

微生物菌剂对盐碱土理化和生物性状影响的研究

逢焕成¹, 李玉义¹, 严慧峻², 梁业森¹, 侯训波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. 北京丹路生物科技有限公司, 北京 100081)

摘要: 采用盆栽试验方法, 研究了微生物菌剂对盐碱土壤微生物、养分、盐分及玉米苗期生长的影响。结果表明, 施用微生物菌剂后, 盐碱土壤中钾细菌和枯草芽孢杆菌数量、土壤有机质含量、速效 N、P、K 含量状况均明显高于无添加菌剂对照处理, 其中以菌剂施用量为 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土的效果最明显。施用微生物菌剂后, 土壤 pH、含盐量均有不同程度地降低, 菌剂施用量 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土的处理在前中期表现出较好的土壤脱盐效果, 而菌剂施用量 $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土的处理在后期脱盐效果较好。添加微生物菌剂促进玉米苗期株高和叶片数增加, 有利于玉米地上部分干物质的积累, 以菌剂施用量 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土的效果最明显。差异显著性检验表明, 菌剂处理玉米株高、干物质重与无添加菌剂对照相比差异均达显著水平, 但不同菌剂量处理间差异不明显。综合判定菌剂施用量 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土对盐碱土理化和生物性状改良效果较好。

关键词: 微生物菌剂; 盐分; 钾细菌; 枯草芽孢杆菌; 玉米

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)05-0951-05

Effects of Inoculating Different Microorganism Agents on the Improvement of Salinized Soil

PANG Huan-cheng¹, LI Yu-yi¹, YAN Hui-jun², LIANG Ye-sen¹, HOU Xun-bo²

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China; 2. Beijing Danlu Biotech Company, Ltd, Beijing 100081, China)

Abstract: The effects of inoculating microorganism agents on the soil microorganism, total salinity and corn growth in seedling state were studied with a pot experiment. The results showed that compared with the treatments without inoculating microorganism agents, the treatments applying inoculating microorganism agents resulted in a significant increase in the amount of soil potassium silicate-degrading bacteria and *Bacillus subtilis*, soil organic matter content and soil available nutrients including nitrogen, phosphorus and potassium in surface soil. It was also found that the effect of treatment applying inoculating microorganism agents of $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil on soil potassium silicate-degrading bacteria and *Bacillus subtilis*, soil organic content and soil available nutrients was most significant. The total salinity content and pH in the topsoil layers were decreased by applying inoculating microorganism agents. The treatment applying inoculating microorganism agents of $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil presented a better soil desalinization effect in the earlier and middle periods, whereas the treatment applying inoculating microorganism agents of $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil showed a better effect in the later period. In addition, applying inoculating microorganism fertilizers increased the corn height, leaf number and dry matter weight in seedling stage, but no significant difference between treatment inoculating microorganism agents of $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil and $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil was found in the corn height and dry matter weight. In general, the treatment applying inoculating microorganism agents of $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil was the best among all treatments.

Keywords: inoculating microorganism agents; soil salinity; potassium silicate-degrading bacteria; *Bacillus subtilis*; corn

盐碱土是我国主要的耕地后备资源, 开发和利用盐碱土资源一直是我国农业生产中的重大课题之一。在我国, 盐碱化土壤面积约 0.266 亿 hm^2 , 其中耕地 0.066 亿 hm^2 , 且有逐年增长的趋势。我国的盐碱地主

要分布在西北、华北、东北及滨海地区^[1]。进入 20 世纪 90 年代以来, 我国面临着人口日益增加和耕地面积逐年减少的双重压力, 重新开发和利用盐碱地资源, 已成为保持我国农业持续发展的当务之急, 同时也是当前广大盐碱地区进一步挖掘农业现有发展潜力的重要出路^[2]。

长期以来, 盐碱土改良主要采用灌溉排水、利用覆盖物、施加化学改良剂等措施^[3-5]。近年来, 微生物菌剂在盐碱地改良中作用的研究得到不断加强。李兰晓

收稿日期: 2008-07-20

基金项目: 科技部“十一五”科技支撑计划项目“盐碱等障碍性农田治理技术研究”(2006BAD05B02)

作者简介: 逢焕成(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事节水农作制度、环境生态等研究工作。E-mail: hcpang@caas.ac.cn

