо вещество)
Table 1. Regulatory requirements for heavy metals in compost (expressed on a dry matter basis)

Параметри/ Parameters	Мерна единица/ Unit	Гранични стойности (след преходния период от 7 години)/ Threshold values (after the transition period of 7 years)	Гранични стойности (през преходния период от 7 години/ Limit values (during the transitional period of 7 years)
Cd	mg/kg	1,3	2
Cr	mg/kg	60	100
Cu	mg/kg	200 етикитиране: > 100 labeling: > 100	250* етикитиране: > 100 labeling: > 100
Hg	mg/kg	0,45	1,0
Ni	mg/kg	40	80
Pb	mg/kg	130	180
Zn	mg/kg	600 етикитиране: > 400 labeling: > 400	800* етикитиране: > 400 labeling: > 400

**Ако е превишена стойността за елементите мед (Cu) или цинк (Zn), съдържанието трябва да бъде отбелязано върху етикета на крайния продукт в съответствие с изискванията, посочени в приложение № 4 на Наредба за третиране на биоотпадъците.*

**If the value for the elements copper (Cu) or zinc (Zn) is exceeded, the content must be marked on the label of the final product in accordance with the requirements specified in Annex No. 4 of the Bio-Waste Treatment Ordinance.*

Таблица 2. Норми за съдържание на органично вещество и патогенна микрофлора при компостиране
Table 2. Norms for the content of organic matter and pathogenic microflora in composting

Параметри/ Parameters	Област на употреба/ Field of use	Гранични стойности при компостиране (единица)/ Limit values for composting (unit)	Гранични стойности при анаеробно разграждане (единица)/ Anaerobic degradation limit values (unit)
Органично вещество/ Organic matter	Всички области на употреба с изключение на производството на биофилтри/ All areas of use except the production of biofilters	≥ 15 % сухо вещество/ ≥ 15 % dry matter	Няма изисквания/ There are no requirements
Салмонела/ Salmonella	Всички видове продукти компост и области на употреба (произведени от всички видове биоотпадъци)/ All types of compost products and areas of use (produced from all types of bio-waste)	отсъствие 25 г проба/ absence 25 g sample	отсъствие 25 г проба/ absence 25 g sample
Ешерихия коли/ E. coli	All types of compost products and areas of use (produced from all types of bio-waste)	< 1000 CFU/g свежа материя/ < 1000 CFU/g fresh matter	< 1000 CFU/g свежа материя/ < 1000 CFU/g fresh matter

Основни микробиологични и ензимни индикатори при компостиране

Групирането на различни типове компости по съдържанието им може да бъде обобщено (Shpedt et al., 2015):

► Компости, съдържащи основно зеленчукови смеси (корени, стъбла, листа, зеленчуци).

► Компости, съдържащи основно плодови смеси (плодове, листа, клонки).

► смесени компости (зеленчуци и плодове по равно).

► Компости, съдържащи основно растителни остатъци от етеричномаслени култури (кориандър, джоджен, мащерка, босилек, лавандула, риган).

Най-висока е биогенността на плодовите компости, следват смесените, съдържащи по равно количество плодове и зеленчуци, зеленчуковите и най-ниско е общото количество микроорганизми при компостите, съдържащи етеричномаслени култури (непубликувани данни) (Фигура 1).

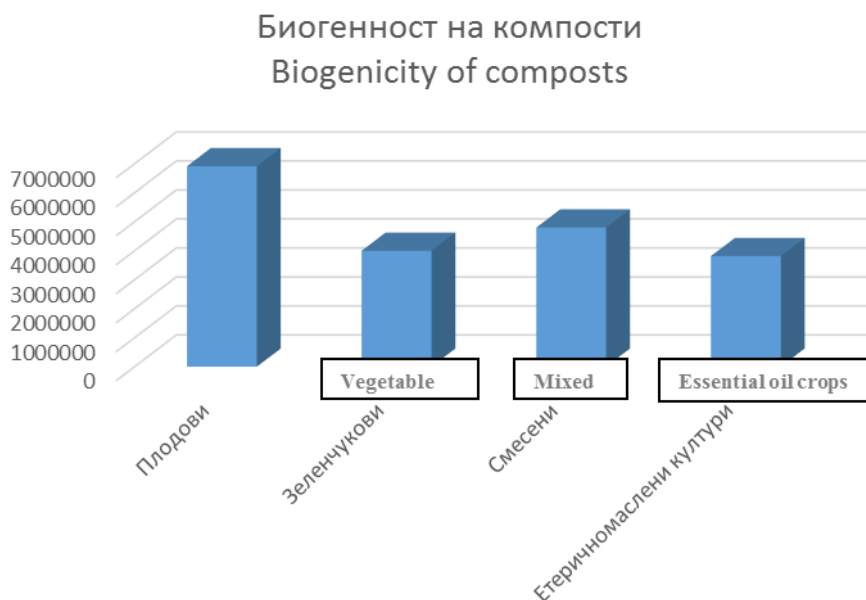
От друга страна, етеричномаслените култури благоприятстват обеззаразяването на компостите от *Escherichia coli*. Този факт го доказваме в наши изследвания за антибактериална активност на растителни екстракти от етеричномаслени култури срещу *Escherichia coli* (Naskova et al., 2023; Malcheva et al., 2023). Също така, използването на етеричномаслени култури води до обезмирисяване на компостните смеси от неприятна миризма.

