

浅析生物有机肥中功能微生物对食品 质量安全的影响

唐 静*, 马 云, 赵丽青, 李明哲, 李正义, 贾俊涛, 姜英辉, 王昌军

(山东出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 青岛 266002)

摘 要: 随着经济的快速发展和人们生活水平的不断提高, 食品安全问题越来越受到人们的关注。在现代农业生产中, 化学肥料的使用, 为保证粮食稳产、高产等做出了重要的贡献, 但粮食品质下降、生态污染、食品安全等一系列问题也随之显现。发展有机农业, 生产安全、健康的绿色食品成为我国乃至世界农业发展的趋势。作为一种新型肥料, 生物有机肥在粮食作物、经济作物、林业生产和园林绿化等领域均受到人们的重视。本文主要介绍了生物有机肥的功能微生物, 论述了生物有机肥检测方面的问题和对食品质量安全等的影响, 希望生物有机肥在减少化肥污染、改善生态环境、确保食品质量安全等方面发挥更好的作用。

关键词: 生物有机肥; 食品质量安全; 功能微生物; 检测

Analysis on the effect of functional microbes in bio-organic fertilizer on food quality and safety

TANG Jing*, MA Yun, ZHAO Li-Qing, LI Ming-Zhe, LI Zheng-Yi, JIA Jun-Tao,
JIANG Ying-Hui, WANG Chang-Jun

(Technical Center of Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266002, China)

ABSTRACT: With the rapid development of economy and the straight elevation of the people's living standard at present stage, the food safety problems have attracted more and more attention. In the modern agricultural production, the usage of chemical fertilizers makes an important contribution to ensure stable grain production and high yield. But the decline of food quality, ecological pollution, food safety and a series of problems also appears. As the development of organic agriculture, the production of safe and healthy green food is the trend of China and the world agricultural development. As a new type of fertilizer, bio-organic fertilizer in food crops, cash crops, forestry production and landscaping and other areas are subject to people's attention. In this paper, we mainly introduced the functional microorganisms of bio-organic fertilizer, discussed the problems of bio-organic fertilizer testing and the impact on food quality and safety. Bio-organic fertilizer will play a better role in reducing fertilizer pollution, improving ecological environment and ensuring food quality and safety.

KEY WORDS: bio-organic fertilizer; food quality and safety; functional microorganism; detection

基金项目: 国家质检总局科技计划项目(2016IK198)、山东检验检疫局科研项目(SK201705)

Fund: Supported by Science and Technology Plan Project of General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (2016IK198) and Science and Technology Plan Projects of Shandong Inspection and Quarantine Bureau (SK201705)

*通讯作者: 唐静, 高级工程师, 主要研究方向为食品微生物检测及分子生物学。E-mail: sigebaby@163.com

*Corresponding author: TANG Jing, Senior Engineer, Food and Agricultural Products Testing Agency, Technical Center of Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266002, China. E-mail: sigebaby@163.com

1 引言

随着经济的快速发展和人们生活水平的不断提高,人们对物质生活的要求也越来越高,食品安全问题受到人们的广泛关注。在现代农业生产中,化肥为保证粮食稳产、高产做出了重要的贡献,在农业生产中发挥着极其重要的作用,但大量使用化肥所带来的土壤劣化、粮食品质下降、自然水域污染及富营养化,尤其是食物农药残留等一系列恶果也随之显现,负效应不容乐观。随着社会的进步与发展,为保障粮食供应及农产品质量安全和良好的农业生产环境,发展有机(生态)农业,生产安全、营养的绿色食品成为我国乃至世界农业的发展趋势^[1,2]。寻找传统化学肥料的安全替代品成为目前研究的热点之一,农业的可持续发展和生态环境的保护,需要提倡使用有机肥和其他新型肥料^[3,4]。作为一种新型辅助肥料,生物有机肥在粮食作物、经济作物、果树、林业生产和园林绿化等领域都已受到人们的重视,并且在农业生产等方面取得了很好的经济效益和社会效益。

2 生物有机肥

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)为来源并经无害化处理、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效应的肥料^[5]。生物有机肥其本质特征是含有特定功能的、表现出一定的肥料效应的微生物,这些功能微生物的生命活动是生物有机肥优于其他肥料的关键因素^[6]。因此,生物有机肥产品质量的关键指标是产品的有效活菌数^[7-9],产品中功能微生物的种类和数量至关重要。随着生物有机肥的开发和应用,新技术、新产品的不断涌现,越来越多的微生物菌种被应用到生物有机肥中,满足现代农业发展和食品安全的要求。

3 生物有机肥中主要的功能微生物

3.1 芽胞杆菌类

在生物有机肥中广泛应用的芽胞杆菌菌种有很多,如:地衣芽胞杆菌(*Bacillus licheniformis*)、侧胞芽胞杆菌(*Bacillus laterosporus*)、枯草芽胞杆菌(*Bacillus subtilis*)、巨大芽胞杆菌(*Bacillus megatherium*)、胶质芽胞杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)等。

地衣芽胞杆菌具有杀虫、抗菌、生物降解等多种生物学活性,被认为是芽胞杆菌属中最具有生防应用价值的菌种之一。目前,地衣芽胞杆菌已在水稻、小麦、烟草等多种食品粮食作物和果蔬经济作物上应用并取得良好的病害防治效果。另外,地衣芽胞杆菌除了在植物上的抑菌活性

