

微生物菌肥对盐渍土壤微生物区系和食葵产量的影响

王 婧¹, 逢焕成^{1*}, 李玉义¹, 赵永敢¹, 张建丽²

(1.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2.北京理工大学生命学院, 北京 100081)

摘 要:在内蒙古五原县,以食葵 LD5009 为供试作物,通过大田试验,研究了不同微生物菌肥产品(包括丹路牌微生物菌肥和丹路牌微生物菌剂)对盐渍土壤微生物、土壤含盐量及食葵产量的影响。结果表明:(1)施用不同产品可降低 0~40 cm 土层盐分含量;(2)施用不同产品可改善土壤微生态系统,促进土壤微生物繁殖,提高细菌和放线菌的数目,并提高细菌优势菌多样性,且不同产品处理均广泛分布有芽孢杆菌属和假单胞菌属细菌;(3)施用不同产品可极显著提高食葵产量,产量表现为菌剂与无机肥配施>单施菌肥>单施无机肥,菌剂配施化肥处理增产可达 107.62%;(4)单施菌肥对土壤微生态系统的作用效果较优,但其增产、抑盐效果均不如菌剂配施无机肥处理,不能完全代替化肥产品。

关键词:微生物菌肥;盐渍土;微生物;产量;含盐量

中图分类号:S144 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)11-2186-06

Effects of Microbial Fertilizer on Soil Microflora and Sunflower Yield in Saline Soil

WANG Jing¹, PANG Huan-cheng^{1*}, LI Yu-yi¹, ZHAO Yong-gan¹, ZHANG Jian-li²

(1.Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China; 2.School of Life Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to study the effects of different microbial fertilizers on the soil microorganism and sunflower yield, field experiments were conducted in saline soil on Wuyuan country in Inner Mongolia using sunflower LD5009 as the tested material. The results showed that the soil salinity content of 0~40 cm layer dramatically decreased by applying the microbial fertilizer. In addition, applying microbial fertilizer improved the soil physiochemical properties, and significantly increased the amount of bacteria and actinomycetes. Diversity of predominant bacteria indicated that the *Bacillus* and *Pseudomonas* existed widely on the different microbial fertilizer treatments. Meanwhile, utilizing the microbial fertilizer increased the sunflower yield. As a result, the bacterial inoculants with chemical fertilizer treatment produced a maximum yield, followed by microorganism fertilizer only and chemical fertilizer only treatment, and the yield of bacterial inoculants with chemical fertilizer treatment increased by 107.62% compared to the chemical fertilizer only. Applying inoculating microbial fertilizer could maintain the balance of micro-ecological system, but it was insufficient on reducing soil salinity content and increasing the yield. Consequently, it could not replace the role of chemical fertilizer completely on farming.

Keywords: microorganism fertilization; saline soil; microorganism; yield; salinity content

盐渍土是我国重要的耕地后备资源,长期以来,盐渍土的改良主要采用灌溉淋洗、覆盖物控盐、施用化学改良剂等措施^[1-3]。随着对生态效益的重视,生物改良措施已成为研究的热点,微生物菌肥在盐碱地改

良中作用的研究得到不断加强^[4]。微生物菌肥含有有益微生物菌群、活性物质、有机质及多种微量元素,可制造和协助作物吸收营养,提高植物抗性,增加产量,提高质量^[5]。严慧峻等^[6],刘继芳等^[7]认为施用微生物制品可增加土壤细菌数量、降低土壤含盐量。逢焕成等^[8]认为,施微生物菌剂利于土壤钾细菌、枯草芽孢杆菌的生长繁殖,可降低土壤盐分含量,促进玉米生长。于占东等^[9]认为,施生物菌剂可降低设施土壤全盐量,改善微生物区系。总体来看,微生物菌肥产品在盐渍土

收稿日期:2012-03-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(200903001);国家自然科学基金资助项目(31070002,30970009,31000692)

