

我国微生物肥料发展现状及在蔬菜生产中的应用

仝倩倩^{1, 2, 3}, 祝英^{1, 3*}, 崔得领⁴, 赵毅¹, 陈玉坤¹, 王治业¹, 熊友才³

(1. 甘肃省微生物资源开发利用重点实验室, 甘肃省科学院生物研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 西安思源中学, 陕西 西安 710038; 3. 草地农业生态系统国家重点实验室, 旱地农业生态研究所, 兰州大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730000; 4. 河南省襄城县农业技术推广中心, 河南 许昌 461000)

摘要: 当前以科技创新引领“农业高质量发展”备受关注, 而微生物肥料为“五节一循环”技术的农业高质量发展提供了支撑, 尤其是微生物肥料在蔬菜种植中发挥了节肥、减药、促生长等重要作用。对微生物肥料在我国的发展历程进行综述, 归纳了微生物肥料的分类及功能微生物菌, 分析了微生物肥料在蔬菜种植上的应用进展和主要功效, 最后讨论了微生物肥料在蔬菜种植中存在的问题及应用前景, 为微生物肥料在蔬菜种植上的应用提供参考。

关键词: 微生物肥料; 蔬菜; 微生物接种剂; 复合微生物肥料; 生物有机肥

蔬菜种植是目前我国农民经济来源的重要途径之一。为了追求经济利益, 连作和水肥的高频、高量投入是我国蔬菜种植中普遍存在的现象, 引起土壤养分下降、土壤微生物菌群失衡和病害严重发生^[1-2]。化肥农药的超量使用, 最终导致蔬菜农残超标、产量下降等恶性循环, 严重威胁人类的饮食健康。

蔬菜种植过程中土壤微生物失衡是导致蔬菜病害发生和土壤质量下降的主要原因之一, 是影响我国蔬菜种植土壤可持续发展的主要威胁, 而土壤微生物障碍的控制和修复要比土壤物理、化学障碍的修复困难得多^[3]。研究表明, 蔬菜栽培基质或根际接种有益微生物, 不但能有效缓解土壤微生物失衡的障碍, 而且促进蔬菜生长, 并减少蔬菜种植过程中化肥农药的用量^[4-5]。因此, 全面了解微生物肥料在我国蔬菜生产中的应用进展以及发挥的主要作用, 在促进我国蔬菜种植体系的健康良性发展方面具有十分重要的意义。

1 我国微生物肥料的生产应用历程和制定的相关肥料标准

我国微生物肥料的研究和应用始于 20 世纪 40 年代, 此时期以根瘤菌接种剂为主, 在东北、华北及华中地区开展了试验, 并取得了较好的效果, 但总体的应用面积也不大, 此时还没有形成规模化的产品^[6]。20 世纪 50 ~ 60 年代, 除根瘤菌接种剂外, 出现了细菌和放线菌等微生物制剂, 如以自生固氮菌、溶磷细菌、硅酸盐细菌、放线菌等为原料的细菌性菌剂、抗生素肥料和固氮蓝绿藻肥等^[7]; 此时期大量中小型企业介入, 但生产设备落后、无行业管理, 导致产品质量参差不齐。1959 年由中国农业科学院土壤肥料研究所牵头, 首次提出关于微生物肥料产品质量标准的意见, 此后微生物肥料标准制定备受关注。20 世纪 70 年代到 80 年代中期掀起了利用丛枝菌根来改善植物磷素吸收和提高水分利用率的研究热潮^[8]。20 世纪 80 年代中期至 90 年代, 应农业发展的需求, 新型微生物制剂如联合固氮菌肥、硅酸盐菌剂、光合细菌菌剂、植物根际促生细菌 (PGPR) 制剂和有机物料 (秸秆) 腐熟剂不断涌现, 特别是 PGPR 的研究和效果验证逐渐成为土壤微生物学的热点研究领域^[9]; 同时以功能微生物如固氮菌、磷细菌、钾细菌为原料, 通过复合有机肥制备而成的复合 (复混) 生物肥料不断涌现, 加速了微生物菌剂及微生物肥料的发展。

收稿日期: 2021-01-09; 录用日期: 2021-03-23

基金项目: 兰州市科技局科技研发项目 (2021-1-158); 甘肃省科技厅重大专项 (21ZD4NA016); 甘肃省组织部陇原青年创新创业人才个人项目 (2019)。