作用外,有研究表明地衣芽胞杆菌可能具有与固氮作用相关的功能^[10]。

侧胞芽胞杆菌广泛分布于自然界及某些动物体内,可促进植物根部有益菌大量生长,抑制病原菌繁殖,产生杀虫物质,促进植物根系生长,增强根系吸收能力,并能活化土壤养分,具有解磷、解钾、固氮等多种功能,从而提高作物产量,改善品质,是一种极为有效的微生物肥^[11,12]。

枯草芽胞杆菌是目前应用较多的一种生防细菌,可抑制多种植物病原菌,具有广谱抗菌活性和抗逆能力^[13],已广泛应用于微生物肥料和环境保护等领域。枯草芽胞杆菌 NCD-2 菌株对番茄灰霉病菌有抑制作用,同 NCD-2 野生型菌株相比, *fenC* 基因缺失突变子丧失了 fengycin 的合成能力,同时该突变子显著降低了对番茄灰霉病菌的拮抗性^[14]。周华飞等^[15]研究表明枯草芽胞杆菌对水稻细菌性条斑病菌有抑制作用。枯草芽胞杆菌有利于西芹黄萎病的生物防治^[16]。刘卹洲等^[17]研究表明,枯草芽胞杆菌 sf628 除了对梨轮纹病有较好的防治效果外,对梨炭疽病菌也具有较好的室内外防治效果。枯草芽胞杆菌 CGMCC 1.354 对柑橘炭疽病菌具有较强的抑制作用,其分泌的抑菌物质能抑制柑橘炭疽病菌菌丝生长和孢子萌发^[18]。

巨大芽胞杆菌也是一种被广泛应用在环境保护和抑制植物病原菌方面的微生物菌种,其能分泌大量有机酸、植酸酶、磷酸酶、核酸酶^[19],具有很好的分解土壤中难溶性无机磷和有机磷的功效,因此也被作为生产磷钾细菌肥料的常用菌种^[20]。解磷菌可以通过提高土壤有效磷含量而增加作物产量,目前已有许多解磷菌被分离并应用于农业生产中,巨大芽胞杆菌就是其中一类。广西大学农学院植物病理研究室从水稻上分离出一株巨大芽胞杆菌——B196 菌株,研究表明该菌株对水稻纹枯病菌和玉米小斑病菌具有较强的抑菌活性^[21]。罗欢等^[22]研究表明,在盐胁迫条件下,巨大芽胞杆菌 CJLC2 菌株可以提高番茄耐盐相关生理生化指标,增强番茄的耐盐能力并促进其生长。

胶质芽胞杆菌俗称硅酸盐细菌,是一种较为特殊的土壤芽胞杆菌,作为土壤中重要的功能菌,它能分解长石、云母等硅酸盐类的原生态矿物,使土壤中难溶性 K、P 等转变为可溶性以供植物生长利用,同时还可以产生多种生物活性物质促进植物生长^[23]。杨榕等^[24]研究表明胶质芽胞杆菌对印度芥菜根际土壤镉含量的净化有促进作用,并对土壤脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶及脱氢酶均有一定的积极作用。另有报道表明施入胶质芽胞杆菌菌剂对黑麦草根际土壤脲酶、磷酸酶及过氧化氢酶活性有一定的积极作用,并且对黑麦草株高、叶绿素含量和根系活力也具有一定的促进作用^[25,26]。

除了以上介绍的芽胞杆菌外,还有很多可以用于农

业生产的安全有效的生防芽胞菌, 如苏云金芽胞杆菌、解淀粉芽胞杆菌等。随着研究的深入, 芽胞杆菌将在生物有机肥的研制和施用中占据越来越重要的地位^[12]。芽胞杆菌是一类应用广泛、安全性高、抗逆性强、环境友好的细菌。施入土壤可以减少或者避免某些化学肥料的使用, 对环境保护, 提高农副产品的品质和食品安全有非常积极的作用。

3.2 固氮菌类

氮素是作物生长必需的大量营养元素, 但是化学氮肥使用量超过特定量时, 不仅会导致蔬菜、水果等产量和品质的降低, 还会在土壤产生其他有害物质, 并对环境产生不利影响。而生物固氮是最节能、环保、生态友好的氮素供应方式, 因此, 生物固氮研究对于农业生产和食品安全意义重大^[27]。虽然空气成分中约有 80% 的氮, 但一般植物无法直接利用, 花生、大豆、苜蓿等豆科植物, 通过与根瘤菌(*Rhizobium*)的共生固氮作用, 才可以把空气中的分子态氮转变为植物可以利用的氨态氮。根瘤菌是最常见的一种固氮菌类, 其与豆科植物的共生是生物固氮体系中作用最强的体系, 据估计所固定的氮约占生物固氮总量的 65%^[28]。但是具备固氮能力的菌并非只有根瘤菌, 在蒲强等的实验中, 从小麦、水稻、玉米、白菜和芹菜体内分离到的 92 株内生固氮菌, 分别属于 25 个属的 56 个种^[28]。因此, 对于固氮菌的分离、筛选和进一步的研究, 对后续安全、高效固氮菌肥的研制具有深远的意义。