作者简介:王 婧(1981—),女,山东临沂人,博士,研究方向为盐碱地资源利用。E-mail:ailsa_wangjing@126.com

* 通信作者:逢焕成 E-mail:hepang@caas.ac.cn

改良中表现出了较好的效果。

土壤微生物是评价土壤健康和质量的重要指标。菌肥中的有益菌与土壤土著微生物一起参与了土壤中几乎全部的物质循环和能量代谢。本研究选择符合生产要求的两种微生物菌肥产品,研究单施菌肥与菌剂配施无机肥对河套灌区中度盐渍土的作用效果,探讨其对土壤微生物、盐分及食葵生产的影响,以期为抗盐碱微生物制剂在生产中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

丹路牌微生物菌肥,由北京丹路生物工程有限公司提供。主要成分为植物性草炭,矿物性腐植酸,有机质豆粕等。主要有效成分为有益活体芽孢杆菌,主要为枯草芽孢杆菌,有效菌数>0.2 亿·g⁻¹,腐植酸 10%,有机质>30%,水分 12%,其余为无机质(N 含量 2.5%,P₂O₅ 含量 1.2%,K₂O 含量 1.3%),C:N=20:1,pH=7。

丹路牌微生物菌剂,由北京丹路生物工程有限公司提供。以蓖麻饼为载体制备而成,主要有效成分为有益活体芽孢杆菌和钾细菌,包括胶质芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌,有效菌量>0.3 亿·g⁻¹,有机质≥50%,N 含量 1.1%,P₂O₅ 含量 1.04%,K₂O 含量 0.31%,含硼、锰、锌等微量元素≥0.40%。根据产品说明,丹路菌剂需与无机肥配施。

无机肥为磷酸二铵(N:18%;P:46%)、尿素(N:46%)、复合肥(15-15-15)。

供试作物为食葵,品种为 LD5009,为中熟食用美葵杂交种。

1.2 试验区概况

试验区位于内蒙古五原县胜丰镇民联村,处于河套灌区腹地。全年日照时数 3263 h,年均温 6.1℃,≥10℃的积温 3363℃,无霜期 117~136 d,年降雨量

170 mm,大多集中在夏秋两季,年蒸发量 2068 mm,是降雨量的 11.5 倍。由于蒸发量过大,冬春土壤盐分表聚现象严重。试验区表层土壤为粉壤土,生育期内地下水埋深变幅 1.2~1.7 m。试验区基础含盐量及离子组成见表 1。

1.3 试验设计与田间管理

试验设置两种调理剂产品与空白对照共三个处理,均覆盖地膜,三次重复。小区面积 42 m²(7 m×6 m),随机排列,区间起垄,设 0.5 m 保护行。各处理菌肥与无机肥用量见表 2,所有肥料均一次底施。播前将菌剂与菌肥均匀撒施于地表,随后进行 20 cm 土层翻耕,其后机械带肥覆膜,人工点播。6 月 4 日播种,9 月 23 日收获,播种深度 3~4 cm,行距 60 cm,穴距 40 cm,种植密度约 44 000 株·hm⁻²。所有处理均于播前两周(5 月 20 日)和葵花现蕾初期(7 月 7 日)灌溉黄河水,每次灌溉量均为 1200 m³·hm⁻²。其他田间管理措施与当地传统种植一致。

1.4 测定项目与方法

食葵播前、现蕾期和收后田间取土进行水盐测定,取土深度为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 共 6 层。烘干法测定土壤含水率;电导率法(水土比为 5:1)测定土壤全盐量。播后两周记录出苗率,收获前测定农艺性状与干物重,之后考种。每小区单打单收测产。

1.5 微生物区系分析方法

本文只对可培养微生物进行多样性分析。在食葵成熟期取各处理 0~20 cm 土样,进行 pH 测定后,采用稀释平板涂布法,利用牛肉膏蛋白胨培养基、高氏一号培养基和 PDA 培养基分别对细菌、放线菌和霉菌进行培养分析,计数其菌落总数。每个土样采用 10⁻²、10⁻³、10⁻⁴ 三个梯度,每个梯度设 3 个重复,数据处理根据平板中菌落密度,选取合适梯度进行总数计数。

