

施用腐植酸和生物肥对草莓品质、产量及土壤农化性状的影响

刘继培¹, 刘唯一¹, 周 婕¹, 李 桐², 赵 跃², 张 蒙²

(1.北京市大兴区土肥工作站, 北京 102600; 2.北京市大兴区农业技术推广站, 北京 102600)

摘 要:通过温室试验探索了追施腐植酸肥料及生物肥对草莓产量、品质及土壤农化性状的影响。试验在满足草莓正常生长所需肥力的基础上追施腐植酸和生物肥, 试验设置 4 个处理, 分别为: 对照(常规施肥处理)、追施腐植酸肥、追施生物肥、追施腐植酸+生物肥, 重复 3 次, 随机排列。研究结果表明: 施用生物肥、腐植酸、腐植酸+生物肥能够显著改善草莓长势, 盛果期单果重分别提高了 8.85%、14.12% 和 16.23%; 显著降低草莓白粉病、灰霉病、烂果病的发生率, 进而提高草莓产量, 3 个施肥处理产量较对照分别提高了 7.70%、10.80% 和 14.70%; 施用腐植酸和生物肥能显著提高草莓蛋白质含量、草莓 Vc 含量及可溶性糖的含量, 降低草莓游离酸含量, 进而提高了糖酸比, 改善口感; 施用腐植酸和生物肥能显著改善土壤理化性质, 提高土壤有机质含量, 3 个施肥处理土壤有机质含量分别比对照高 0.13、1.51 g·kg⁻¹ 和 1.69 g·kg⁻¹。综上得出, 施用腐植酸和生物肥对草莓生长具有积极影响, 且 2 种肥料配合施用效果最佳。

关键词:腐植酸; 生物肥料; 品质; 产量; 土壤农化性状

中图分类号: S147.21

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2015)01-0054-06

doi: 10.13254/j.jare.2014.0205

Effects of Applying Humic Acids and Bio-fertilizer on the Qualities and Yields of Strawberry and Soil Agrochemical Characters

LIU Ji-peil, LIU Wei-yi¹, ZHOU Jie¹, LI Tong², ZHAO Yue², ZHANG Meng²

(1. Soil and Fertilizer Workstation in Daxing Region of Beijing City, Beijing 102600, China; 2. Agrotechnical Promotion Station in Daxing Region of Beijing City, Beijing 102600, China)

Abstract: A greenhouse experiment was conducted to study the effect of humic acids and bio-fertilizer on the qualities, yields of strawberry and soil agrochemical characters. Humic acids and bio-fertilizer were applied based on the requirement of the normal growth of strawberry. Four treatments were plotted: control (conventional treatment), dressing humic acid, topdressing bio-fertilizer, dressing humic acid+bio-fertilizer. Each treatment was repeated three times and randomly arranged. Results showed that application of bio-fertilization, humic acid, humic acid+bio-fertilization could significantly improve the growing of the strawberry, average weight of strawberry during full burning period increased by 8.85%, 14.12% and 16.23%, respectively; Incidence of powdery mildew, gray mold and rot disease of strawberry was significantly reduced. Yield of strawberry was also improved by 7.70%, 10.80% and 14.7% respectively, compared with the control treatment. The results also showed that application of humic acid+bio-fertilization could significantly increase the protein, vitamin C and soluble sugar content while reduce free acid of strawberry. Soil organic matter content was significantly improved by 0.13, 1.51 g·kg⁻¹ and 1.69 g·kg⁻¹ respectively than control when bio-fertilization, humic acid, humic acid+bio-fertilizer were applied. In summary, humic acid and bio-fertilization had a positive impact on the growth of strawberry. Combined application of those two kinds of fertilizer would show the best agricultural effect.

