

浅析施用微生物肥料对土壤质量的影响

杨东敏¹⁻³, 徐圣君³, 曾贤桂¹, 张焕祯², 白志辉³

(1. 深圳地大水务工程有限公司, 广东 深圳 518000;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100084;

3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 由于化肥和农药的不合理使用, 造成了土壤质量下降甚至土壤退化。因此, 减少土壤化肥用量, 使用环境友好型产品成为农业发展之重。微生物肥料能修复受损的土壤环境, 促进植物吸收土壤中的营养元素, 促进植物生长, 诱导植物抗性, 目前在农业生产上已被广泛使用。文章总结了微生物肥料对土壤环境的改良作用, 并提出目前微生物肥料发展中存在的问题, 旨在为微生物肥料进一步研究提供理论依据。

关键词: 微生物肥料; 氮循环; 营养元素; 根瘤菌; 土壤团聚体

中图分类号: X171.3; S144

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.03.024

Study on the Influence of Microbial Fertilizer on Soil Quality

YANG Dongmin¹⁻³, XU Shengjun³, ZENG Xiangui¹, ZHANG Huanzhen², BAI Zhihui³

(1. Shenzhen Dida Water Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518000, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100084, China; 3. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: The irrational use of the chemical fertilizer and pesticide leads to the soil quality reduction even degeneration. Thus, reducing the chemical fertilizer and using environment-friendly products is becoming the focus of the agricultural development. The microbial fertilizer can recover the broken soil environment, increase the absorption of nutrient by plants, promote the plant growth, and improve the plant resistance. It is widely used in the agricultural production at present. This paper summarizes the soil quality improvement by the microbial fertilizer. The problems of the microbial fertilizer development are proposed. This paper aims to provide the theoretical basis for the further research on the microbial fertilizer.

Keywords: Microbial Fertilizer; Nitrogen Cycle; Nutrient; Rhizobia; Soil Aggregate

CLC number: X171.3; S144

农业在中国国民经济中占据重要地位, 并且随着人口的增长, 提高作物产量成为农业发展的重心。虽然耕地在减少, 但以施用化肥为主的集约化农业仍然确保了作物的高产量。这是因为化肥能快速增加土壤中的 N、P、K 等营养元素, 促进了植物的生长, 有效增加了粮食产量。在 1961 年到 2001 年的 40 年间, 世界化肥用量从 0.31 亿 t 增长到 1.38 亿 t, 粮食产量提高了将近 13 亿 t^[1]。但是, 化肥的持续过量施用导致了土壤腐殖质结构改变, 与之相关的土壤团聚体破坏, 土壤肥力下降, 土壤

板结和微生物群落变化, 进而导致作物品质和产量下降^[2-3]。并且未被利用的化肥在土壤中会发生一系列的物理、化学和生物转化, N、P 等元素流失, 随地表水进入湖泊流域或地下, 将造成土壤污染、地下水污染和水体硝酸盐、重金属污染等^[4-5]。因此, 农业的绿色性和可持续性成为我国农业发展的首要目标, 以微生物肥料部分代替化学肥料正在逐步受到人们的重视。

微生物肥料是指一类含有活微生物的生物制品, 当其用于农业生产时能产生特定的肥料效应,

收稿日期: 2019-10-29

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07105-001; 2015ZX07203-007); 深圳治水提质科技专项(JSGG20171012143231779)

作者简介: 杨东敏(1990-), 女, 博士研究生。研究方向: 土壤调控研究。E-mail: ydm9110@163.com

通信作者: 徐圣君(1985-), 男, 博士、副研究员。研究方向: 废弃物资源化技术研发及环境修复技术应用。E-mail: sjxu@rcees.ac.cn

引用格式: 杨东敏, 徐圣君, 曾贤桂, 等. 浅析施用微生物肥料对土壤质量的影响[J]. 环境保护科学, 2020, 46(3): 138-142.