表 1 试验区 0~20 cm 土层基础含盐量与离子组成

Table 1 Soil ion content and salinity in 0~20 cm soil of experimental area

pH	CO ₃ ²⁻ /%	HCO ₃ ⁻ /%	Cl ⁻ /%	SO ₄ ²⁻ /%	Ca ²⁺ /%	Mg ²⁺ /%	Na ⁺ 、K ⁺ 合计/%	含盐量/g·kg ⁻¹
8.11	0.002	0.029	0.114	0.137	0.020	0.012	0.078	3.92

表 2 各处理试剂用量

Table 2 The dosage of microorganism agents in each treatment

处理	菌肥用量/kg·hm ⁻²	无机肥施用量/kg·hm ⁻²
M0	无机肥(CK)	0
M1	丹路菌剂+无机肥	300
M2	丹路菌肥	3000

确定优势菌时,通过光学显微镜及肉眼观察,若平板上形态、颜色等特征一致的菌落数量 ≥ 3 个,则确定为某一优势菌;优势菌占总菌落比例大致为 40%左右。对平板中的细菌和放线菌优势菌群进行分离纯化,提取 DNA,采用 27F 和 1492R 作为引物对其 16S rDNA 进行 PCR 扩增,并在测序后于 EzTaxon 数据库中进行序列比对,初步确定其最相似菌和其所在的属,随后进行归类分析。例如,M1 土壤样品中优势菌种类很多,但 16S rDNA 序列分析结果表明都归属于芽孢杆菌属和假单胞菌属,因此这 2 个属明显多于其他菌群,数量占绝对优势。

1.6 数据处理方法

数据在 Office Excel 2003 中进行基本处理,并用 SPSS 13.0 软件做差异性分析和相关关系分析,检验不同处理之间的微生物数目、食葵产量的差异性。

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌肥产品对盐渍土盐分的影响

由图 1 可见,与对照相比,两种产品均可显著降低 0~40 cm 土层全盐量。产品施用前各处理土壤全盐量差异不显著,施用后 40 d,M1 处理 0~40 cm 土层含盐量比 M0 低 14.60%,M2 处理比 M0 低 10.40%,但 M1 与 M2 差异不显著;收获后,M1 处理 0~40 cm 土层含盐量比 M0 低 36.10%,M2 处理比 M0 低 28.84%,且两个处理差异显著。说明施用供试产品可持续有效的降低 0~40 cm 土层含盐量,效果 M1>M2>M0(CK)。

2.2 不同微生物菌肥产品对盐渍土微生物特性的影响

2.2.1 对盐渍土微生物数目的影响

由表 3 可见,与 M0(CK)相比,施用不同产品可极显著增加试验区盐渍土微生物数目。其中,单施菌肥处理可极显著提高细菌和放线菌数目,而菌剂配施无机肥处理仅极显著作用于细菌;同时二者均不利于霉菌繁殖。各处理细菌和放线菌总数均为 M2>M1>M0(CK),单施菌肥作用效果极显著优于菌剂配施无机肥处理,M2 处理细菌数目比 M0、M1 处理分别提高了 236.47%、146.55%;放线菌数目比 M0(CK)和 M1 分

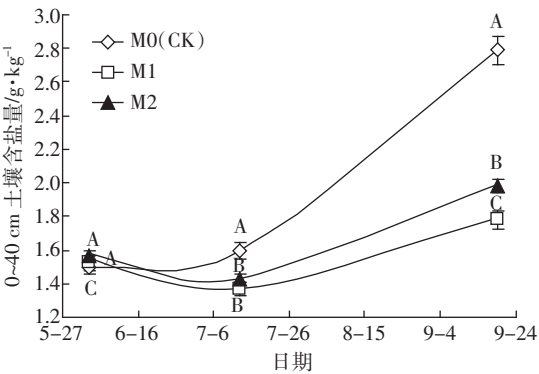


图 1 不同处理对土壤盐分含量的影响

Figure 1 Effects of different bacterial manure on the total salinity content in soil