Keywords: humic acids; bio-fertilizer; qualities; yields; soil agrochemical characters

土壤腐殖质由胡敏酸(Humic acid)、富里酸(Fluvic acid)和胡敏素(Humin)等组成^[1]。腐植酸(Humic

acid)依据其英文名称一般是指胡敏酸^[2], 其含量变化可被用于评价土壤肥力水平和环境健康状况。近年来腐植酸的应用已经成为保护和治理日益恶化的生态环境、降低污染等的重要措施。从 19 世纪起, 人们就已经从营养角度认识到土壤中腐植酸对植物生长的作用, 适宜浓度下, 腐植酸对植物生长有促进作用^[3], Fagbenro 等^[4]用柚木幼苗进行实验, 结果表明胡敏酸

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41203080)

作者简介: 刘继培(1981—), 女, 河北沧州人, 博士, 主要从事土壤肥料及农业资源环境利用方面的研究。

E-mail: jpliu0516@126.com

对柚木幼苗的月生长率、高度、总干物质产量都有显著促进作用,Adami 等^[5]报道腐植酸能够使番茄根的干重增加 18%,同时又报道显示土壤腐植酸能促进土壤形成团粒结构,增强植物的生理活性^[6]。而生物肥料是利用生物技术制造的、对作物具有特定肥效的生物制剂,其有效成分是特定的活生物体、生物体的代谢物或基质的转化物等。目前生物肥料在培肥地力、提高化肥利用率、净化和修复土壤、保护环境以及提高农作物产品品质和食品安全等方面的作用已有大量相关研究^[7-12]。

草莓果实鲜嫩多汁、郁香酸甜,还含有丰富的维生素 B、维生素 C 和铁、钙、磷等多种营养成分,具有一定的保健功能,然而土地复种指数高,土壤营养元素逐步缺乏,造成肥力下降,施肥已成为保障草莓产量的重要措施,但是种植过程中单纯依赖化肥严重影响其品质,并且化肥的不合理施用可能造成土壤板结、结构变差、肥力下降等不良后果^[13]。近年来,设施草莓种植以实现草莓优质和良性调控土壤为立足点,通过改善和优化追肥模式和技术改善草莓根系附近理化环境和增加有益微生物,提高根系活力,有利于提高草莓抗逆性、对养分的均衡吸收能力,从而实现草莓优质稳产的同时保证土壤可持续健康发展^[14-16]。本试验通过对草莓追施腐植酸肥料及生物肥料,研究其对草莓产量、草莓品质及土壤农化性状的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2013 年 9 月至 2014 年 5 月在大兴区庞各庄科技站的基地温室内进行。供试土壤为壤土,土壤有机质含量为 10.10 g·kg⁻¹,土壤全氮含量为 1.04 g·kg⁻¹,土壤碱解氮为 69.97 mg·kg⁻¹,土壤有效磷含量为 144 mg·kg⁻¹,土壤速效钾含量为 54.1 mg·kg⁻¹,土壤 pH 值为 8.15,土壤容重为 1.38 g·cm⁻³。供试作物为草莓,品种为红颜;供试肥料为腐植酸(液体)和生物肥(粉色颗粒),生物肥的营养含量为:总氮 17.1%,有效磷未检出,钾含量 9.16%,其有效活菌数≥2×10⁷ 个·g⁻¹,腐植酸肥的营养含量见表 1(检测依据农业行业标准《含腐植酸水溶肥料》NY 1106—2010)。

表 1 腐植酸基本养分状况

Table 1 Basic nutrient status of humic acid

指标	腐植酸 / g·L ⁻¹	全氮 / g·L ⁻¹	有效磷 / g·L ⁻¹	速效钾 / g·L ⁻¹	密度 / g·mL ⁻¹	pH 值
含量	45.5	107.4	40.7	54.8	1.16	8.22

1.2 试验设计和方法

试验选用长势一致的温室草莓,基肥施用相同,基肥用量分别为:牛粪 4 000 kg·667 m⁻²,鸡粪 4 000 kg·667 m⁻²,磷酸钙 100 kg·667 m⁻²,硝酸钾 50 kg·667 m⁻²。试验设置 4 个处理,分别为:对照(常规追肥处理)、追施腐植酸肥、追施生物肥和追施腐植酸+生物肥,重复 3 次,随机排列。追肥时间为从草莓果实膨大初期开始,每隔 15 d 追肥 1 次,对照追施复合肥(20-10-15),复合肥、腐植酸及生物肥用量均为 2 kg·667 m⁻²,小区面积为 30 m²,滴灌施肥。

1.3 测试方法及数据分析

1.3.1 土壤、肥料及草莓品质测定方法^[17]

全氮测定方法:H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,凯氏定氮法;全磷测定方法:H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,钼锑抗显色法;全钾测定方法:H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,火焰光度计法;速效钾的测定方法:火焰光度计法。