微生物在获得这种特定效应的生产过程中起关键作用^[6]。VESSEY^[7]认为微生物肥料中的活微生物用于种子、植物表面或土壤时,能定植于植物根际或植物内部,通过增加供应和可用性提供寄主植物所需的营养成分,促进植物生长。农业部定义微生物肥料除具有上述作用外,还能通过其自身微生物活动促进植物激素产生,抑制有害微生物的繁殖等^[8]。

1 土壤质量

农业是中国经济发展的命脉,而土壤则是农业发展的基础^[9]。但是农业的发展带来的土壤污染日益严重,因此要加强对耕地的可持续利用首先需要提高土壤质量。土壤质量是指土壤在维持生物生产力的同时,还能保持环境质量和促进植物和动物健康的能力。土壤质量包括土壤肥力质量,即能为动植物生长提供所需营养元素的能力;土壤环境质量,是指土壤具有吸纳污染物和降低病菌损害的能力;土壤健康质量,指影响动植物与人类健康的能力^[10]。土壤肥力在土壤质量中占据主要地位,有数据表明中国土壤有机质含量明显低于欧美国家2.5%~4.0%的水平,且呈持续下降的趋势^[11],这对于农业发展是不利的。但值得注意的是,土壤质量不是一直不变的,随着耕作方式、肥料种类和施肥方式的不同而有所变化,因此微生物菌肥的出现对于提高土壤质量有重要作用。

2 微生物肥料对土壤质量的影响

最早在1886年有科学家发现生长有根瘤的豆科植物具有生物固氮作用,而后在1978年科学家提出种植植物后土壤中微生物在根部定植,产生促进植物生长的作用,这种微生物被称为促进植物生长的根细菌(*plant growth promoting rhizobacteria*, PGPR)^[12-13]。PGPR对农业生产具有重要作用。

2.1 改善土壤结构

土壤团聚体是微生物生活的主要微生境,对改善板结、干旱和通气性差的土壤环境有重要作用,还能促进微生物之间的相互作用,增强群落结构的功能多样性和稳定性。MENG et al^[14]提出土壤团聚体的稳定性与有机质含量相关,在0.25~0.5 mm的水稳定团聚体中有机质占主导地位。FORSTER^[15]研究发现包括真菌(*Fungus*)、丛枝菌根真菌

(*arbuscular mycorrhiza*)等在内的真菌,其菌丝分泌的胞外多糖能与土壤颗粒胶结并将其固定,从而形成了土壤团聚体,增强了其稳定性。施加微生物肥料后土壤中有机质增多,微生物数量增加,促进了土壤团聚体的形成,团粒结构发生改变,使得土壤的保水性和通气性变好,有利于植物的生长。

2.2 增加土壤中营养元素含量

微生物肥料一方面可以直接增加土壤中的有机质,另一方面能通过微生物作用提高土壤肥力。主要因为施用微生物肥料能增强土壤脱氢酶的活性,而脱氢酶与土壤中生化过程强弱有关,对于提高土壤肥力有重要作用^[16-18]。微生物的新陈代谢作用还能促进土壤中营养元素的释放,在土壤物质和能量循环过程中发挥重要作用^[19],图1中土壤中的氨氧化细菌(*ammonia-oxidizing bacteria*, AOB)、氨氧化古菌(*ammonia-oxidizing archaea*, AOA)和反硝化菌(*Denitrifying bacteria*)等,是土壤氮循环的主要参与者,它们能将空气中的氮素转化为生物可利用的形式,为植物生长提供了有利条件^[20-21]。研究发现微生物肥料中的固氮菌(*Azotobactersp*)也具有生物固氮作用,可以通过自生固氮或共生固氮将空气中的氮素进行固定,进一步转化成植物可利用的氮素营养,从而增加了土壤中的可利用N含量^[21]。EGAMBERDIYEVA^[22]研究发现在接种有效菌种产碱假单胞菌(*Pseudomonas alcaligenes*)PsA15和分枝杆菌(*Mycobacterium*)MbP18后,将导致棉花根部N含量增加。AMIR et al^[23]也发现了在施用PGPR后,土壤中N、P元素增加。PGPR还能提高植物从土壤中吸收结合态氮的能力,当PGPR与氮肥混合使用后,氮肥增强植物根系的生长,根系面积增大,PGPR协同作用提高根系功能,从而提高植物对N等其他营养元素的吸收^[24]。这些微生物肥料的施用有效促进了植物对营养元素的吸收,减少了元素的流失,并且植物根系环境有利于微生物的繁殖,促进了土壤-微生物-植物之间的相互作用。

2.3 优化土壤群落结构

微生物在有机物分解的动态变化过程和调控植物所需的营养元素等方面发挥着重要作用^[25],是土壤重要的组成部分,生存于土壤中的各类微生物和生物相互作用,一起构成了土壤生物圈系统。当微生物群落结构受外界条件影响时,其结构和功能