别提高 69.49%和 61.29%。两种产品处理 M1 和 M2 的霉菌数分别比对照降低了 50%和 25%,说明施用微生物菌肥产品不利于试验区盐渍土霉菌的繁殖。

2.2.2 对盐渍土优势细菌菌群的影响

由表 4 可见,不同产品均可提高细菌优势菌多样性,菌肥作用效果优于菌剂。各处理中均存在芽孢杆菌属(*Bacillus*)的细菌,芽孢杆菌可降解土壤中难溶化合物,防治植物病虫害,是土壤细菌的优势种群和最具活力的部分之一^[10]。菌剂配施无机肥处理 M1 另有假单胞菌(*Pseudomonas*)存在,假单胞菌可产生活性物质或改善矿质营养,并可产生代谢物质或竞争作用抑制或阻碍根区病原微生物的发展,促进植物生长^[11]。单施菌肥处理 M2 细菌种群多样性最丰富,除了以上两种属的细菌外,还有 *Zimmermannella* 属和假黄单胞菌属(*Pseudoxanthomonas*)的有益细菌存在。这说明,两种产品均有助于土壤微生物多样性的丰富,促进土壤微生物的繁殖,单施菌肥处理还补充添加了大量有机物质,效果优于菌剂。

2.3 不同微生物菌肥产品对盐渍土食葵产量的影响

盐碱地食葵产量低下,其中一项重要原因就是保苗成株困难。试验结果显示,供试产品均有利于盐渍土食葵的保苗成株(图 2),最终提高食葵公顷花盆数(表 5)。其中,M2 有利于食葵的出苗及最终的成株,

表 3 不同处理盐渍土壤微生物数量

Table 3 The effect on quantities of microbe in the saline soil with different bacterial manure treatments

处理	细菌数目/ $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$	放线菌数目/ $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$	霉菌数目/ $\times 10^3$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$	微生物总数/ $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$
M0(CK)	42.5 $\pm$ 3.2C	14.8 $\pm$ 3.5B	10.0 $\pm$ 0.4A	58.3 $\pm$ 2.3C
M1	58.0 $\pm$ 1.9B	15.5 $\pm$ 3.2B	5.0 $\pm$ 0.2C	74.0 $\pm$ 1.8B
M2	143.0 $\pm$ 2.8A	25.0 $\pm$ 4.6A	7.5 $\pm$ 0.2B	168.8 $\pm$ 2.4A

表 4 不同处理的优势细菌分布
Table 4 Predominant bacteria distribution of different treatments

处理	优势细菌属名
M0(CK)	芽孢杆菌属(<i>Bacillus</i>)
M1	芽孢杆菌属(<i>Bacillus</i>),假单胞菌属(<i>Pseudomonas</i>)
M2	芽孢杆菌属(<i>Bacillus</i>),假单胞菌属(<i>Pseudomonas</i>), <i>Zimmermannella</i> 属,假黄单胞菌属(<i>Pseudoxanthomonas</i>)

其出苗率和成株率分别是 95.00%、68.33%，高于 M1 处理，显著高于 M0 处理；M1 有利于食葵后期保苗，其死苗率为 27.85%，低于 M2 处理和 M0 处理。