В процеса на компостиране и в готовия компост основен дял в състава на общата микрофлора заемат неспорообразуващите

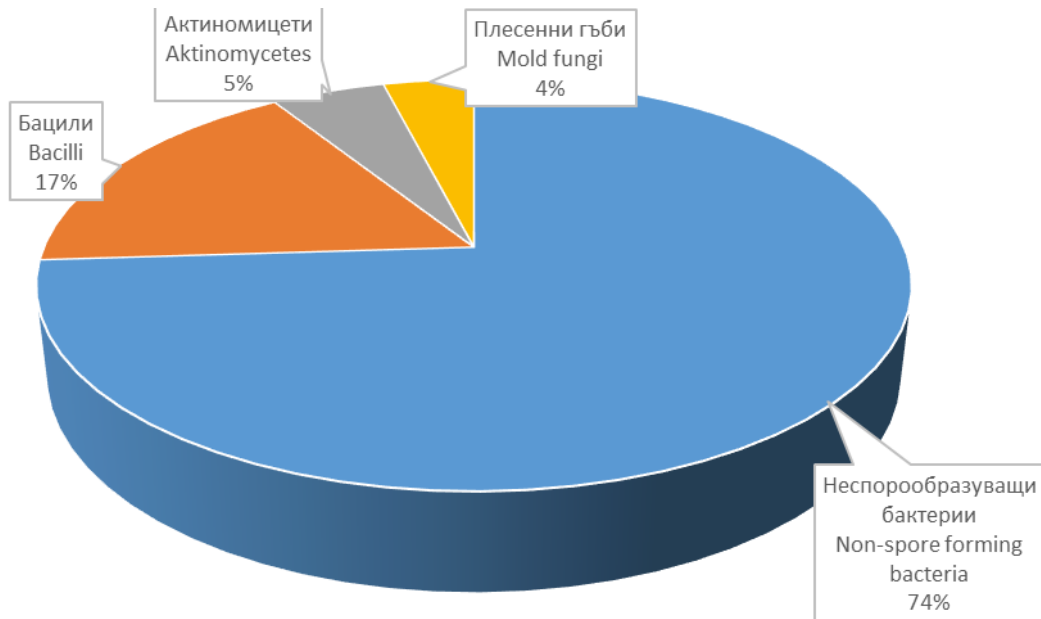
бактерии, следвани от бацилите (Malcheva et al., 2018). Тези две групи микроорганизми участват най-активно в началните етапи на деструкция на органичните вещества. В състава на общата микрофлора, при компостиране по-слабо представени са актиномицетите и микромицетите (плесенни гъби). Тези две групи микроорганизми участват по-активно в по-крайните етапи на разграждане на органичната материя. Установява се, че във фазите на компостиране с увеличаване на температурата нараства и количеството на актиномицетите (Malcheva et al., 2018). Обобщено, процентното разпределение на микроорганизмите при компостиране е посочено на Фигура 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биогенността на компостите зависи от вида на използваните биоразградими отпадъци от селското стопанство. Общото количество микроорганизми е най-високо при плодовите компости, следват смесени, зеленчукови и най-ниска е биогенността на компости с ос-



Фигура 1. Общ брой микроорганизми в компости (cfu/g) (непубликувани данни)
Figure 1. Total number of microorganisms in composts (cfu/g) (unpublished data)



Фигура 2. Процентно участие на микроорганизмите при компостиране (непубликувани данни)
Figure 2. Percentage participation of microorganisms in composting (unpublished data)

татъци от етеричномаслени култури. Етеричномаслените култури подпомагат обеззаразяването и обезмирисяването на компостните смеси.

В процесите на компостиране и в готовия компост основен дял в състава на общата микрофлора заемат неспорообразуващите бактерии и бацилите, които участват най-активно в началните етапи на деградация на органичните вещества. По-малък е дялът на актиномицетите и микромицетите, които по принцип са по-активни в крайни етапи на разграждане на органичната материя. Установява се нарастване на количеството на актиномицетите с увеличаване на температурата във фазите на компостиране.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящото изследване е финансирано от бюджетната субсидия на Технически университет – Варна за научно-изследователска и развойна дейност по научен проект „НП9/2023“.