作者简介: 仝倩倩 (1996-), 硕士研究生, 研究方向为蔬菜连作障碍的微生物防控研究。E-mail: 344579250@qq.com。

通讯作者: 祝英, E-mail: zhuying_365@126.com。

展。但此时期产品质量参差不齐、无标准、无行业管理,仍处于无序发展的时期^[10]。

1997年我国实行微生物肥料生产资料登记,加上国家对标准制定的政策引导,初步形成了农用微生物菌剂和微生物肥料的标准体系,微生物肥料标准的制定取得了空前的进展,对引导和规范行业发展发挥重要作用。在2000~2010年的发展过程中,出台了有关微生物菌剂和微生物肥料的产品标准、检测方法、技术规程以及菌种/安全等22项标准和规程(表1)。这些标准和规程的制定规范了微生物

菌剂及肥料的市场,同时也推动了微生物菌剂及肥料种类多样化的发展,此时期出现了高效营养促生类、土壤功能修复及连作障碍克服类的菌剂,以及生物有机肥、新型复合微生物肥料、专用微生物肥料等。在2010~2020年全国微生物肥料产品和企业迅速发展的时期,复合微生物肥料、生物有机肥和微生物肥料生物安全通用技术准则等标准和规程进一步修订颁布实施(表2),新颁布实施了8项相关标准和技术规程(表2),进一步推动了微生物肥料研究和产业化的进程^[12]。

表1 2000~2010我国微生物肥料标准及技术规程^[11]

| 类别 | 编号 | 标准名称 | 标准代号 |
|---------|----|----------------------|-------------------|
| 通用标准 | 1 | 农用微生物产品标识要求 | NY 885-2004 |
| | 2 | 微生物肥料术语 | NY/T 1113-2006 |
| 产品标准 | 1 | 根瘤菌肥料 | NY 410-2000 |
| | 2 | 固氮菌肥料 | NY 411-2000 |
| | 3 | 磷细菌肥料 | NY 412-2000 |
| | 4 | 硅酸盐细菌肥料 | NY 413-2000 |
| | 5 | 光合细菌菌剂 | NY 527-2002 |
| | 6 | 有机物料腐熟剂 | NY 609-2002 |
| | 7 | 复合微生物肥料 | NY/T 798-2004 |
| | 8 | 生物有机肥 | NY 884-2004 |
| | 9 | 农用微生物菌剂 | GB/T 20287-2006 |
| 方法标准 | 1 | 肥料中粪大肠杆菌群值的测定 | GB/T 19524.1-2004 |
| | 2 | 肥料中蛔虫卵死亡率的测定 | GB/T 19524.2-2004 |
| 菌种/安全标准 | 1 | 硅酸盐细菌菌种 | NY 882-2004 |
| | 2 | 微生物肥料生物安全通用技术准则 | NY 1109-2006 |
| | 3 | 根瘤菌生产菌株质量评价技术规范 | NY/T 1735-2009 |
| | 4 | 微生物肥料菌种鉴定技术规范 | NY/T 1736-2009 |
| 技术规程 | 1 | 农用微生物菌剂生产技术规程 | NY/T 883-2004 |
| | 2 | 微生物肥料实验用培养基技术条件 | NY/T 1114-2006 |
| | 3 | 肥料合理使用准则 微生物肥料 | NY/T 1535-2007 |
| | 4 | 微生物肥料田间试验技术规程及肥效评价指南 | NY/T 1536-2007 |
| | 5 | 微生物肥料生产菌株质量评价通用技术要求 | NY/T 1847-2010 |

注:对参考文献[11]中的内容进一步补充完善。

表 2 2010 ~ 2020 我国微生物肥料标准及技术规程

| 类别 | 编号 | 标准名称 | 标准代号 |
|-----------|----|----------------------|---------------------|
| 产品标准 | 1 | 复合微生物肥料 (修订) | NY/T 798-2015 |
| | 2 | 生物有机肥 (修订) | NY 884-2012 |
| 方法标准 | 1 | 农用微生物菌剂工业化生产标准 | Q-130602GTM001-2020 |
| | 2 | 复合微生物菌剂工业化生产标准 | Q-130602GTM002-2020 |
| | 3 | 生物有机肥工业化生产标准 | Q-130602GTM003-2020 |
| 菌种 / 安全标准 | 1 | 微生物肥料生物安全通用技术准则 (修订) | NY 1109-2017 |
| 技术规程 | 1 | 微生物肥料产品检验规程 | NY 2321-2013 |
| | 2 | 秸秆腐熟菌剂腐解效果评价技术规程 | NY/T 2722-2015 |