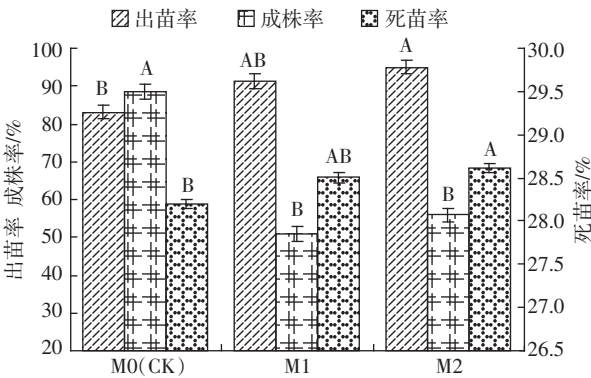


图 2 不同处理对食葵出苗、保苗的影响
Figure 2 Effect of different treatments on emerging rate and seedling rate of sunflower

施用不同产品均可极显著增加盐渍土食葵的产量(表 5),M1 处理与 M2 处理分别比 M0(CK)增产 107.62%、30.65%。其中,菌剂配施无机肥处理(M1)的增产效果优于单施菌肥处理(M2)。与对照相比,各产品可提升食葵的百粒重、公顷花盘数、单盘粒数,尤其可极显著提升食葵百粒重,其中,M1 处理对各因素均作用极显著,M2 处理则对单盘粒数无显著提高效果。M1 处理与 M2 处理相比,仅对公顷花盘数的增加效果处于显著劣势。

3 讨论

(1)盐渍土壤含盐量影响土壤微生态系统和作物生产。研究发现,供试产品均可降低 0~40 cm 土层盐分含量。这与逢焕成等^[8]、严慧峻等^[6]、于占东等^[9]的研究结果一致。究其原因主要有:①产品中含有的有机

载体微粒为各种微生物提供了良好的微生态环境。通过微生物分泌有机物、死亡菌体的分解等使土壤有机成分增加,降低盐度;②有益微生物在繁殖过程中能够产生大量的多糖和粘胶,有利于形成土壤团粒,使土壤疏松,降低容重,切断土壤毛细管孔隙,增加非毛细管孔隙,加速淋盐,抑制返盐^[8];③产品中含有丰富的有机质,土壤有机质的提高可促进土壤微团聚体的形成,改善盐渍土的土壤物理性质,增加土壤总孔隙度和毛管孔隙度,增加土壤的入渗率,从而有利于盐渍土盐分的淋洗^[6-8]。

试验结果显示,各产品脱盐效果 M1>M2>M0(CK),主要原因可能是由于配施无机肥使食葵生长旺盛,棵间蒸发较小,抑制土壤积盐,且作物也会吸收一部分盐分。

(2)施用供试产品可改善土壤微生态系统,增加微生物数目,提高细菌优势菌多样性。这是因为:①施用供试产品提高了土壤细菌总数基数,提高了土壤微生物活动强度;②相关性分析结果显示,微生物因子与土壤盐分呈负相关($r=-0.470$),供试各产品可降低土壤盐分,且产品施入后很快形成有益菌联合体(菌群),促进土壤团粒形成,改良土壤理化性质,适于各类微生物繁殖。这与 Ndayeyamiye 和 Cote^[12]的研究结果一致。

供试产品对土壤微生态系统的作用有差异,单施菌肥处理的土壤微生物数目、优势菌多样性、有益菌数目均优于菌剂配施无机肥处理,这应与产品成分有关。除微生物外,菌肥产品还添加了大量的植物性草炭,矿物性腐植酸和有机质豆粕,提供了更为丰富、全面的碳源物质和各类活性成分,更有利于土壤生态系统的改善。这与李小磊等^[13]的研究结果一致,但与王明友等^[14]的结论不一致,应与施用区域、产品种类

表 5 不同处理对食葵产量的影响
Table 5 Yield of sunflower under different microorganism agents

处理	单产/kg·hm ⁻²	百粒重/g	公顷花盘数/个	单盘粒数
M0(CK)	761.16±26.15C	10.66±0.32C	22 263±105C	321B
M1	1 580.30±30.44A	13.31±0.23A	24 947±81B	476A
M2	994.43±28.76B	11.80±0.21B	25 895±90A	325B