草莓果实 Vc 含量测定方法:2,6-二氯酚溶液滴定法;可溶性糖测定方法:蒽酮比色法;蛋白质测定考马斯亮蓝法;游离酸的测定用酸碱滴定法。

1.3.2 数据分析方法

应用 DPS 系统软件,对处理间不同参数进行方差分析。统计后多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 施用腐植酸及生物肥对草莓长势的影响

施用腐植酸及生物肥对草莓长势的影响见表 2。施用腐植酸+生物肥能显著提高草莓株高,其平均株高为 18.87 cm,单施腐植酸或生物肥后草莓株高差异不显著;追施 2 种肥料对叶面积影响不大;无论是单施还是 2 种肥料混施均能够显著提高盛果期和末期草莓单果重,其中盛果期单果重以两种肥料混施最高,草莓平均单果重为 50.27 g,其次为单施腐植酸,其平均单果重为 49.36 g,对照平均单果重最低,其中 3 个施肥处理分别比对照提高了 8.85%、14.12% 和 16.23%;到了末期,追施肥料的 3 个处理,其平均单果重差异不显著;3 个追肥处理的单株果数差异不显著,其平均单株果数分别为 8.30、8.26 个和 8.56 个,显著高于对照。由此可以看出,追施腐植酸和生物肥均能够显著提高草莓整体长势,尤其是草莓盛果期单果重和单株果数,进而提高草莓产量。

2.2 施用腐植酸及生物肥对草莓病害发生率的影响

施用腐植酸及生物肥对草莓病害发生率的影响见图 1。由图 1 可以看出,施用腐植酸及生物肥均能

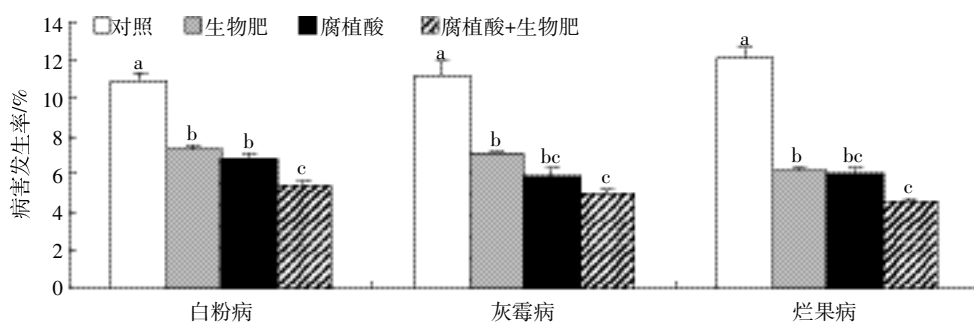
表 2 施用腐植酸及生物肥对草莓长势的影响

Table 2 Effects of humic acid and bio-fertilizer on the growth of strawberry

处理 Treatments	株高 Height/cm	叶面积 Leaf area/cm	盛果期单果重 Weight of full bearing period/g	末果期单果重 Weight of end bearing period/g	单株果数 Number per plant/ 个
对照	18.10 b	20.15 a	43.25 c	20.48 b	7.32 b
生物肥	18.27 ab	20.16 a	47.08 b	25.36 a	8.30 a
腐植酸	18.40 ab	20.19 a	49.36 a	24.17 a	8.26 a
腐植酸 + 生物肥	18.87 a	20.23 a	50.27 a	25.65 a	8.56 a

注: 同列数据后不同字母表示处理间达 5% 显著水平, 下同。

Note: Values followed by different letters in a column are significant differences at 5% level among treatments. The same below.



不同字母表示处理间达 5% 显著水平。下同

Values followed by different letters are significant differences at 5% level among treatments. The same below

图 1 施用腐植酸及生物肥对草莓病害发生率的影响

Figure 1 Effects of humic acid and bio-fertilizer on the incidence of disease on strawberry

够显著降低白粉病的发生率, 其白粉病发生率分别为 7.3%、6.8% 和 5.4%, 分别比对照低 3.6%、4.1% 和 5.5%, 其中 2 种肥料同时施用草莓的白粉病发生率最低, 显著低于单独施用; 追施腐植酸及生物肥使草莓灰霉病显著降低, 其灰霉病发生率分别为 7.1%、5.9% 和 5.0%, 分别比对照降低了 4.1%、5.3% 和 6.2%; 同样施用腐植酸和生物肥也显著降低了草莓的烂果病发生率。