2 微生物肥料分类及功能微生物

标准《微生物肥料术语》(NY/T 1113-2006)将微生物肥料的产品分成了三大类:微生物接种剂、复合微生物肥料和生物有机肥^[13]。

生物有机肥指特定功能微生物与主要以动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)为原料并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥料和有机肥料效应的肥料^[14]。在生产过程中,涉及的微生物有促进物料分解、腐熟并除臭功能的微生物,以及物料腐熟后在产品中发挥特定肥料效应的功能菌^[15],菌株安全应符合 NY 1109-2006 的规定。目前推荐执行的农业行业标准是 NY/T 884-2012,其主要技术指标为有效活菌数、有机质、水分、pH 值、粪大肠菌群数、蛔虫卵死亡率、有效期和无害化指标。目前主要存在的问题是原料来源复杂、载体差异大、腐熟工艺不成熟。

农业微生物菌剂是指目标微生物(有效菌)经过工业化生产扩繁后加工制成的活菌制剂^[16]。它具有直接或间接改良土壤、恢复地力、维持根际微生物区系平衡、降解有毒有害物质等作用;应用于农业生产,通过其中所含微生物的生命活动,增加植物养分的供应量或促进植物生长、改善农产品品质及农业生态环境。按照内含的微生物种类或功能特性可分为根瘤菌菌剂、固氮菌菌剂、解磷类微生物菌剂、硅酸盐微生物菌剂、光合细菌菌剂、有机物料腐熟剂、促生菌剂、菌根菌剂、生物修复菌剂;按照产品剂型分为液体、粉剂、颗粒型。目前强制执行的标准是 GB 20287-2006,其主要技术指标为有效活菌数、霉菌杂菌数、杂菌率、水分、细

度、pH、保质期和无害化指标。目前主要存在的问题是原料来源复杂、载体差异大、无杂菌控制技术、保质期较短以及颗粒型的造粒加菌技术不成熟等。

复合微生物肥料指特定微生物与营养物质复合而成,能提供、保持或改善植物营养,提高农产品产量或改善农产品品质的活体微生物制品^[17]。按照产品剂型分为液体、粉剂、颗粒型。目前推荐执行的农业行业标准是 NY/T 798-2015,其主要技术指标为有效活菌数、总养分、有机质、杂菌率、水分、pH 和有效期。目前主要存在的问题是杂菌率高、有效活菌衰减率大、有机质与大量元素复合不易造粒。

截至 2020 年 10 月 21 日,我国肥料登记的产品有 22741 个,生产企业有 7168 个,其中获得微生物肥料登记证的产品有 7608 个,生产企业有 2852 个^[18]。目前国内微生物肥料主要涉及的功能微生物有芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌、霉菌、放线菌、固氮菌和光合细菌等,芽孢杆菌占微生物肥料登记菌种的 80% (图 1a);在芽孢杆菌类中,已获得肥料登记证的产品中枯草芽孢杆菌占 40%、胶冻样芽孢杆菌占 13%、巨大芽孢杆菌占 10%、地衣芽孢杆菌占 8%、侧孢芽孢杆菌占 4%、解淀粉芽孢杆菌占 3%、其他占 22% 等 (图 1b)。