通讯作者: 李玉义 E-mail: yuyili@caas.ac.cn

等研究认为施用微生物菌剂可以提高盐碱地造林成活率,明显改善微生物区系^[6]。李志洪等认为施用微生物菌剂能降低石灰性土壤作物根际 pH 值,有效提高根际磷酸酶活性,促进土壤中难溶性磷活化,改善玉米磷素营养条件,促进玉米植株生长,增强根系对养分的吸收^[7]。李翠兰等研究表明,施用菌剂有利于玉米苗期根系对营养元素的吸收尤其是磷素的吸收,在养分胁迫条件下菌剂起固氮、解磷、解钾作用,而当 N、P、K 养分充足时,菌剂的固氮、解磷、解钾作用降低^[8]。洪坚平等在豌豆上试验也表明,施用菌剂能刺激作物生长,还通过土壤中营养元素的转化,提高豌豆植株含磷量^[9]。于占东等研究表明施生物菌剂降低大棚连作土壤全盐含量,明显改善微生物区系,减轻黄瓜枯萎病^[10]。总体来看,菌剂在低肥力和盐渍化土壤中表现出较好的效果,这充分显示了微生物菌剂在盐碱地改良上的应用潜力。本研究选择符合生产要求的微生物菌剂作为研究对象,探讨其对土壤微生物、盐分及玉米苗期生长的影响,以期抗盐微生物制剂在生产中应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

盆栽供试土壤取自北京市怀柔区的潮土,为表层 1 m 以下的生土,土壤有机质含量 0.68%,碱解氮 28.06 mg·kg⁻¹,速效磷 2.8 mg·kg⁻¹,有效钾 76 mg·kg⁻¹,全盐量 0.04%,pH 8.73。在生土中加入氯化钠、硫酸钠两种盐,土壤平均含盐量调至 0.314%,pH 8.51。

菌剂:由北京丹路生物科技有限公司提供,微生物菌剂主要以蓖麻饼为载体制备而成(将蓖麻饼拌成一定湿度后,装入聚丙烯塑料袋中,然后在 121℃下灭菌 1.5~2 h,冷却后接种母种菌液,混匀后,放入 25℃温箱培养 4~5 d)。菌剂中含钾细菌和枯草芽孢杆菌,有效菌量为 3 亿个·g⁻¹,有机质含量≥50%,含 N 量为 1.11%,P₂O₅1.04%,K₂O0.31%,含硼、锰、锌等微量元素总量为 0.40%。

牛粪:牛粪采自集约化养殖场,平均含 N 量为 1.56%,P₂O₅1.49%,K₂O1.96%,Zn138.6 mg·kg⁻¹,Cu48.5 mg·kg⁻¹。

基质:试验中所用基质主要成分为蓖麻饼,平均含 N 量为 4.75%,P₂O₅1.80%,K₂O1.80%。

1.2 试验处理

盆栽试验所用陶瓷盆直径为 36 cm,高 42 cm,上开口下封底。牛粪 32 g、尿素 4.656 g、重过磷酸钙

2.56 g、硫酸钾 4.416 g 与 12 kg 土壤均匀混合装盆,再分 4 个处理施用基质或菌剂,分别为处理 I:基质 0.4 g·kg⁻¹土(折合 300 kg·hm⁻²)、处理 II:菌剂 0.4 g·kg⁻¹土(折合 300 kg·hm⁻²)、处理 III:基质 0.8 g·kg⁻¹土(折合 600 kg·hm⁻²)、处理 IV:菌剂 0.8 g·kg⁻¹土(折合 600 kg·hm⁻²),与土壤充分混匀。每个处理 6 次重复。盆栽试验于 8 月 9 日开始至 9 月 29 日玉米收获结束,试验期间日平均温度 23.4℃。玉米播种前浇无离子水 3 000 mL,次日播种,每盆 5 粒。逐步间苗,最后定苗为 2 株·盆⁻¹。8 片叶时收获,玉米生长期共 50 d。所用玉米品种为农大 108。

1.3 测定与分析方法

试验期间共取土 3 次,用特制土钻每隔 13 d 取 1 次土,取土位置分别位于距玉米株间土表 5、15、25 cm 处,测定土壤全盐及 pH 值。取土后浇水,每盆浇水量相同,13 d 中若出现土干时及时浇水。试验结束时,取土检测土壤钾细菌与枯草芽孢杆菌数量,测定土壤全盐、pH 值、土壤有机质、碱解氮、速效磷与有效钾。