固氮菌除了可以帮助生物固氮, 为植物生长提供必需的氮素外, 还可以提高植物的抗性, 增加对其他营养元素的吸收。在干旱胁迫条件下, 根瘤菌共生紫花苜蓿具有更强的渗透调节能力和活性氧防御能力, 提高紫花苜蓿的抗旱能力^[29]。桉树幼苗温室接种固氮菌后, 桉树苗木生长旺盛, 茎干较对照粗壮, 长势整齐, 固氮菌还可以提高桉树苗木对青枯病的抗性^[30]。固氮菌也可以分泌有机酸, 在活化土壤无效钾的过程中起重要作用。在土壤中接种自生固氮菌能显著降低土壤无效钾^[31]。

3.3 放线菌类

放线菌是一类重要的微生物资源, 其代谢产物已广泛应用于医学、农业和工业领域。在农药研究领域中, 放线菌所产生的抗生素已成为新农研发的主体之一^[32]。同时放线菌作为生防菌也可促进作物生长和产量提高^[33]。

何斐等^[34]研究表明放线菌 D74 对魔芋软腐病菌有较强抑制作用, D74 活菌制剂对魔芋有良好的防病促生效果, 对魔芋品质也有显著的改善作用。还有实验研究发现, 放线菌 11-3-1 菌株抑菌谱广, 对多种作物病原真菌有较强的抑制作用, 并可造成油菜菌核病菌基内菌丝肿胀、弯曲、细胞内物质外渗等现象, 在油菜菌核病的防治上具有较好的开发前景^[32]。生防放线菌 Act12 与腐植酸钾配施处理后

能明显促进丹参生长, 提高丹参产量及抗病虫能力, 调节丹参根域微生态平衡^[35]。陈淑琴等^[36]实验表明放线菌 DO1 对马铃薯干腐病菌、马铃薯黑痣病菌、马铃薯炭疽病菌和马铃薯早疫病病菌 4 种病原真菌均有抑菌作用。总之, 施用放线菌活菌制剂能调节植物根区微生态环境, 能显著减轻作物土传病害, 提高产量并改善品质^[34]。

3.4 光合细菌

光合细菌(photosynthetic bacteria, PSB)是地球上最早出现的一大类能以光作为能源, 以 CO₂ 和有机物作为光合作用碳源, 以有机物、氢气或硫化物为供氢体而营养繁殖的原核生物的总称, 广泛分布在海洋、河川、沼泽、土壤、极地、温泉和高盐水体等各种生境中^[37]。光合细菌在不同的自然条件下, 具有固氮、脱氢、固碳、氧化硫化物等多种功能, 在农、牧、渔、医和环境净化等方面有着重要的应用^[38]。

杨芳等^[39]研究表明施入高效光合细菌菌剂能够显著增加番茄株高、地径、植株鲜质量和干质量, 提高番茄抗坏血酸和番茄红素的含量; 高效光合细菌菌剂的施用能够有效调节土壤 pH, 使土壤 pH 趋于中性; 速效磷含量显著提高; 高效光合细菌菌剂的施用可以提高土壤基础呼吸强度, 显著提高土壤中细菌和放线菌的数量, 降低土壤中真菌数量。高效光合细菌菌剂可以作为一种环境友好肥料应用于作物生产和土壤培肥。罗源华等^[40]的研究表明, 光合细菌菌株 PSBCS、PSB06 和 PSB13-2-2 对辣椒疫病均具有一定的防治效果, 对辣椒疫病具有良好的应用潜力。光合细菌可促进小麦生长, 有效提高小麦生育过程中相关光合功能; 施用时期应为小麦拔节期和灌浆期; 光合细菌对小麦生长和产量促进作用是静息细胞和代谢活性物质综合作用的结果^[41]。白红娟等^[42]试验表明, 光合细菌能明显降低蔬菜对土壤 Pb、Cd 及呋喃丹吸收能力, 有效地保证瓜类蔬菜食品安全性。光合细菌具有较强的固氮能力, 用其制成光合菌肥, 对植物来说, 可增殖有益共生菌, 有效改善植物营养、增加土壤肥力、降解土壤农药残留和抑制病原微生物生长等, 是一种很有发展潜力的生物菌肥^[43]。

3.5 其他功能微生物在生物有机肥中的应用

除了以上介绍的功能微生物外, 还有很多其他的微生物也是生物有机肥中重要的功能菌, 例如: 假单胞菌、苏云金芽胞杆菌、溶磷菌等。功能微生物如此众多, 且各有特点, 因此在利用时, 除一种微生物单独使用外, 往往会采用 2 种或 2 种以上微生物混用的方式, 来增加功能微生物的作用效果。比如慢生大豆根瘤菌和胶质类芽胞杆菌双接种可以促进大豆生长, 显著增加大豆的单株分枝数、单株粒数、收获指数和占瘤率, 降低单株空荚数, 增加大豆产量, 同时可显著提高相关土壤酶活性, 是一种节本增效的农艺措施^[44]。另外, 很多市售生物有机肥在外包装的

产品介绍中,会直接标注产品内含复合微生物。为了提高产品质量,达到更好的施用效果,越来越多的生物有机肥不再使用单一的微生物菌种,而是不同功能微生物配比使用。

4 生物有机肥中微生物的检测及其存在的问题

按照 NY 884-2012《生物有机肥》^[5]的要求,生物有机肥产品的各项技术指标应符合表1的要求。其中对生物有机肥中微生物的要求并不多,只有有效活菌数和粪大肠菌群数的要求(见表1),但是有效活菌数是评价生物有机肥产品质量的至关重要的指标,所以在实际检测工作中受到广泛的重视。

表1 生物有机肥产品技术指标要求
Table 1 Technical requirements for bio-organic fertilizer products