3 微生物肥料在我国蔬菜生产上的应用效果

3.1 微生物肥料在我国蔬菜种植上的应用及主要功能微生物

随着我国微生物肥料的发展,2010 年后微生物肥料在蔬菜上才开始大量的应用研究。微生物肥

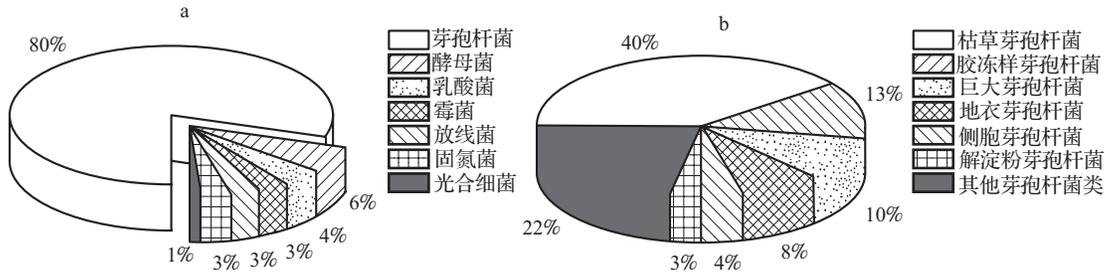


图1 用于微生物肥料产品的主要功能微生物

料在番茄上的应用研究最多，辣椒、黄瓜和白菜次之，在其他蔬菜上的应用逐渐拓展，但总体上微生物肥料在蔬菜种植上的应用还相对较少。在蔬菜生产过程中，不同微生物肥料施用方法有所不同。复合微生物肥料和农用微生物菌剂用量较少，一般每公顷液体复合微生物肥料或农用微生物菌剂的使用量为 10 ~ 20 L，粉剂使用量为 10 ~ 20 kg；在蔬菜上的使用方式可以为拌种、沾根、灌根、喷施或与育苗基质复混等；复合微生物肥料或农用微生物菌剂可以作基肥，也可以作追肥。生物有机肥使用量较大，不同蔬菜的使用量不同^[19]：豆科蔬菜使用量相对较少，一般为 600 ~ 800 kg/hm²；菜叶类蔬菜用量为 800 ~ 1500 kg/hm²；薯芋等根菜类蔬菜用量为 1500 ~ 2000 kg/hm²；茄果类、瓜类蔬菜用量为 1500 ~ 3000 kg/hm²。生物有机肥可撒施、点施、穴施、条施，可以作基肥或追肥。不同微生物肥料随着有效活菌数的不同，价格、用量和功效也存在差异，其中拜耳卓润高温解淀粉芽孢杆菌微生物菌剂使用量为 7.5 L/hm²，西瓜灌根处理平均增产 10080 kg/hm²，产量提高了 28.9%，按照 2.4 元/kg

测算，农民可多收益 1612 元。微生物肥料施用方式灵活、增产增收效益显著。随着国家对果菜茶种植过程中“减肥、增绿、高质量发展”的政策导向，微生物肥料在我国蔬菜生产中具有重大的应用价值和推广潜力。

在蔬菜生产中应用的微生物肥料主要功能微生物有植物根际促生细菌 (PGPR) 和生防菌两大类微生物菌群组成。目前已经发现许多属种的 PGPR，包括硫杆菌属 (*Thiobacillus*)、假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、链霉菌属 (*Streptomyces*)、伯克霍尔德氏菌属 (*Burkholderia*)、根瘤菌属 (*Rhizobium*)、沙雷氏菌属 (*Serratia*)、节杆菌属 (*Arthrobacter*)、农杆菌属 (*Agrobacterium*)、不动杆菌属 (*Acinetobacter*)、固氮螺菌属 (*Azospirillum*)、泛菌属 (*Pantoea*)、弗兰克氏菌属 (*Frankia*) 和慢生根瘤菌属 (*Bradyrhizobium*) 等^[20]。生防菌主要又包括杀真菌类微生物、杀细菌类微生物、杀虫类微生物和杀线虫类微生物，主要微生物类群见表 3。

表3 我国蔬菜种植应用的微生物肥料主要生防微生物分类

| 生防菌 | 归类 | 主要微生物 |
|---------|--------|------------------------------|
| 杀真菌类微生物 | 细菌类 | 芽孢杆菌和假单胞菌 |
| | 真菌类 | 木霉、黑白轮枝霉、寡雄腐霉、白粉菌、盾壳霉和链孢黏帚霉等 |
| | 酵母类 | 毕氏酵母和拉嗜油假丝酵母 |
| 杀虫类微生物 | 细菌类 | 芽孢杆菌 |
| | 真菌类 | 白僵菌、绿僵菌、玫烟色拟青霉和蜡蚧轮枝菌等 |
| 杀线虫类微生物 | 细菌类 | 苏云金芽孢杆菌、坚强芽孢杆菌和穿刺巴斯德菌等 |
| | 捕食真菌类 | 小指孢霉属、单顶孢霉属和节丛孢属等 |
| | 内寄生真菌类 | 链枝菌、轮枝霉属、被毛孢属和拟青霉属等 |
| 杀细菌类微生物 | 细菌类 | 成团泛菌和放射形土壤杆菌 |
| | 病毒类 | 丁香假单胞菌噬菌体和野油菜黄单胞噬菌体 |