也会相应发生变化,进一步对作物和环境产生不同程度的影响。在农业生产中,施用不同的肥料会造成土壤中微生物群落结构、理化性质发生变化^[26]。如在长期施用无机氮肥的土壤中,微生物活性降低^[27],而添加微生物肥料后能使已被破坏的微生物群落得到修复,同时增加某些功能。微生物肥料还能增加土壤中有益微生物的数量,这些有益微生物能与病原微生物竞争生态位和营养元素,并抑制其繁殖^[28]。在 XUN et al^[29] 的研究中提到,在微生物

丰度比较高的群落,其多样性比较低,且群落功能趋于确定性组装过程,以占主要地位的微生物群落功能为主。KIM et al^[30] 在对支流沉积物的研究中也发现了相似的结论,在微生物丰度较高的河岸沉积物中,其微生物多样性低于河流沉积物,但是其微生物活性较高。因此,在土壤中施用微生物肥料,将有利于有益菌群落的建立,群落的功能和稳定性增加,对提高土壤质量和促进植物生长有重要作用。

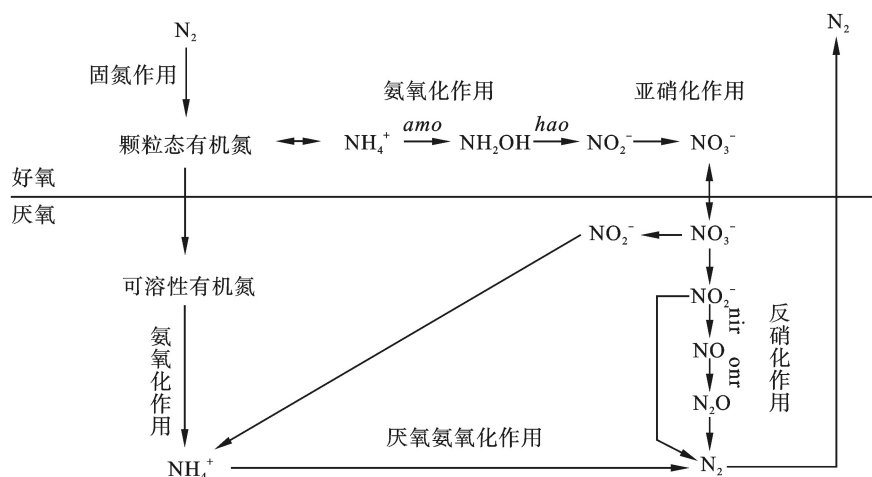


图 1 微生物参与的氮循环

3 微生物肥料的发展现状

3.1 微生物肥料的发展趋势

随着豆科植物根瘤的固氮作用被发现,科学家开始对植物根际微生物进行深入研究,目前国内外已发现了 20 多种根际微生物,如根瘤菌,假单胞菌 (*Pseudomonas*),芽孢杆菌 (*Bacillus*) 和固氮菌等^[31-32]。PGPR 不但能促进植物吸收利于植物生长发育的营养成分,提高化肥利用率,净化和修复土壤;还能抑制土壤中有害病原体和有害微生物繁殖,增加抗性物质,降低农作物体内硝态氮、重金属和农药的积累,对于保护环境具有重要作用^[33]。

微生物肥料在国内外农业生产中占据重要地位,如在胡萝卜 (*Daucus carota* L. var. *sativa* Hoffm.) 和玉米 (*Zea mays* Linn.) 等重要农作物中使用微生物肥料后,植物获得的氮素含量增加,产量提高^[34-36]。在中国,微生物肥料行业发展迅速,与其他国家相比,具有种类多、应用范围广的特点。这些产品的生产已具有较大规模,开始了由单一型菌肥向复合型菌肥发展,如固氮菌与磷、钾细菌配合使用,可同

时增加土壤中 N、P、K 元素的含量;一些菌粉型微生物肥料、基因工程肥等也开始出现^[37]。菌肥功能开始向多元化发展,由于细菌一般具有特定性功能,开发有多种功效的微生物肥料能更好地促进植物健康生长。这些微生物肥料在提高化肥利用率、降低化肥使用量和减少环境污染等方面,已获得较好的效果^[38]。

3.2 微生物肥料发展面临的问题

但 PGPR 在实际应用中受到很多限制,施用后反而会降低植物产量,其中可能与固氮微生物有关。微生物起固氮作用的主要是固氮酶,这种酶能固定环境中的氮素,但是当氮源丰富时氮阻遏机制将发挥作用,导致固氮酶活性降低,生物固氮作用降低,不利于农作物种植^[39]。PGPR 产品在研发过程也会受到多种因素的影响,见表 1^[40]。