项目	技术指标
有效活菌数(CFU, 亿/g)	≥0.20
有机质(以干基计, %)	≥40.0
水分(%)	≤30.0
pH	5.5~8.5
粪大肠菌群数(个/g)	≤100
蛔虫卵死亡率(%)	≥95
有效期(月)	≥6

NY884-2012 中有效活菌数的具体测定方法按照 NY/T2321-2013《微生物肥料产品检验规程》^[45]的规定执行。根据该标准对样品的要求,需要明确了解待检样品的菌种名称(拉丁文学名),并根据有效菌的种类选用适宜的培养基进行测定。有效活菌数的具体检测方法十分简单,根据样品中有效菌的种类及其特性,选用平板计数法或最可能数(most probable number, MPN)法。无论是平板计数法还是 MPN 法都是常规、简便的微生物计数方法,所以生物有机肥中功能微生物有效活菌数检测的问题关键就是知道目标微生物的种类,而这是检测人员不能自己获得的,只能依赖产品外包装或者厂家提供的产品信息。可是在实际检验操作过程中发现,很多市售成品生物有机肥,并未明确标出产品中含有哪些功能微生物,或者只标明其中一部分,比如:有的产品说明不涉及任何微生物菌种的介绍,有的则只说生物菌为复合微生物菌:胶质、巨大、枯草等。并且这样的问题并不少见,所以在对产品内含功能微生物没有准确、全面了解的情况下,想要严格按照标准的要求进行测定,并得到准确、可靠的有效活菌数是比较困难的。这也是目前对有效活菌数的日常检测工作中最难解决的问题。今后希望能够通过对检测标准的完善,和相关监管部门对生物有机肥外包装要求的规范来解决这一问题。

5 生物有机肥的使用与食品安全

在我国的农业生产过程中,为了追求产量和效益的最大化,导致了化肥用量的迅速增加。随之而来的是食物农药残留和环境污染等一系列的问题。比如单纯的使用尿素等氮肥,由于挥发、淋失、反硝化、径流等原因,氮素的利用率大大减少,只有达到 30%~50%,而且会造成土壤、地下水的污染。采用生物有机肥可提高氮素的植物利用率,与单独使用无机肥相比,生物有机肥不会因施入土壤中产生有污染的不溶性化合物,其中有机酸可与钙、镁、铁、铝等金属元素形成稳定的络合物,从而减少磷的固定和铁、铝的毒害,明显提高磷的利用率^[46]。这不仅有利于生态环境的保护,还可以减少农产品中的重金属污染、提高产品的质量。有研究表明,接种侧胞短芽胞杆菌后,水稻苗期根际 As(III)污染物被快速氧化为 As(V),能显著降低 As(III)对苗期水稻生长的毒害性^[47]。

施用生物有机肥可以提高化肥的肥效,如过磷酸钙等容易被土壤固定而失效,与生物有机肥混合后,可以减少养分的固定;长期施用化肥,只能给作物提供一种或几种养分,作物会产生缺素症状,生物有机肥养分全面,肥效长,含有大量的有益微生物和有机质,增强土壤中酶活性,有利于养分转化^[47]。接种胶质类芽胞杆菌 3016 配施 50%的常规施肥量,不仅能达到花生高产的目的,而且改善了土壤的生物学性状,土壤菌群结构得以改善^[48]。Shen 等^[49]的研究表明生物有机肥应用于香蕉果园可以减少土壤镰刀菌的数量,并有效控制土传植物病害。

最重要的是生物有机肥还可以减少化肥可能产生的毒副作用,有利于降低由于施用化肥导致的农作物食品安全问题。氯嘧磺隆是一种超高效的磺酰脲类除草剂,广泛用于防除大豆田的阔叶杂草以及莎草科和禾本科杂草,氯嘧磺隆除草剂在田间残留时间长,对后茬敏感作物的伤害极大^[50]。包磊等^[51]研究表明,巨大芽胞杆菌 E-1 菌株可降解土壤中氯嘧磺隆的残留并且降解效果跟其施加浓度有关。地衣芽胞杆菌能够分泌多种蛋白类抗菌物质(几丁质酶、抗菌蛋白、多肽类),因此可有效抑制一些植物病原菌的生长^[52],从而减少农药的施用。地衣芽胞杆菌的一种专利产品能够有效抑制香蕉枯萎病菌的生长,环境安全性好,具有良好的开发前景^[53]。张楹等^[54]分离得到一株侧胞芽胞杆菌 YMF3.100003,该菌株能产生一种胞外酶,对 2 种危害严重的土传病原真菌尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)和立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)菌丝的生长具有强烈的抑制作用,配合传统化肥施用,能减少农药的用量,进而减少作物的农药残留。

在农业生产方面,生物有机肥的施用可以改善品质、提高产量,可以治理和避免环境污染问题,对于满足有机食品、绿色食品、优质农产品生产需求等起着非常重要的

作用。但是由于产品本身的质量问题, 在施用过程中还有一些问题需要引起重视。比如腐熟不彻底的产品, 可能含有某些致病菌, 对人体健康和自然环境造成污染^[55,56]。还有一些产品因为制作原料的原因, 存在重金属超标的情况, 这种产品施用后不单对土壤环境有影响, 重金属被植物吸收后, 植物产品对人体的影响就更具危害性^[57]。值得关注的还有芽胞杆菌, 在生物有机肥中应用最多的芽胞杆菌类微生物很多都是条件致病菌, 有些会携带溶血素基因, 存在潜在的危害^[58]。综上所述, 生物有机肥对我国农业的持续发展和提升食品安全是有益的, 但是在具体应用时一定要注意产品的选择, 必须在确保产品质量的前提下选择有效的肥料。