3.2 施用微生物肥料对蔬菜根区改良和植株生长的影响

农用微生物菌剂、复合微生物肥料和生物有机肥在蔬菜种植中均有应用。PGPR 是常用的微生物菌剂之一，可以通过固氮^[21]、溶磷^[22]、解钾^[23]、合成植物激素^[24-25]等直接刺激植物生长。Leaungvutiviroj 等^[26]研发了一种具有高氮固定能力的生物肥料，由固氮细菌 (*Azotobacter tropicalis*)、溶磷细菌 (*Burkholderia unamae*)、溶钾细菌 (*Bacillus subtilis*) 和产生生长素的菌株 KJB9/2 组成，在芥蓝的生长和增产方面有很大潜力，单独添加该生物肥

料可以使芥蓝生长速度提高 4 倍，与天然矿物肥料结合使用，生长速度提高了 7 倍。Menéndez 等^[27]通过分析 24 株不同的中生根瘤菌 (*Mesorhizobium*) 产生吲哚乙酸、铁载体以及溶磷、溶钾情况，筛选出产生吲哚乙酸最高的两株接种于番茄幼苗，结果表明，接种的番茄幼苗植株生长性状显著高于未接种的番茄幼苗。可见微生物肥料的应用主要通过功能微生物活化土壤养分，提高蔬菜对土壤养分的利用效率、分泌次生代谢产物发挥植物生长增效剂的作用、合成植物生长素等方式促进蔬菜生长 (图 2)。

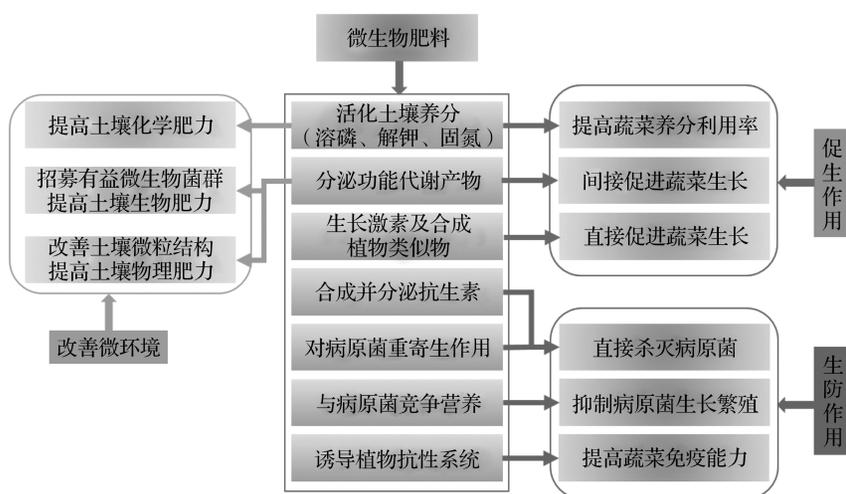


图 2 微生物肥料在蔬菜种植中的主要功效

植物对土传病原菌的抗性往往是由微生物群落驱动的，因为植物根际微生物群是植物的第二基因组^[28]，也是植物抵御土传病原菌的第一道防线^[29]。对于土壤中的病原微生物，一些特定微生物可能通过与病原菌竞争营养^[30]、产生抗生素^[31]、诱导植物系统抗性^[32]、产生分解酶^[33]等其中一种或多种机制来减少或防止植物病原微生物对植物的有害影响。微生物肥料可以防治尖孢镰刀菌引起的西红柿根腐病；还可以通过影响土壤微生物的多样性和功能，从而促进红椒的生长^[34]。微生物肥料还能防治根结线虫引起的病害^[35]。总之，微生物肥料的应用主要通过产生抗生素和重寄生等作用直接杀死病原微生物、通过营养竞争抑制有害微生物、诱导蔬菜抗性系统提高应对病害的免疫能力等方面发挥生防作用 (图 2)。