等有关。

(3)试验结果显示,供试产品会提高土壤中细菌和放线菌的数目,但不利于土壤中霉菌的繁殖。主要原因应是:①微生物菌肥主要有效成分是芽孢杆菌,可显著提高土壤细菌总数基数;②放线菌主要以大分子有机物为营养源,供试产品提高了土壤中有机物质含量,利于放线菌繁殖;③霉菌宜生活于微酸性环境,试验区土壤 pH 均在 8.5 以上,对霉菌繁殖有较强的抑制作用。这与 Nanda 和 Das^[15]、王涛等^[16]的研究结果一致,但与江丽华等^[17]的结论不一致,应与土壤盐碱程度、离子组成、产品种类等有关。

二者相比,菌剂配施无机肥处理对放线菌的促进作用不显著,这应与产品添加成分有关,菌肥产品含大量矿物性腐植酸,会促进放线菌的繁殖,而菌剂相对促进作用减小。

(4)施用微生物菌肥产品有利于盐渍土食葵的成株和增产。主要原因是:①相关性分析结果显示,成株率与土壤盐分显著负相关($r=-0.982$),产量与土壤盐分负相关($r=-0.841$)。各产品均可降低土壤盐分含量,从而提高食葵成株率和产量;②供试产品可提高土壤生态系统的质量,增加土壤微生物的数目和多样性,微生物生命活动过程中能产生大量的植物生长激素^[9],如吲哚乙酸、赤霉素、氨基酸和多种维生素等,可刺激和调节作物生长,这与黄鹏等^[18]、王明友等^[14]的研究结果一致;③不同产品在提高食葵成株率的同时,也显著提升了食葵百粒重,说明有利于食葵生育后期的籽粒灌浆,增加产量。

(5)研究结果显示,菌剂配施无机肥处理的增产、抑盐效果均优于单施菌肥处理,但对土壤微生态系统的作用效果稍差。主要原因是无机肥肥效的发挥,说明单施菌肥不能完全替代无机肥。这与王明友等^[14]、赵京音等^[19]的研究结果一致。但是,单施菌肥仍然取得了显著的增产效果,这说明,施用生物菌肥可以降低无机肥施用量,并提高肥料利用率,其作用机理与效果、适宜施用方式等有待进一步研究。

(6)试验中,盐渍土壤中的盐分含量、微生物因子与产量三者之间通过抑盐、微生态系统改善、植物吸收等过程互相影响。土壤含盐量可抑制土壤微生物活动,并造成食葵死苗,降低食葵产量;土壤微生物的生长发育受盐分胁迫,但其产生的代谢物又可抑制土壤盐分,促进食葵生长;食葵产量受土壤盐分影响,但其生长不但可抑制盐分,其根系生长也可导致根系脱落物和分泌物发生变化,从而诱导土壤微生物群落结构

和生物量发生改变。

土壤环境因素、营养因素及作物根系分泌作用等均对土壤微生物的生长发育产生显著影响^[8]。据研究,微生物菌肥可增加作物根际有益菌群,使作物根系发达^[9]。但试验结果显示,M1 处理可极显著提升盐渍土食葵根干重,比对照提高 116.67%,M2 处理无效果。说明微生物菌肥与无机化肥配施可极显著提高肥效,促生作物根系发达,而单施菌肥效果不佳。尹燕东等^[20]研究发现,根系发达可增加根系分泌物中氨基酸、糖、有机酸和酚酸总量。张立英等^[21]发现低浓度的根系分泌物可促进土壤细菌、放线菌繁殖,但高浓度的根系分泌物则抑制土壤微生物的繁殖。关于不同产品对食葵根系作用的机理有待进一步研究。

4 结论

(1)施用微生物菌肥产品可降低 0~40 cm 土层盐分含量,菌剂配施无机肥处理脱盐效果优于单施菌肥处理。收获后,菌剂配施无机肥处理 0~40 cm 土层含盐量比对照低 36.10%,单施菌肥处理比对照低 28.84%。