全盐测定用 DDS-307 型电导仪,pH 测定用奥立龙 868 型酸度计,土壤有机质测定用油浴加热-K₂Cr₂O₇容量法,土壤碱解氮测定用碱解扩散法,土壤有效磷测定用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,土壤有效钾测定用 1 mol·L⁻¹ 中性醋酸铵-火焰光度计法。用平板计数法测定钾细菌和枯草芽孢杆菌数量。

2 结果与讨论

2.1 微生物菌剂对土壤微生物数量变化的影响

土壤微生物的生长发育是营养、代谢与环境互为条件复杂的生理动态过程,其对土壤肥力的形成及在植物养分的转化中发挥着积极的作用,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^[11-12]。由表 1 可见,施用菌剂处理后,土壤中钾细菌、枯草芽孢杆菌的数量均明显高于无添加菌剂的处理。其中处理 II 两菌含量比处理 I 增加 0.031 亿个·g⁻¹干土,增加数是微生物菌剂带入含量(处理 II 带入土壤中的钾细菌和枯草芽孢杆菌含量为 0.012 亿个·g⁻¹干土)的 2.5 倍,处理 II 较处理 I 的钾细菌与枯草芽孢杆菌数量分别增加 40.0%和 31.6%;而处理 IV 两菌含量比处理 III 增加 0.021 亿个·g⁻¹干土,增加数是微生物菌剂带入含量(处理 IV 带入土壤中的钾细菌和枯草芽孢杆菌含量为 0.024 亿个·g⁻¹干土)的 0.87 倍,处理 IV 较处理 III 的钾细菌与枯草芽

孢杆菌数量分别增加 25.0%和20.7%。另外,与菌剂处理Ⅳ相比,处理Ⅱ的钾细菌与枯草芽孢杆菌数量分别增加 5.00%和 5.05%。以上表明施用微生物菌剂有利于土壤钾细菌、枯草芽孢杆菌的生长繁殖,这主要是由于施用适量菌剂后,土壤有机质、N 素、pH 等营养与环境状况明显改善,为土壤钾细菌、枯草芽孢杆菌等微生物的新陈代谢和生命活动提供较理想的 pH 环境及丰富的能量和营养物质,促进这些土壤微生物的生长繁殖。但在土壤中加入过多的菌剂并不利于微生物繁殖生长,其原因还有待于进一步研究明确。

表 1 不同处理土壤微生物的变化

Table 1 Effect of different microorganism agents on the microorganism amount in soil

处理	钾细菌/ 亿个·g ⁻¹ 干土	枯草芽孢杆菌/ 亿个·g ⁻¹ 干土	两菌合计/ 亿个·g ⁻¹ 干土
I. 基质 0.4 g·kg ⁻¹ 土	0.015	0.079	0.094
II. 菌剂 0.4 g·kg ⁻¹ 土	0.021	0.104	0.125
III. 基质 0.8 g·kg ⁻¹ 土	0.016	0.082	0.098
IV. 菌剂 0.8 g·kg ⁻¹ 土	0.020	0.099	0.119

2.2 微生物菌剂对土壤有机质和土壤速效养分变化的影响

适当的矿质养分供给是作物生长发育必不可少的条件,土壤矿质养分供应状况除与养分含量密切相关外,还与土壤微生物数量及其多样性、土壤酶活性存在着密切相关性,土壤微生物数量和多样性丰富、土壤酶活性高,有助于土壤矿质养分的转化和有效化^[11-12]。由表 2 可见,不同处理土壤有机质含量均有不同程度增加,加入菌剂处理土壤有机质增加较为明显,其中处理Ⅱ比处理Ⅰ土壤有机质增加了 12.7%,处理Ⅳ比处理Ⅲ土壤有机质增加了 3.9%,表明盐碱土壤加入菌剂后有利于提高土壤有机质,其原因还有待进一步研究。另外,各处理土壤碱解氮比基础土样都有一定程度增加,土壤碱解氮分别比基础土样提高 50.2%~39.7%,其中以菌剂处理Ⅱ增加最为明显。其原因主要是施用微生物菌剂后土壤 pH、有机质状况改善,微生物数量增多,酶活性增强,促

表 2 不同处理土壤有机质和养分变化

Table 2 Effect of different microorganism agents on the soil organic and major chemical properties