土壤微生物除了具有产生大量活性物质的能力外，有的还具有固氮、溶磷、解钾的能力，有的具有抑制植物根际病原菌的能力，有的则具有改善土

壤微生态环境的能力^[15]。研究还表明，微生物菌剂通过改善土壤 pH 值、有机质、有效钾、有效磷和碱解氮等土壤理化性状缓解了黄瓜的连作障碍，从而提高重茬黄瓜的产量^[36]。微生物肥料通过功能微生物的溶磷、解钾、固氮的作用提高了土壤养分的供给能力，微生物分泌物对土壤团聚体及微粒结构的改善有重要作用，从而对土壤化学肥力、生物肥力和物理肥力的恢复和维持发挥了重要的作用^[11] (图 2)。

4 微生物肥料在蔬菜生产中存在的问题及应用前景

4.1 微生物肥料在蔬菜生产中存在的问题

据统计，2019 年我国蔬菜种植面积已经达到 2230 万 hm^2 ，设施蔬菜 400 多万 hm^2 。长期使用农药化肥对作物和土壤带来的负面影响给予了微生物肥料发展的空间，微生物肥料在中国蔬菜种植上确实存在很大的应用前景和市场空间。随着我国微生

物肥料产业的稳定发展和生产规模的不断壮大,微生物肥料的应用逐渐推广开来。但是仍未像化肥农药那样普遍化、规模化和成熟化应用的原因主要有以下几点:(1)微生物肥料产品良莠不齐。影响微生物肥料质量的主要因素是优良菌种和生产工艺,因不同企业生产条件不同,工艺存在很大差异造成批次间产品质量差异很大,再加上小企业不重视菌种的筛选、保藏和复壮,造成优良菌种性能退化,导致微生物菌剂产品质量不稳定,影响规模化生产和应用推广。(2)微生物肥料功能较多。微生物菌剂具有修复土壤、改善土壤团粒结构、降解重金属和农药残留、缓解重茬、抑制土传病害、促进植物生长等作用。从应用和市场推广的角度来讲,功能大而全的产品是没有价值的,因为一旦微生物肥料的某个功能效果较差,该微生物肥料就会被全盘否定。(3)微生物肥料功能和实用技术未能被菜农准确掌握。微生物生长繁殖受到环境因素制约,并非快速见效,也不是一次使用就能长期见效;微生物肥料能减少化肥农药的用量,但并非完全替代化肥农药;微生物菌剂使用方式灵活多样,有拌种、沾根、喷施、灌根等,不同使用方式,微生物菌剂发挥的效果也不同,因此需要技术推广人员对微生物菌剂的功能和实用技术向菜农进行深入培训,避免菜农对微生物菌剂的理解偏差而影响微生物菌剂的推广应用。

4.2 微生物肥料在蔬菜种植应用中的展望

与化肥和农药相比,微生物肥料具有经济、环境友好等显著特点。微生物肥料施加到蔬菜土壤后,通过有效菌株的快速繁殖,一方面有利于土壤养分的周转,另一方面抑制土壤病原菌,为蔬菜生长营造适宜的土壤环境,并且在减少化肥和化学农药用量、降低污染、改善土壤理化性状、提高蔬菜生长和品质等方面具有积极的作用^[36-38]。大量的研究和生产实践表明,微生物肥料在蔬菜可持续发展体系中具有广阔的应用前景^[39]。

近年来微生物肥料在我国蔬菜种植上的研究和应用不断兴起,因微生物肥料受土壤环境和植物个体的影响,因此开发适合蔬菜种植的各类微生物肥料和促生、生防用微生物菌剂等是今后研究的重点。具体从以下几个方面开展:(1)因植物具有丰富的遗传多样性,虽然对一些植物功能微生物进行了筛选鉴定,应用于微生物肥料的开发应用,但是仍有大量的植物尚未涉及,因此对有效功能微生物

菌株的筛选、鉴定以及专用和通用性功能微生物肥料的开发仍是今后研究的重要内容;(2)微生物肥料中的功能微生物能否发挥作用,关键看是否在根际定殖以及与土壤微生物和养分周转的相互作用关系,是需要今后进行深入探讨的工作;(3)微生物菌剂对不同蔬菜种类的促生、生防机制及品种差异性阐述也是今后关注的重要研究内容;(4)由于目前对微生物肥料研究不足及存在的肥效等问题,使其不能完全取代化肥,但其自身存在的优点为化学肥料的减施提供了可能,在今后的研究中应得到重视。随着分子技术的发展和完善,高通量测序技术已经用于微生物菌剂的生产和质量监控,为微生物肥料规模化生产和推广提供技术支持。因此,微生物肥料在蔬菜生产中无论是应用还是理论研究,均有待进一步突破,以促进蔬菜产业的绿色高质量发展。