6 展 望

目前, 生物有机肥在绿色农产品生产基地、生态示范区等方面得到了广泛的应用, 取得了较好的应用效果。生物有机肥是绿色生态农业发展的基础之一, 对保障粮食食品的质量安全起到重要的作用。生物有机肥的开发应用不仅能为保障食品质量安全创造条件, 还具有提高经济效益、生态效益和社会效益的作用, 是实现农业可持续发展的有力保障。未来, 随着新型生物有机肥的研发, 更多优质的生物有机肥将更好的服务于农业生产和生活。另外, 希望生物有机肥的产品质量能够得到更加严格的把控, 生物有机肥在保障食品质量安全方面的发展前景会更加广阔。

参考文献

- [1] 殷博, 何鑫, 曹亚彬. 黑龙江省微生物肥料现状与问题[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2011, 21(1): 49-51, 68.
Yin B, He X, Cao YB. The present status and problems of microbial fertilizer in Heilongjiang province [J]. J Environ Manag Coll China, 2011, 21(1): 49-51, 68.
- [2] 陶树兴, 房薇. 8 种肥料微生物对化肥和农药的敏感性[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(1): 80-84.
Tao SX, Fang W. Sensitivity of 8 manure bacteria to chemical fertilizer and common pesticide [J]. J Zhejiang Forest Coll, 2006, 23(1): 80-84.
- [3] 葛诚. 微生物肥料研究、生产和应用的几个问题[J]. 微生物学通报, 1995, 22(6): 27-32.
Ge C. Several problems of research, production and application of microbial fertilizer [J]. Microbiol China, 1995, 22(6): 27-32.
- [4] 章家恩, 刘文高. 微生物资源的开发利用与农业可持续发展[J]. 土壤与环境, 2001, 10(2): 154-157.
Zhang JE, Liu WG. Utilization of microbes resources and sustainable development of agriculture [J]. Soil Environ Sci, 2001, 10(2): 154-157.
- [5] NY 884-2012 生物有机肥[S].
NY 884-2012 Microbial organic fertilizers [S].
- [6] 李庆康, 张永春, 杨其飞, 等. 生物有机肥肥效机理及应用前景展望[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 78-80.
Li QK, Zhang YC, Yang QF, et al. The concept, mechanism, affecting factors and prospect of applying bio-organic fertilizer [J]. Chin J Eco-Agric, 2003, 11(2): 78-80.
- [7] 欧亚玲, 陈强, 邹宇, 等. 鸡粪高温发酵除臭细菌的筛选及效果[J]. 武汉大学学报(理学版), 2008, 54(2): 234-238.
Ou YL, Chen Q, Zou Y, et al. Screening thermophilic deodorizing bacteria and their deodorizing effects on the chicken manure [J]. J. Wuhan Univ(Nat Sci Ed), 2008, 54(2): 234-238.
- [8] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用[J]. 环境科学, 2001, 22(5): 142-146.
Xi BD, Liu HL, Meng W, et al. Composting process of municipal solid waste with high effective complex microbiol community [J]. Environ Sci, 2001, 22(5): 142-146.
- [9] 殷培杰, 孙军德, 石星群, 等. 微生物菌剂在鸡粪有机肥料堆制发酵中的作用[J]. 微生物学杂志, 2004, 24(6): 43-46.
Yin PJ, Sun JD, Shi XQ, et al. Application of microbial preparation on compost of chicken droppings [J]. J Microbiol, 2004, 24(6): 43-46.
- [10] 杨阳, 张付云, 苍桂璐, 等. 地衣芽胞杆菌生物活性物质应用研究进展[J]. 生物技术进展, 2013, 3(1): 22-26.
Yang Y, Zhang FY, Cang GL, et al. Research advances in the application of bioactive substances produced by *Bacillus licheniformis* [J]. Curr Biotechnol, 2013, 3(1): 22-26.
- [11] 夏帆. 侧孢芽胞杆菌发酵工艺的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2007, 2: 68-70.
Xia F. Deep ferment technique of *Bacillus lateraporus* [J]. Soil Fertilizer Sci China, 2007, 2: 68-70.
- [12] 陈谦, 张新雄, 赵海, 等. 生物有机肥中几种功能微生物的研究及应用概况[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(2): 294-300.
Chen Q, Zhang XX, Zhao H, et al. Advance in research and application of some functional microbes in bio-organic fertilizer [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2010, 16(2): 294-300.
- [13] 黄海婵, 裘娟萍. 枯草芽胞杆菌防治植物病害的研究进展[J]. 浙江农业科学, 2005, 3: 213-215.
Huang HC, Qiu JP. Research progress on plant disease prevention by *Bacillus subtilis* [J]. J Agric Sci, 2005, 3: 213-215.
- [14] 董伟欣, 李宝庆, 李社增, 等. 脂肽类抗生素 fengycin 在枯草芽胞杆菌 NCD-2 菌株抑制番茄灰霉病菌中的功能分析[J]. 植物病理学报, 2013, 43(4): 401-410.
Dong WX, Li BQ, Li SZ, et al. The fengycin lipopeptides are major components in *Bacillus subtilis* strain NCD-2 against the growth of *Botrytis cinerea* [J]. Acta Phytopathol Sin, 2013, 43(4): 401-410.
- [15] 周华飞, 罗楚平, 王晓宇, 等. 枯草芽胞杆菌 Bs916 突变体库的构建和抑制水稻细菌性条斑病菌相关基因的克隆[J]. 中国农业科学, 2013, 46(11): 2232-2239.
Zhou HF, Luo CP, Wang XY, et al. Construction of *Bacillus subtilis* Bs916 mutant libraries by transposon tagging and cloning the genes to the organism's anti-bacterial activities [J]. Sci Agric Sin, 2013, 46(11): 2232-2239.
- [16] 陈燕红, 黎永坚, 喻国辉, 等. 绿色荧光蛋白标记的枯草芽胞杆菌 R31 在西芹根际定殖研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(9): 237-241.
Chen YH, Li YJ, Yu GH, et al. Colonization of green fluorescent protein gene tagged *Bacillus subtilis* R31 in celery rhizosphere [J]. Chin Agric Sci Bull, 2014, 30(9): 237-241.
- [17] 刘邮洲, 陈志谊, 刘永锋, 等. 枯草芽胞杆菌 sf 628 对梨炭疽病的控制