(2)施用微生物菌肥产品可改善土壤微生态系统,增加微生物数目,主要可促进土壤细菌和放线菌的繁殖,提高细菌优势菌多样性。单施菌肥处理作用效果优于菌剂配施无机肥处理,其微生物总数比后者高 56.15%,细菌总数高 59.44%,放线菌总数高 38.00%。

(3)施用微生物菌肥产品可极显著提高盐碱地食葵的产量,其中菌剂与无机肥配施处理增产效果最佳,比对照增产 107.62%,显著优于单施菌肥处理。单施菌肥对土壤微生态系统的作用效果较优,但其增产、抑盐效果均不如菌剂配施无机肥处理,不能完全代替化肥的作用。

综上所述,施用微生物菌肥产品可抑制土壤积盐,促使土壤养分含量和土壤微环境发生变化,改善土壤微生态系统,促进食葵保苗,提高食葵产量。其中,微生物菌剂配施无机肥处理的抑盐、增产效果更为突出。

参考文献:

- [1] Vorob'eva L A, Pankova E I. Saline-alkali soils of Russia Eurasian[J]. *Soil Science*, 2008; 41(5):457-470.
- [2] Reddy Muppala P, Mkesh T S, Jinalal S P. *Salvadora persica*, a potential species for Industrial oil production in semiarid saline and alkali soils [J]. *Industrial and Products*, 2008;28:273-278.
- [3] Li Fa-hu, Keren R. Calcareous sodic soil reclamation as a affected by