参考文献:

- [1] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. *Science*, 2010, 327: 1008-1010.
- [2] 文景芝, 李刚, 张齐凤, 等. 施肥对大棚黄瓜根际微生物群落结构和数量消长的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2007 (12): 11-14.
- [3] 田永强, 王敬国, 高丽红. 设施菜田土壤微生物学障碍研究进展 [J]. *中国蔬菜*, 2013 (20): 1-9.
- [4] 安亚虹, 周珩, 李婧, 等. 黄瓜防病促长型微生物制剂的筛选与利用 [J]. *中国蔬菜*, 2014 (2): 36-41.
- [5] 邱敬萍, 黄艳霞, 王超, 等. EG03 菌剂对辣椒青枯病的防治效果及对根围土壤微生物群落的影响 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25 (5): 1468-1474.
- [6] 陈文新, 汪恩涛. 中国根瘤菌 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [7] 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.
- [8] 祝英, 熊俊兰, Asfa B, 等. 丛枝菌根真菌与植物共生对植物水分关系的影响及机理 [J]. *生态学报*, 2015, 35 (8): 2419-2427.
- [9] 田稼, 路鹏鹏, 孙超, 等. 基于 Web of Science 数据库的微生物肥料研究发展趋势分析 [J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21 (3): 1-12.
- [10] 葛诚. 我国微生物肥料生产、应用的现状和产品质量监督 [J]. *中国科技产业*, 1994 (4): 47.
- [11] 李俊, 姜昕, 李力, 等. 微生物肥料的发展与土壤生物肥力的维持 [J]. *中国土壤与肥料*, 2006 (4): 1-5.
- [12] 陈振民. 微生物肥料工业化生产的质量规范 [Z]. 南京: 第四届中国微生物肥料技术研究与行业发展大会, 2020.