- 作用[J]. 植物保护学报, 2012, 39(6): 492-496.
- Liu YZ, Chen ZY, Liu YF, *et al.* Control efficacy of *Bacillus subtilis* sf628 on pear anthracnose [J]. Acta Phytophyl Sin, 2012, 39(6): 492-496.
- [18] 邹娟, 姚卓, 尚永华. 柑橘炭疽病菌的生物学特性及枯草芽孢杆菌对其的抑制作用[J]. 植物保护学报, 2016, 42(1): 61-67.
- Zou J, Yao Z, Shang YH. Biological characteristics of citrus pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* and the inhibitory effect of *Bacillus subtilis* on the fungus [J]. Plant Prot, 2016, 42(1): 61-67.
- [19] 钟传青, 黄为一. 不同种类解磷微生物的溶磷效果及其磷酸酶活性的变化[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 286-294.
- Zhong CQ, Huang WY. Comparison in P-solubilizing effects between different P-solubilizing microbes and variation of activities of their phosphatases [J]. Acta Pedol Sin, 2005, 42(2): 286-294.
- [20] 刘清术, 郭照辉, 刘前刚, 等. 响应面法优化巨大芽孢杆菌发酵培养基[J]. 中国农学通报, 2013, 29(18): 142-146.
- Liu QS, Guo ZH, Liu QG, *et al.* Optimization of medium for *Bacillus megaterium* fermentation by response-surface methodology [J]. Chin Agric Sci Bull, 2013, 29(18): 142-146.
- [21] 廖庭, 秦健, 袁高庆, 等. 巨大芽孢杆菌 B196 菌株抑菌物质的分离纯化[J]. 植物保护学报, 2014, 40(2): 16-21.
- Liao T, Qin J, Yuan GQ, *et al.* Isolation and purification of an antimicrobial substance produced by *Bacillus megaterium* strain B196 [J]. Plant Prot, 2014, 40(2): 16-21.
- [22] 罗欢, 伍辉军, 谢永丽, 等. 巨大芽孢杆菌 CJLC2 菌株对盐胁迫下番茄生长及耐盐生理生化指标的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(50): 431-436.
- Luo H, Wu HJ, Xie YL, *et al.* Effects of *Bacillus megaterium* CJLC2 on the growth and the salt-tolerance related physiological and biochemical characters of tomato under salt stress [J]. Acta Phytophyl Sin, 2013, 40(50): 431-436.
- [23] 葛诚, 等. 微生物肥料生产应用基础[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- Ge C, *et al.* Application basis of microbial fertilizer production[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [24] 杨榕, 李博文, 刘微, 等. 胶质芽孢杆菌对印度芥菜根际土壤镉含量及土壤酶活性影响[J]. 环境科学, 2013, 34(6): 2436-2441.
- Yang R, Li BW, Liu W, *et al.* Effects of *Bacillus mucilaginosus* on the Cd content of rhizosphere soil and enzymes in soil of *Brassica juncea* [J]. Environ Sci, 2013, 34(6): 2436-2441.
- [25] 赵艳, 张晓波. 施用胶质芽孢杆菌菌剂对黑麦草根际土壤脲酶、磷酸酶及过氧化氢酶活性的影响[J]. 微生物学杂志, 2011, 31(6): 49-52.
- Zhao Y, Zhang XB. Effects of *Bacillus mucilaginosus* agents on the activities of urease phosphatase and catalase in ryegrass rhizosphere soil [J]. J Microbiol, 2011, 31(6): 49-52.
- [26] 赵艳, 张晓波. 胶质芽孢杆菌对黑麦草生长特性的影响[J]. 微生物学杂志, 2012, 32(3): 21-24.
- Zhao Y, Zhang XB. Effects of *Bacillus mucilaginosus* on the growth characteristic of ryegrass [J]. J Microbiol, 2012, 32(3): 21-24.
- [27] 孙建光, 罗琼, 高森, 等. 小麦、水稻、玉米、白菜、芹菜内生固氮菌及其系统发育[J]. 中国农业科学, 2012, 45(7): 1303-1317.
- Sun JG, Luo Q, Gao M, *et al.* Isolation and phylogeny of nitrogen-fixing endophytic bacteria in wheat, rice, maize, Chinese cabbage and celery [J]. Sci Agric Sin, 2012, 45(7): 1303-1317.