处理	有机质/ %	碱解氮/ mg·kg ⁻¹	速效磷/ mg·kg ⁻¹	有效钾/ mg·kg ⁻¹	pH
基础土壤	0.68	28.06	2.80	76.0	8.74
I. 基质 0.4 g·kg ⁻¹ 土	0.94	39.20	4.23	91.0	8.72
II. 菌剂 0.4 g·kg ⁻¹ 土	1.06	42.16	4.80	98.0	8.67
III. 基质 0.8 g·kg ⁻¹ 土	1.01	40.38	4.49	92.5	8.70
IV. 菌剂 0.8 g·kg ⁻¹ 土	1.05	41.24	4.78	97.0	8.68

进土壤氮素有效化。

从土壤速效磷看,与基础土样相比,不同处理土壤速效磷含量均明显增加。加入微生物菌剂处理的土壤速效磷增加较为明显,表现为处理Ⅱ比处理Ⅰ增加了 13.5%,处理Ⅳ比处理Ⅲ增加了 6.4%,其原因主要是微生物菌剂施入土壤后可改善土壤有机质状况,减少磷的固定,提高土壤磷有效性;另外,施用菌剂后土壤微生物数量明显增多,由于钾细菌、枯草芽孢杆菌的解磷作用,磷酸酶活性增强,促进磷素矿化作用,促进有机磷转为速效态磷。不同处理土壤速效钾含量与基础土样相比同样也明显增加,加入菌剂处理土壤速效钾含量增加也较为明显,其中土壤有效钾处理Ⅱ比处理Ⅰ增加了 7.7%,处理Ⅳ比处理Ⅲ增加了 4.9%。其原因主要是微生物菌剂施入土壤后通过改善有机质状况,提高了土壤吸附和保持钾素能力。从表 2 还看出,与基础土样相比,各处理土壤 pH 值均有不同程度下降,以菌剂处理Ⅱ较为明显。综上所述,施用微生物菌剂对增加土壤有机质和土壤速效养分、降低土壤 pH 值具有明显的促进作用,这与有关研究结论较为一致^[7-11]。

2.3 微生物菌剂对土壤盐分变化的影响

由表 3 可见,不同处理各土层盐分含量均以 0~5 cm 最低,0~15 cm 次之,0~25 cm 最高。不同时段各层土壤盐分变化特征也表现出明显不同,0~5 cm 土层平均含盐量表现为先降后增的趋势,0~25 cm 土层盐分含量一直呈下降趋势,但 0~15 cm 土层缺乏规律性。

表 3 不同处理对土壤盐分含量的影响(%)

Table 3 Effect of different microorganism agents on the total salinity content in soil(%)

日期	处理 I			处理 II			处理 III			处理 IV		
	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm
08-23	0.100	0.172	0.310	0.105	0.146	0.274	0.092	0.174	0.325	0.116	0.176	0.302
09-18	0.085	0.097	0.268	0.074	0.105	0.197	0.079	0.124	0.230	0.074	0.123	0.212
09-30	0.088	0.107	0.186	0.098	0.116	0.176	0.109	0.134	0.185	0.091	0.103	0.155

加入菌剂处理土壤盐分下降较为明显,3 个取样时期处理Ⅱ的 0~25 cm 土层平均含盐量分别比处理Ⅰ降低 11.61%、26.49%、5.38%;处理Ⅳ的 0~25 cm 土层平均含盐量分别比处理Ⅲ降低 7.08%、7.83%、16.22%。前中期各处理 0~25 cm 土层盐分含量表现为处理Ⅱ<处理Ⅳ<处理Ⅲ<处理Ⅰ,后期表现为处理Ⅳ<处理Ⅱ<处理Ⅲ<处理Ⅰ,说明施入菌剂后有利于盐碱土壤盐分降低。究其原因主要有:①土壤有机载体微粒在盐碱环境中为所吸附的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载体微粒周围盐碱土壤的有机成分增加,盐碱度降低;②有益微生物在繁殖过程中能够产生大量的多糖和粘胶,这些糖类和粘胶物质是形成土壤团粒的粘结剂,团粒结构使得土壤疏松,降低土壤容重,切断土壤毛细管孔隙,增加非毛细管孔隙,使得盐碱土加速淋盐作用,抑制了返盐,降低土壤表层盐分^[13]。

从菌剂对 0~25 cm 土层脱盐效果的影响来看(表 4),3 次取样期,处理Ⅱ比处理Ⅰ土壤脱盐率分别增加 11.4%、6.6%和 3.1%,处理Ⅳ比处理Ⅲ土壤脱盐率分别增加 0.3%、5.7%和 9.5%,进一步说明菌剂的施用有利于增强土壤脱盐效果。总体来看,菌剂处理Ⅱ在前中期脱盐效果较好,而菌剂处理Ⅳ在后期脱盐效果较好。