- [13] NY/T 1113-2006. 微生物肥料术语 [S].
- [14] NY 884-2012. 生物有机肥 [S].
- [15] 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望 [J]. 中国土壤与肥料, 2007 (6): 1-5.
- [16] GB 20287-2006. 农用微生物菌剂 [S].
- [17] NY/T 798-2015. 复合微生物肥料 [S].
- [18] 孟庆伟. 微生物肥料行业的瓶颈问题与创新方法 [Z]. 南京: 第四届中国微生物肥料技术研究与行业发展大会, 2020.
- [19] 唐小付, 龙明华, 于文进. 生物有机肥在蔬菜生产上的应用现状及展望 [J]. 广西热带农业, 2010 (3): 16-19.
- [20] 李俊, 沈德龙, 林先贵. 农业微生物研究与产业化进展 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [21] Paungfoo-Lonhienne C, Redding M, Pratt C, et al. Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 233: 337-341.
- [22] Yu L Y, Huang H B, Wang X H, et al. Novel phosphate-solubilising bacteria isolated from sewage sludge and the mechanism of phosphate solubilisation [J]. Science of the Total Environment, 2019, 658: 474-484.
- [23] Pramanik P, Goswami A J, Ghosh S, et al. An indigenous strain of potassium-solubilizing bacteria *Bacillus pseudomycoides* enhanced potassium uptake in tea plants by increasing potassium availability in the mica waste-treated soil of North-east India [J]. Journal of Applied Microbiology, 2019, 126 (1): 215-222.
- [24] Park Y G, Mun B G, Kang S M, et al. *Bacillus aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones [J]. Plos One, 2017, 12 (3): e0173203.
- [25] Hashem A, Tabassum B, Abd Allah E F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, 26 (6): 1291-1297.
- [26] Leaugvutiviroj C, Ruangphisarn P, Hansanimitkul P, et al. Development of a new biofertilizer with a high capacity for N₂ fixation, phosphate and potassium solubilization and auxin production [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2010, 74 (5): 1098-1101.
- [27] Menéndez E, Pérez-Yépez J, Hernández M, et al. Plant growth promotion abilities of *Phylogenetically Diverse Mesorhizobium* strains: Effect in the root colonization and development of tomato seedlings [J]. Microorganisms, 2020, 8 (3): 412.
- [28] Ren Y, Xun W, Yan H, et al. Functional compensation dominates plant rhizosphere microbiota assembly [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2020, 150: 107968.
- [29] Peter A H M B, Roeland L B, Johan A V P, et al. The soil-borne identity and microbiome-assisted agriculture: Looking back to the future [J]. Molecular Plant, 2020, 13 (10): 1394-1401.
- [30] Berendsen R L, van Verk M C, Stringlis I A, et al. Unearthing the genomes of plant-beneficial *Pseudomonas* model strains WCS358, WCS374 and WCS417 [J]. BMC Genomics, 2015, 16 (1): 1-23.
- [31] Cheffi M, Bouket A C, Alenezi F N, et al. *Olea europaea* L. root endophyte *Bacillus velezensis* OEE1 counteracts oomycete and fungal harmful pathogens and harbours a large repertoire of secreted and volatile metabolites and beneficial functional genes [J]. Microorganisms, 2019, 7 (9): 314.
- [32] Chen L, Heng J, Qin S, et al. A comprehensive understanding of the biocontrol potential of *Bacillus velezensis* LM2303 against *Fusarium* head blight [J]. Plos One, 2018, 13 (6): e0198560.
- [33] Kamil F H, Saeed E E, El-Tarabily K A, et al. Biological control of mango dieback disease caused by *Lasiodiplodia theobromae* using *Streptomyces* and non-streptomyces *Actinobacteria* in the united arab emirates [J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 829.
- [34] An C H, Lim J H, Kim Y H, et al. Effects on the soil microbial diversity and growth of red pepper by treated microbial agent in the red pepper field [J]. Korean Journal of Microbiology and Biotechnology, 2012, 40 (1): 30-38.
- [35] Liu J B, Sun J Z, Qiu J Y, et al. Integrated management of root-knot nematodes on tomato in glasshouse production using nematicides and a biocontrol agent and their effect on soil microbial communities [J]. Nematology, 2014, 16: 463-473.
- [36] 王涛, 辛世杰, 乔卫花, 等. 几种微生物菌肥对连作黄瓜生长及土壤理化性状的影响 [J]. 中国蔬菜, 2011 (18): 52-57.
- [37] Singh V, Mawar R, Lodha S. Combined effects of biocontrol agents and soil amendments on soil microbial populations, plant growth and incidence of charcoal rot of cowpea and wilt of cumin [J]. Phytopathologia Mediterranea, 2012, 51 (2): 307-316.
- [38] 袁红旗. 微生物菌剂在辣椒上的肥效试验 [J]. 现代农业, 2017 (2): 32-33.
- [39] Maniania N K, Takasu K. Development of microbial control agents at the international centre of insect physiology and ecology [J]. Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture Kyushu University, 2006, 29: 1-9.

The development status of microbial fertilizer in China and its application in vegetable planting

TONG Qian-qian^{1, 2, 3}, ZHU Ying^{1, 3*}, CUI De-ling⁴, ZHAO Yi¹, CHEN Yu-kun¹, WANG Zhi-ye¹, XIONG You-cai³ (1. Key Laboratory of Microbial Resources Exploitation and Application of Gansu Province, Institute of Biology, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000; 2. Xi'an Siyuan Middle School, Xi'an Shaanxi 710038; 3. State Key Laboratory Grassland Argo-Ecosystem, Institute of Arid Agroecology, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000; 4. Xiangcheng Agricultural Technology Extension Center of Henan Province, Xuchang Henan 461000)

Abstract: At present, the issue of “high-quality agricultural development” led by scientific and technological innovation has attracted much attention, and the microbial fertilizers have provided support for the high-quality agricultural development of the “five-section and one-cycle” technology. In particular, microbial fertilizers have played an important role in saving fertilizer, reducing pesticides and promoting growth in vegetable planting. This paper summarized the development process of microbial fertilizers in China, and the classification of microbial fertilizers and functional microorganism. The paper also analyzed the application status and main effects of microbial fertilizers in vegetable planting. Finally, the problems and application prospects of microbial fertilizers in vegetable planting was discussed. The review can provide a guide for vegetable planting high-quality development.

Key words: microbial fertilizer; vegetables; microbial inoculants; compound microbial fertilizers; microbial organic fertilizers