- [28] 蒲强, 谭志远, 彭桂香, 等. 根瘤菌分类的新进展[J]. 微生物学通报, 2016, 43(3): 619-633.
- Pu Q, Tan ZY, Peng GX, *et al.* Advances in rhizobia taxonomy [J]. MicrobiolChina, 2016, 43(3): 619-633.
- [29] 张攀, 杨培志, 王卫栋, 等. 干旱胁迫下根瘤菌共生紫花苜蓿抗旱生理变化研究[J]. 草地学报, 2013, 21(5): 938-944.
- Zhang P, Yang PZ, Wang WD, *et al.* Study on physiological change of alfalfa with symbiotic rhizobium under drought stress [J]. Acta Agrest Sin, 2013, 21(5): 938-944.
- [30] 马海宾, 康丽华, 江业根, 等. 联合固氮菌对桉树青枯病菌的抑制作用研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(4): 473-476.
- Ma HB, Kang LH, Jiang YG, *et al.* Inhibiting effect of associative nitrogen-fixation bacteria on bacteria wilt disease of eucalyptus [J]. Forest Res, 2007, 20(4): 473-476.
- [31] 张亮, 袁玲, 黄建国. 自生固氮菌对土壤钾的活化作用[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 399-405.
- Zhang L, Yuan L, Huang JG. Mobilization of potassium in soils by azotobacter [J]. ActaPedolSin, 2015, 52(2): 399-405.
- [32] 韩立荣, 张华姣, 高保卫, 等. 放线菌 11-3-1 对油菜菌核病的防治作用与菌株鉴定[J]. 植物保护学报, 2012, 39(2): 97-102.
- Han LR, Zhang HJ, Gao BW, *et al.* Antifungal activity against rapeseed *Sclerotinia stem* rot and identification of actinomycete strain 11-3-1 [J]. Acta Phytophyl Sin, 2012, 39(2): 97-102.
- [33] Berg G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2009, 84: 11-18.
- [34] 何斐, 张忠良, 崔鸣, 等. 放线菌'D74'对魔芋的防病促生作用[J]. 园艺学报, 2015, 42(2): 367-376.
- He F, Zhang ZL, Cui M, *et al.* Disease prevention and growth promotion effects of actinomycete strain D74 on amorphophallus konjac [J]. Acta Horticult Sin, 2015, 42(2): 367-376.
- [35] 段佳丽, 薛泉宏, 舒志明, 等. 放线菌 Act12 与腐植酸钾配施对丹参生长及其根域微生态的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1807-1819.
- Duan JL, Xue QH, Shu ZM, *et al.* Effects of combined application of actinomycetes Act12 bio-control agents and potassium humate on growth and microbial flora in rooting zone of *Salvia miltiorrhiza* bge [J]. Acta Ecol Sin, 2015, 35(6): 1807-1819.
- [36] 陈淑琴, 王生荣. 放线菌 DO1 对马铃薯 4 种病原真菌的抑菌作用[J]. 草业科学, 2014, 23(5): 365-369.
- Chen SQ, Wang SR. Antagonistic effect of actinomycetes D01 against four strains potato pathogens [J]. Acta Pratacult Sin, 2014, 23(5): 365-369.
- [37] 关大伟, 李俊, 沈德龙, 等. 光合细菌 PCR 检测技术的建立与应用[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(5): 699-704.
- Guan DW, Li J, Shen DL, *et al.* Identification and quantification of photosynthetic bacteria by PCR method [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2008, 14(5): 699-704.
- [38] 王敬敬, 李新宇, 徐明凯, 等. 保护性耕作对土壤光合细菌和 II 型甲烷氧化菌的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2289-2298.
- Wang JJ, Li XY, Xu MK, *et al.* Effects of conservation tillage on soil photosynthetic bacteria and type II methanotrophs [J]. Chin JEcol, 2012, 31(9): 2289-2298.
- [39] 杨芳, 田俊岭, 杨盼盼, 等. 高效光合细菌菌剂对番茄品质、土壤肥力及微生物特性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(1): 49-54.