2.4 微生物菌剂对玉米苗期生长的影响

由表 5 可见,加入菌剂处理Ⅱ、Ⅳ玉米苗期株高均高于处理Ⅰ、Ⅲ,与处理Ⅰ相比增加幅度为 7.05%~15.61%,与处理Ⅲ相比增加了 2.82%~11.38%,其中以处理Ⅱ最为明显。经 DPS 统计分析,菌剂处理Ⅱ与处理Ⅰ、处理Ⅲ的株高相比差异极显著,但菌剂处理Ⅱ与处理Ⅳ相比差异不显著。玉米苗期叶片数的结果也表明,加入菌剂处理Ⅱ、Ⅳ后玉米叶片数有增加的趋势,而处理Ⅰ、Ⅲ的效果相当,与处理Ⅰ、Ⅲ相比,菌剂处理Ⅱ、Ⅳ叶片数提高了 4.61%~6.06%,但不同处理之间的玉米叶片数差异不显著。从玉米干物质重看,加入菌剂处理Ⅱ、Ⅳ的效果优于处理Ⅰ和处理Ⅲ,其

中以处理Ⅱ最为明显,菌剂处理Ⅱ与处理Ⅰ、Ⅲ的地上部分干物质重相比提高了 3.81%~12.95%,差异达显著水平,但菌剂处理Ⅱ与处理Ⅳ相比差异不显著。以上分析说明通过合理添加微生物菌剂,能改善玉米的生长发育状况,促进玉米株高、叶片数增加,有利于玉米地上部分干物质的积累。这与有关研究结果基本一致^[8]。其原因主要是由于活的微生物活动产生的植物激素、酸性物质以及维生素都能不同程度地刺激调节植物的生长。另外,微生物制剂能产生铁载体、抗生素、系统防卫酶和氰化物等多种物质抑制细菌或真菌性病害,有的也能诱导系统抗性间接达到促进植物生长的作用^[12]。

表 5 不同处理对玉米苗期生长的影响

Table 5 Effect of different treatments on height, leave number and dry weight of maize at seedling stage

处理	株高/cm	叶片数/片	干物重/g·盆 ⁻¹
I.基质 0.4 g·kg ⁻¹ 土	99.3 ^{bB}	8.25 ^a	19.3 ^b
II.菌剂 0.4 g·kg ⁻¹ 土	114.8 ^{aA}	8.75 ^a	21.8 ^a
III.基质 0.8 g·kg ⁻¹ 土	103.5 ^{bAB}	8.39 ^a	19.7 ^b
IV.菌剂 0.8 g·kg ⁻¹ 土	106.3 ^{abAB}	8.63 ^a	21.0 ^{ab}

注:不同大、小写字母分别表示差异达 1%和 5%显著水平。

3 结论

(1)施用菌剂有利于盐碱土壤钾细菌、枯草芽孢杆菌的生长繁殖,菌剂施用量为 0.4 g·kg⁻¹ 土比施用量为 0.8 g·kg⁻¹ 土的土壤钾细菌与枯草芽孢杆菌数量分别增加 5.00%和 5.05%。

(2)施用菌剂使盐碱土壤速效 N、P、K 含量明显提高,土壤 pH 有所降低,以菌剂施用量为 0.4 g·kg⁻¹ 土的效果最为明显。

(3)施入菌剂有利于土层含盐量降低,施用量为 0.4 g·kg⁻¹ 土比施用相同量有机肥的 0~25 cm 土层含盐量降低 5.38%~26.49%;施用量为 0.8 g·kg⁻¹ 土的含盐量比施用相同量有机肥降低 7.08%~16.22%,菌剂施用量小在前中期脱盐效果较好,施用量大在后期脱

表 4 不同处理对土壤脱盐率的影响(%)

Table 4 Effect of different microorganism agents on the soil desalination(%)

日期	处理Ⅰ			处理Ⅱ			处理Ⅲ			处理Ⅳ		
	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm	0~5 cm	0~15 cm	0~25 cm
08-23	68.1	45.2	1.3	66.6	53.5	12.7	70.7	44.6	3.5	63.1	43.9	3.8
09-18	72.9	69.1	30.7	76.4	66.6	37.3	74.8	60.5	26.8	76.4	60.8	32.5
09-30	72.0	65.9	40.8	68.8	63.1	43.9	65.3	57.3	41.1	71.0	67.2	50.6