ЛИТЕРАТУРА

- Amann, R. I., Binder, B. J., Olson, R. J., Chisholm, S. W., Devereux, R., & Stahl, D. A. (1990). Combination of 16S rRNA-targeted oligonucleotide probes with flow cytometry for analyzing mixed microbial populations, *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 56, pp: 1919–1925.
- Antunes, L. P., Martins, L. F., Pereira, R. V., Thomas, A. M., Barbosa, D., Lemos, L. N., Silva, G.M., Moura, L.M., Epamino, G.W., Digiampietri, L.A., Lombardi, K.C., Ramos, P.L., Quaggio, R. B., de Oliveira, J. C., Pascon, R. C., Cruz, J. B., da Silva, A. M., & Setubal, J. C. (2016). Microbial community structure and dynamics in thermophilic composting viewed through metagenomics and metatranscriptomics, *Scientific Reports*, vol. 6. Art. 38915, pp: 1-13.
- Atkinson, C. F., Jones, D. D., & Gauthier, J. J. (1996). Putative anaerobic activity in aerated composts, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 16 (3), pp: 182–188
- Chanal, A., Chapon, V., & Benzerara, K. (2006). The desert of Tataouine: an extreme environment that hosts a wide diversity of microorganisms and radio-tolerant bacteria, *Environmental Microbiology*, 8 (3), pp: 514-525.

- De Gannes, V., Eudoxie, G., & Hickey, W. J.** (2013). Prokaryotic successions and diversity in composts as revealed by 454-pyrosequencing, *Frontiers in Microbiology*, vol. 6. Art. 164, pp: 1–9.
- Ivankin, A., Pandya, U., & Saraf, M.** (2014). Intensification of aerobic processing of the organic wastes into compost, *Composting for Sustainable Agriculture. Sustainable Development and Biodiversity* / Ed. Maheshwari D. Springer, Cham, vol. 3, pp: 23–42.
- Kango, N., Uttam, J., & Ritumbhara, C.** (2019) Fungal Enzymes: Sources and Biotechnological Applications. *Advancing Frontiers in Mycology & Mycotechnology* pp. 515–538.
- Kutrovskii, W. N. & Sidorenko, O. D.** (2009). Bioconversion of waste from the agro-industrial complex (Ru).
- Malcheva, B., Yordanova, M., Borisov, R., Vicheva, T., & Nustorova, M.** (2018). Dynamics of microbiological indicators for comparative study of compost variants. The International Conference of the University of Agronomic Science and Veterinary Medicine of Bucharest, June 7-9 2018, Bucharest, Romania. Scientific papers-series B-Horticulture, vol. 62, pp: 649-654.
- Malcheva, B., Yordanova, M., & Nustorova, M.** (2019). Influence of composting on the microbiological activity of the soil. The International Conference of the University of Agronomic Science and Veterinary Medicine of Bucharest, June 6-8 2019, Bucharest, Romania. Scientific Papers. Series B, Horticulture. Vol. LXIII, No. 1, pp: 621-625.
- Malcheva, B., Naskova, P., Plamenov, D., & Nikolov, D.** (2023). Influence of essential oil spearmint (*Mentha spicata* L.) culture on soil biogenicity of its antimicrobial activity against *Escherichia coli*. The International Conference „Agriculture for life, life for agriculture“, Section Horticulture, 8-10 June 2023, Bucharest, Romania. Book of Abstract, p. 163.
- Mischustin, E. N.** (1972). Microorganisms and agricultural productivity: Science, pp. 342 (Ru).
- Naskova, P., Malcheva, B., Yankova, P., & Plamenov, D.** (2015). Some chemical and microbiological indexes at soils after a flood in the region of Varna, Bulgaria. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 2(10), 62-71.
- Naskova, P., Malcheva, B., Plamenov, D., & Nikolov, D.** (2023). Effect of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil culture on soil biogenesis and determination of its antimicrobial activity against *Escherichia coli*. The International Conference „Agriculture for life, life for agriculture“, Section Agronomy, 8-10 June 2023, Bucharest, Romania. Book of Abstract, pp. 124.
- Nozhevnikova, A. N., Mironov, V. V., Botchkova, E. A., Litt, Y. V., & Russkova, Y. I.** (2019). Composition of a microbial community at different stages of composting and the prospects for compost production from municipal organic waste. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 55, 199-208.
- Ordinance on bio-waste treatment (Adopted by PMS No. 225 of 15.10.2013, promulgated SG No. 92 of 22.10.2013) (Bg).**
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S.** (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process, *Waste Management*, vol. 69, pp: 136–153.
- Shpedt, A. Vergeykh, P., Kartavykh, V.** (2015). The assessment of the fast-mineralized organic substance of agricultural lands soils in Krasnoyarsk region. *Journal Agrochemistry*. Vol 12 pp. 36-43.
- Steel, H., & Wim, B.** (2012) Biodiversity of compost mesofauna and its potential as an indicator of the composting process status. *Dynamic soil dynamic plant*. 5 (spec. iss. 2), pp. 45-50.
- Teuchezh, A. A., & Smirnova, D. G.** (2017) Microbiological, biochemical and technological bases of use of animal wastes. *Environmental journal of the North Caucasus*. Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin. Vol.13. pp. 60-66.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M.** (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review, *Bioresource Technology*, vol. 72 (2), pp. 169–183.

Received: September 23 2023; Approved: December 18 2023; Published: February 2024