- Yang F, Tian JL, Yang PP, *et al.* Effects of inoculant of photosynthetic bacteria on tomato quality, soil fertility and soil microbial characteristics [J]. *J South China Agric Univ*, 2014, 35(1): 49–54.
- [40] 罗源华, 陈冰, 张卓, 等. 光合细菌对辣椒疫病的田间防治试验[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(10): 1658–1661.
- Luo YH, Chen B, Zhang Z, *et al.* Field efficiency of photosynthetic bacteria against pepper phytophthora blight [J]. *J Southern Agric*, 2013, 44(10): 1658–1661.
- [41] 高伟, 杨三维, 李世平, 等. 光合细菌对小麦生长和光合功能的影响[J]. *微生物学通报*, 2014, 41(6): 1152–1159.
- Gao W, Yang SW, Li SP, *et al.* Effects of photosynthetic bacteria on growth and photosynthetic function in wheat [J]. *Microbiol China*, 2014, 41(6): 1152–1159.
- [42] 白红娟, 肖根林, 贾万利. 光合细菌减少蔬菜中 Pb、Cd 及呋喃丹污染的研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2013, 2: 94–99.
- Bai HJ, Xiao GL, Jia WL. Study on decreasing of lead, cadmium and carbofuran in vegetables using photosynthetic bacteria [J]. *Soils Fertilizers Sci China*, 2013, 2: 94–99.
- [43] 王馥迪, 李征, 黄秋生, 等. 光合细菌在植物上的应用现状及展望[J]. *广东蚕业*, 2012, 46(2): 36–38.
- Wang FD, Li Z, Huang QS, *et al.* Application status and prospect of photosynthetic bacteria in plants [J]. *Guangdong Sericult*, 2012, 46(2): 36–38.
- [44] 刘丽, 马鸣超, 姜昕, 等. 根瘤菌与促生菌双接种对大豆生长和土壤酶活的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(3): 644–654.
- Liu L, Ma MC, Jiang X, *et al.* Effect of rhizobia and PGPR co-inoculant on soybean characteristics and soil enzyme activities [J]. *J Plant Nutr Fertilizer*, 2015, 21(3): 644–654.
- [45] NY/T 2321-2013 微生物肥料产品检验规程[S].
- NY/T 2321-2013 Code of practice for inspection of microbial fertilizers [S].
- [46] 张雪峰, 胡滨. 生物有机肥对生态农业发展的影响[J]. *绿色科技*, 2011, 4: 50–52.
- Zhang XF, Hu B. The effects of bio-organic fertilizer on the development of ecological agriculture [J]. *J Green Sci Technol*, 2011, 4: 50–52.
- [47] 杨孝军, 黄怡, 邱宗清, 等. 农田高效硝化侧胞短芽胞杆菌的分离、鉴定及其对水稻砷毒害的修复作用[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2014, 43(2): 172–177.
- Yang XJ, Huang Y, Qiu ZQ, *et al.* Isolation and characterization of *Brevibacillus laterosporus* from the paddy soil and its renovation for paddy rice seedling stressed by arsenite [J]. *J Fujian Agric Forest Univ (Nat Sci Ed)*, 2014, 43(2): 172–177.
- [48] 常文智, 马鸣超, 陈慧君, 等. 胶质类芽胞杆菌对花生生长和土壤微生物学性状的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2014, 20(2): 185–191.
- Chang WZ, Ma MC, Chen HJ, *et al.* Effects of *Paenibacillus mucilaginosus* on peanut growth and soil microbiological characteristics [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2014, 20(2): 185–191.
- [49] Shen ZZ, Wang DS, Ruan YZ, *et al.* Deep 16S rRNA pyrosequencing reveals a bacterial community associated with banana *Fusarium* wilt disease suppression induced by Bio-organic fertilizer application [J]. *PLoS One*, 2014, 9(5): e98420–e98429.
- [50] 苏少泉, 徐其忠, 刘金玉. 豆磺隆使用技术的若干问题[J]. *农药科学与管理*, 1995, 53(1): 22–23.
- Su SQ, Xu QZ, Liu QY. Some problems in the technology of sorbaric [J]. *Pest Sci Admin*, 1995, 53(1): 22–23.
- [51] 包磊, 谢明, 张艳军, 等. 巨大芽胞杆菌 E-1 菌株对土壤氯磺隆残留的降解效果[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(5): 672–675.
- Bao L, Xie M, Zhang YJ, *et al.* Degradation of chlorimuron-ethyl in soil by *Bacillus megaterium* E-1 [J]. *Chin J Biol Control*, 2016, 32(5): 672–675.
- [52] 唐丽娟, 纪兆林, 徐敬友, 等. 地衣芽孢杆菌 W10 对灰葡萄孢的抑制作用及其抗菌物质[J]. *中国生物防治*, 2005, 21(3): 203–205.
- Tang LJ, Ji ZL, Xu JY, *et al.* Mechanisms of action to *Botrytis cinerea* and antimicrobial substance of *Bacillus licheniformis* W10 [J]. *Chin J Biol Control*, 2005, 21(3): 203–205.
- [53] 王振中, 孙正祥, 纪春艳. 一种地衣芽孢杆菌 202 及其应用, 中国: CN101440356 [P]. 2009-05-27.
- Wang ZZ, Sun ZX, Ji CY. A *Bacillus licheniformis* 202 and its application, China: CN101440356 [P]. 2009-05-27.
- [54] 张楹. 侧胞芽孢杆菌产生的抑真菌蛋白酶[J]. *中国生物防治*, 2006, 22(2): 146–149.
- Zhang Y. The antifungal protease from *Brevibacillus laterosporus* [J]. *Chin J Biol Control*, 2006, 22(2): 146–149.
- [55] Yang QX, Wang RF, Ren SW, *et al.* Practical survey on antibiotic-resistant bacterial communities in livestock manure and manure amended soil [J]. *J Environ Sci Heal B*, 2016, 51(1): 14–23.
- [56] Song XC, Liu MQ, Wu D, *et al.* Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues [J]. *Waste Manag*, 2014, 34(11): 1977–1983.
- [57] Ahmad K, Shaheen M, Khan ZI, *et al.* Heavy metals contamination of soil and fodder: A possible risk to livestock [J]. *Sci Technol Dev*, 2013, 32(2): 140–148.
- [58] Algburi A, Volski A, Cugini C, *et al.* Safety properties and probiotic potential of *Bacillus subtilis* KATMIRA1933 and *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895 [J]. *Adv Microbiol*, 2016, 6: 432–452.

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



唐 静, 高级工程师, 主要研究方向为食品微生物检测及分子生物学。
E-mail: sigebaby@163.com