注:脱盐率=(原始含盐量-某时期盐分含量)/原始含盐量×100%

盐效果较好。

(4)施入菌剂能促进玉米株高、叶片数增加,有利于玉米地上部分干物质的积累,以菌剂施用量为 $0.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土的效果最为明显。

综上所述,在盆栽条件下,菌剂施用量为 $0.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土对盐碱土理化和生物性状改良效果较好。

参考文献:

- [1] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4):158-159.
- YU Ren-pei, CHEN De-ming. Salinized land resources and development in China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(4):158-159.
- [2] 平淑珍, 林敏, 安道昌. 耐盐联合固氮菌在盐渍化土壤改良中的应用[J]. 高技术通讯, 1999(9):60-62.
- PING Shu-zhen, LIN Min, AN Dao-chang. Application of saline-resistant nitrogen fixation fungus in the improvement of salinized soil[J]. *High Technology Communication*, 1999(9):60-62.
- [3] 王应求. 农田工程与农业措施相结合治理盐碱地的效果和效益[J]. 农业现代化研究, 1989, 10(1):16-20.
- WANG Ying-qiu. Effect of farmland engineering combined with agricultural measures on the improvement of salinized land[J]. *Research on Agricultural Modernization*, 1989, 10(1):16-20.
- [4] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量性状的影响[J]. 土壤通报, 1999, 30(4):174-175.
- PANG Huan-cheng. Effect of straw mulching on the soil environment and winter wheat yield characteristics[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(4):174-175.
- [5] 毛建华, 陆文龙, 潘洁, 等. 改良剂磷石膏对碱化土壤的防治研究[J]. 农业环境科学学报, 1996, 15(5):209-212.
- MAO Jian-hua, LU Wen-long, PAN Jie, et al. Effects of ameliorant (ardealite) on alkali soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 1996, 15(5):209-212.
- [6] 李兰晓, 王海鹰, 杨涛, 等. 土壤微生物菌肥在盐碱地造林中的作用[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(4):60-63.
- LI Lan-xiao, WANG Hai-ying, YANG Tao, et al. The function of soil microorganism bacterial fertilizer in the salt and alkaline land on a forest[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2005, 20(4):60-63.
- [7] 李志洪, 李翠兰, 王淑华, 等. 有机、无机复合肥及调节剂对玉米根系生长和根际效应的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(2):165-169.
- LI Zhi-hong, LI Cui-lan, WANG Shu-hua, et al. Effect of organic and inorganic fertilizer and regulator on maize roots and rhizosphere[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2004, 26(2):165-169.
- [8] 李翠兰, 李志洪, 张晋京, 等. 不同肥料处理对玉米苗期根系生长的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(3):87-89.
- LI Cui-lan, LI Zhi-hong, ZHANG Jin-jing, et al. Effects of fertilizer treatments on root growth of maize during seedling stage[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2001, 23(3):87-89.
- [9] 洪坚平, 谢英荷, Neumann Guenter, 等. 不同微生物菌剂对豌豆生长和磷、锌利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3):327-330.
- HONG Jian-ping, XIE Ying-he, Neumann Guenter, et al. Effects of different microorganism reagent on pea growth and P and Zn use rate[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3):327-330.
- [10] 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.
- [11] 邢世和, 熊德中, 周碧青, 等. 不同土壤改良剂对土壤生化性质与烤烟产量的影响[J]. 土壤通报, 2004, 36(3):72-75.
- XING Shi-he, XIONG De-zhong, ZHOU Bi-qing, et al. Effects of various modifiers on soil biochemical properties and tobacco yields[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 36(3):72-75.
- [12] 刘健, 李俊, 葛诚. 微生物肥料作用机理的研究新进展[J]. 微生物学杂志, 2001, 21(1):33-36, 46.
- LIU Jian, LI Jun, GE Cheng. Advance in role mechanism of microbial fertilizer[J]. *Journal of Microbiology*, 2001, 21(1):33-36, 46.
- [13] 张辉, 李维炯, 倪永珍. 生物有机无机复混肥对土壤微生物活性的影响[J]. 农村生态环境, 2004, 20(1):37-40.
- ZHANG Hui, LI Wei-jiong, NI Yong-zhen. Effects of biological-organic-inorganic complex fertilizer on soil microorganism activity[J]. *Rural Eco-Environment*, 2004, 20(1):37-40.