- corn stalk application and incubation; A laboratory study[J]. *Pedosphere*, 2009, 19(4): 465–475.
- [4] 陈 珊, 张常钟, 刘东波, 等. 东北羊草草原土壤微生物生物量的季节变化及其与土壤生境的关系[J]. 生态学报, 1995, 15(1): 91–94.
CHEN Shan, ZHANG Chang-zhong, LIU Dong-bo, et al. Seasonal variation in the biomass of soil decomposer microbes and its relationship to the soil habitat in the *Leymus Chinensis* grass lands in Northeast China [J]. *ACTA Ecologica Sinica*, 1995, 15(1): 91–94.
- [5] 葛均青, 于贤昌, 王竹红. 微生物肥料效应及其应用展望 [J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 87–88.
GE Jun-qing, YU Xian-chang, WANG Zhu-hong. The function of microbial fertilizer and its application prospects[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(3): 87–88.
- [6] 严慧峻, 逢焕成, 李玉义, 等. 微生物复混肥对盐碱土及白菜品质改良的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(12): 270–273.
YAN Hui-jun, PANG Huan-cheng, LI Yu-yi, et al. Effects of mixed microorganism fertilizer on improvement of saline soil and Chinese cabbage quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(12): 270–273.
- [7] 刘继芳, 逢焕成, 严慧峻, 等. 用微生物对六六六污染土壤进行生物修复的初步试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 677–680.
LIU Ji-fang, PANG Huan-cheng, YAN Hui-jun, et al. Primary study on biomediation of contaminated soil with Hexachlorocyclohexane (BHC) by microorganisms[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(6): 677–680.
- [8] 逢焕成, 李玉义, 严慧峻, 等. 微生物菌剂对盐碱土理化和生物性状影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5): 951–955.
PANG Huan-cheng, LI Yu-yi, YAN Hui-jun, et al. Effects of inoculating different microorganism agents on the improvement of salinized soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(5): 951–955.
- [9] 于占东, 宋述尧. 稻草配施生物菌剂对大棚连作土壤的改良作用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 177–179.
YU Zhan-dong, SONG Shu-yao. Effects of straw mixed with bio-preparate on improvement of soil in greenhouse[J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(1): 177–179.
- [10] 龚国淑, 唐志燕, 邓香洁, 等. 成都郊区土壤芽孢杆菌的空间分布及其多样性[J]. 生态学报, 2009, 28(10): 2009–2013.
GONG Guo-shu, TANG Zhi-yan, DENG Xiang-jie, et al. Spatial distribution and species diversity of soil *Bacillus* spp. in Chengdu suburbs [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2009–2013.
- [11] 杨海君, 谭周进, 肖启明, 等. 假单胞菌的生物防治作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 158–161.
YANG Hai-jun, TAN Zhou-jin, XIAO Qi-ming, et al. Biocontrol functions of *Pseudomonad*[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(3): 158–161.
- [12] Ndayeyamiye A, Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, 69(1): 39–47.
- [13] 李小磊, 刘文菊, 赵全利, 等. 微生物菌剂与2种耕作方式下冬小麦生育期内土壤酶活性的动态变化 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 20–25.
LI Xiao-lei, LIU Wen-ju, ZHAO Quan-li, et al. Dynamics of soil enzymes activities under two types of tillage and different microbial inoculants during growth of winter wheat[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(3): 20–25.
- [14] 王明友, 李光忠, 杨秀凤, 等. 微生物菌肥对保护地黄瓜生育及产量、品质的影响研究初报[J]. 土壤肥料, 2003(3): 38–41.
WANG Ming-you, LI Guang-zhong, YANG Xiu-feng, et al. Primary report of the study on biological bacterial manure influencing the cucumber yield and quality in protective field[J]. *Soil and Fertilizer*, 2003(3): 38–41.
- [15] Nanda S K, Das P K, Behera B. Effects of continuous maturing on microbial population, magnification and CO₂ evolution in a rice soil[J]. *Oryza*, 1998, 25(4): 413–416.
- [16] 王 涛, 乔卫花, 李玉奇, 等. 轮作和微生物菌肥对黄瓜连作土壤理化性状及生物活性的影响[J]. 土壤通报, 2011; 42(3): 578–583.
WANG Tao, QIAO Wei-hua, LI Yu-qi, et al. Effects of rotation and microbial fertilizers on the properties of continuous cucumber cropping soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(3): 578–583.
- [17] 江丽华, 刘兆辉, 张文君, 等. 化学肥料-有机物-微生物肥料菌剂相互作用的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2004, 35(1): 55–58.
JIANG Li-hua, LIU Zhao-hui, ZHANG Wen-jun, et al. Study on effect of chemical fertilizer and organic materias on bacteria amount[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2004, 35(1): 55–58.
- [18] 黄 鹏, 何 甜, 杜 娟. 配施生物菌肥及化肥减量对玉米水肥及光能利用效率的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 76–79.
HUANG Peng, HE Tian, DU Juan. Effect on water, fertilizer and light use efficiency of maize under biological bacterial fertilizer and chemical fertilizer reduction[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(3): 76–79.
- [19] 赵京音, 姚 政, 郭 强. 菌肥 A1 对结球甘蓝的肥效及土壤微生物的影响[J]. 上海农业学报, 1997, 13(1): 49–53.
ZHAO Jing-yin, YAO Zheng, GUO Qiang. Effects of microbial fertilizer A1 on cabbage and on soil microorganisms numbers[J]. *Acta Agricultural Shanghai*, 1997, 13(1): 49–53.
- [20] 尹燕东, 裴立群, 魏 珉, 等. 温室 CO₂ 施肥对黄瓜幼苗根系生长及分泌物和伤流液组成的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1860–1867.
YIN Yan-dong, QIU Li-qun, WEI Min, et al. Effects of CO₂ enrichment in greenhouse on root growth as well as root exudates and bleaching sap of cucumber seedlings[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1860–1867.
- [21] 张立芙, 吴凤芝, 周新刚, 等. 盐胁迫下黄瓜根系分泌物对土壤养分及土壤酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2009(14): 6–11.
ZHANG Li-fu, WU Feng-zhi, ZHOU Xin-gang, et al. Effects of cucumber root exudates on soil nutrients and enzyme activities under salt stress[J]. *China Vegetables*, 2009(14): 6–11.