大规模生产需要考虑到孕育剂的问题,新型的载体需要保证可供应性,且不易受环境影响且无毒;还要考虑所作用植物的生长特征等;单种菌肥或复合菌肥的配比对于植物生长也有关键作用;在运输过程中,要保障微生物细胞的活性;接种成功

也是评价生物肥料的关键指标, 引进的接种剂不仅要保证存活, 还要与原生种群竞争并成为优势种群^[40]。

表 1 生产到接种过程影响孕育剂质量的主要因子

研发PGPR注意要点	主要内容
筛选	PGPR菌生长介质, 生长因子、植物生长的环境条件、病原体
配方	单种或复合种的配比、生长载体的类型、载体灭菌、含水量、其他添加剂、污染物的水平
保存、运输	含水量、运输温度、时间、活性(运输过程中与污染物或其他接种剂竞争)
接种	接种浓度、接种时间和位置、植物管理策略, 接种剂应用方式, 与其他优势菌群竞争, 能更好地适应环境

4 微生物肥料的前景与展望

微生物肥料对土壤环境的改善具有重要作用, 可以修复被破坏的土壤结构, 还能通过微生物作用增加土壤中的营养元素, 提高植物对肥料的利用率, 在实际农业生产中取得了较好的效果。

但是微生物肥料产品存在肥效慢、专性强、贮存期短等问题, 因此应加强高效型微生物肥料的研究。首先需要了解微生物与土壤、植物根系之间的关系, 可利用分子生物学技术将宏观生态的思想和方法引入微生物生态研究, 直接研究微生物 DNA 以获得环境样品中微生物多样性及群落组成信息, 进一步了解群落功能和作用机制, 为筛选优良菌株和开发新型微生物资源提供了有利途径。如目前已报道的运用体外表达技术识别新的基因, 利用基因融合技术获得高效多功能菌株等都已取得较好的研究结果^[41]。同时, 还要加强微生物肥料产品的质量监督, 完善微生物肥料产品的规范化质量检测, 将有助于优质产品的开发。

参考文献

[1] 李勇海. 中国化肥行业发展对策研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.

[2] BITTMAN S, FORGE T, KOWALENKO C G. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(4): 613 – 623.

[3] ZHANG Q, SONG Y, WU Z, et al. Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 242: 118435.

[4] YOO G, KIM H, CHEN J, et al. Effects of biochar addition on nitrogen leaching and soil structure following fertilizer application to rice paddy soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2014, 78(3): 852 – 860.

[5] BABIKER I S, MOHAMED M A A, TERA0 H, et al. Assessment

of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system[J]. *Environment International*, 2004, 29(8): 1009 – 1017.

[6] 赵子定, 常玉海. 国外微生物肥料的发展概况[J]. 中国农业信息快讯, 2004(7): 17 – 18.

[7] VESSEY J K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers[J]. *Plant and Soil*, 2003, 255(2): 571 – 586.

[8] 郭春景. 微生物肥料及其微生态效应研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.

[9] 丁少男. 长期施肥对黄土丘陵区农田土壤质量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

[10] 严挺. 小区域土壤质量分析与评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.

[11] 封志明, 李香莲. 耕地与粮食安全战略: 藏粮于土, 提高中国土地资源的综合生产能力[J]. 地理学与国土研究, 2000, 16(3): 1 – 5.

[12] 房春红. 根瘤菌与大豆, 土壤间相互适应性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.

[13] LIFSHTIZ R, KLOEPPER J W, KOZLOWSKI M, et al. Growth promotion of canola (rapeseed) seedlings by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 1987, 33(5): 390 – 395.

[14] MENG Q, SUN Y, ZHAO J, et al. Distribution of carbon and nitrogen in water-stable aggregates and soil stability under long-term manure application in solonchets soils of the Songnen plain, northeast China[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2014, 14(6): 1041 – 1049.

[15] FORSTER S M. The role of microorganisms in aggregate formation and soil stabilization: types of aggregation[J]. *Arid Land Research and Management*, 1990, 4(2): 85 – 98.

[16] CHU H, LIN X, FUJII T, et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(11): 2971 – 2976.

[17] NANNIPIERI P, GREGO S, CECCANTI B, et al. Ecological significance of the biological activity in soil[J]. *Soil Biochemistry*, 1990, 6: 293 – 355.

[18] SUN Y M, ZHANG N N, WANG E T, et al. Influence of intercropping and intercropping plus rhizobial inoculation on microbial activity and community composition in rhizosphere of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Siberian wild rye (*Elymus sibiricus* L.)[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009, 70(2):

- 62 – 70.
- [19] CHEN S N, GU J, GAO H, et al. Effect of microbial fertilizer on microbial activity and microbial community diversity in the rhizosphere of wheat growing on the Loess Plateau[J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2011, 5(2): 137 – 143.
- [20] LIU N, HOU T, YIN H, et al. Effects of amoxicillin on nitrogen transformation and bacterial community succession during aerobic composting[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, 362: 258 – 265.
- [21] FRANCIS C A, BEMAN J M, KUYPERS M M M. New processes and players in the nitrogen cycle: the microbial ecology of anaerobic and archaeal ammonia oxidation[J]. *The ISME Journal*, 2007, 1(1): 19 – 27.
- [22] EGAMBERDIVEVA D, HOEFLICH G. Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 56(2): 293 – 301.
- [23] AMIR H G, SHAMSUDDIN Z H, HALIMI M S, et al. Enhancement in nutrient accumulation and growth of oil palm seedlings caused by PGPR under field nursery conditions[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2005, 36(15/16): 2059 – 2066.
- [24] MIA M A B, SHAMSUDDIN Z H, WAHAB Z, et al. The effect of rhizobacterial inoculation on growth and nutrient accumulation of tissue-cultured banana plantlets under low N-fertilizer regime[J]. *African journal of Biotechnology*, 2009, 8(21): 5855 – 5866.
- [25] CHEN J H. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility[C]// International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use. Land Development Department Bangkok Thailand, 2006, 16: 20.
- [26] Soil biological fertility: a key to sustainable land use in agriculture[M]. Springer Science & Business Media, 2003.
- [27] SAMADDAR S, TRUU J, CHATTERJEE P, et al. Long-term silicate fertilization increases the abundance of Actinobacterial population in paddy soils[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2019, 55(2): 109 – 120.
- [28] 徐丽娟, 刁志凯, 李岩, 等. 菌根真菌的生理生态功能[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 285 – 292.
- [29] XUN W, LI W, XIONG W, et al. Diversity-triggered deterministic bacterial assembly constrains community functions[J]. *Nature Communications*, 2019, 10(1): 3833.
- [30] KIM H, BAE H S, REDDY K R, et al. Distributions, abundances and activities of microbes associated with the nitrogen cycle in riparian and stream sediments of a river tributary[J]. *Water Research*, 2016, 106: 51 – 61.
- [31] 中华人民共和国农业部. 微生物肥料术语: NY/T1113—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [32] 胡江春, 薛德林, 马成新, 等. 植物根际促生菌 (PGPR) 的研究与应用前景[J]. *应用生态学报*, 2004(10): 1963 – 1966.
- [33] 侯云鹏, 秦裕波, 尹彩侠, 等. 生物有机肥在农业生产中的作用及发展趋势[J]. *吉林农业科学*, 2009, 34(3): 28 – 29.
- [34] GOVEDARICA M, MILOSEVIC N, JARAK M. Efficient application of associative nitrogen fixing bacteria in vegetable production[J]. *Savremena Poljoprivreda*, 1995, 42(1): 303 – 308.
- [35] EI-KOMY H M A, MOHARRAM T M M, SAFWAT M S A. Effect of Azospirillum inoculation on growth and N-2-fixation of maize subjected to different levels of FYM using N-15-dilution method[M]. *Nitrogen Fixation with Non-legumes*. Springer, Dordrecht, 1998: 49 – 59.
- [36] SEN B G, SEN P. Utility of phyllosphere N₂-fixing micro-organisms in the improvement of crop growth[J]. *Plant and Soil*, 1982, 68: 55 – 67.
- [37] 李涛, 张朝辉, 郭雅雯, 等. 国内外微生物肥料研究进展及展望[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(10): 37 – 41.
- [38] ZHANG L. Effects of microbial manure on growth and physiological characteristics to kidney bean[J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2012, 6(10): 2489 – 2492.
- [39] 马贵兴, 井申荣. 固氮分子机理及固氮基因转移研究进展[J]. *生命科学*, 2013, 25(1): 113 – 118.
- [40] HERRMANN L, LESUEUR D. Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2013, 97(20): 8859 – 8873.
- [41] NELSON L M. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants[J]. *Plant Management Network*, 2004, 3(1): 1 – 7.