2.3 施用腐植酸及生物肥对草莓产量的影响

施用腐植酸及生物肥对草莓产量产生了积极影响, 由图 2 可以看出, 施用腐植酸肥料显著提高了草莓的产量, 其中, 2 种肥料一起施用草莓产量最高, 产量为 $1\,687.44\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^{-2}$, 但是与单独施用腐植酸时草莓产量无显著差异, 但是均显著高于单独施用生物肥及对照, 其中施用生物肥、施用腐植酸及施用腐植酸+生物肥 3 个处理草莓产量分别比对照提高了 7.70%、10.80% 和 14.70%。

2.4 施用腐植酸及生物肥对草莓品质的影响

施用腐植酸和生物肥对草莓品质的影响见表 3。由表 3 可以看出, 施用腐植酸和生物肥能够显著提高草莓的蛋白质含量, 2 种肥料混施小区草莓蛋白质含

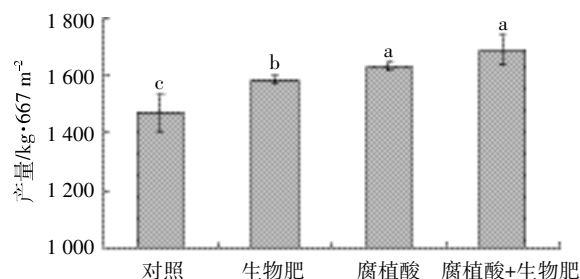


图 2 施用腐植酸及生物肥对草莓产量的影响

Figure 2 Effects of humic acid and bio-fertilizer on the yield of strawberry

量最高, 其值为 $11.33\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而单独施用腐植酸和生物肥小区草莓蛋白质含量差异不显著; 施用腐植酸和生物肥对草莓 Vc 含量的影响与蛋白质相似, 3 种施肥处理 Vc 含量分别比对照高 16.74%、11.51% 和 25.91%。

腐植酸和生物肥的施用显著增加了可溶性糖的含量, 施用腐植酸+生物肥小区草莓可溶性糖含量最高, 可溶性糖含量增加了 2.93%, 单独施用腐植酸和单独施用生物肥后小区草莓可溶性糖含量差异不显著, 但是均显著高于对照, 分别比对照高 1.96% 和 2.43%;

表 3 施用腐植酸及生物肥对草莓品质的影响
Table 3 Effects of humic acid and bio-fertilizer on the qualities of strawberry

处理	蛋白质 / g·kg ⁻¹	Vc/ mg·100 g ⁻¹	可溶性糖 / %	游离酸 / %	糖酸比
对照	8.57 c	99.56 c	9.25 c	0.89 a	10.39 d
生物肥	9.02 b	116.23 b	11.21 b	0.84 b	13.35 c
腐植酸	10.33 b	111.02 b	11.68 b	0.83 bc	14.08 b
腐植酸 + 生物肥	11.33 a	125.36 a	12.18 a	0.81 c	15.04 a

施用腐植酸和生物肥能够显著地降低草莓游离酸含量,进而提高了糖酸比,其中施用腐植酸+生物肥小区草莓糖酸比最高,口感最好,其次为施用腐植酸的草莓。

由以上分析可以得出,施用腐植酸和生物肥能够显著地提高草莓蛋白质、Vc 和可溶性糖含量,显著降低草莓游离酸含量,从而提高了草莓糖酸比,改善了草莓品质,原因可能是腐植酸和生物肥含有的养分中钾及大量有益菌作用的结果,具体影响机理有待进一步研究。

2.5 施用腐植酸和生物肥对土壤农化性状的影响

施用腐植酸和生物肥对土壤农化性状产生了一定的影响,由表 4 可以得出,施用腐植酸后,土壤有机质含量、土壤有效磷含量、土壤硝态氮含量和土壤 EC 含量均显著高于对照,其中单施腐植酸处理与腐植酸+生物肥处理土壤有机质含量分别比对照高 1.51 g·kg⁻¹ 和 1.69 g·kg⁻¹,施用生物肥后土壤有机质含量与对照差异不显著;单施腐植酸处理与腐植酸+生物肥处理土壤有效磷含量分别比对照高 29.97 mg·kg⁻¹ 和 27.97 mg·kg⁻¹,单施生物肥土壤有效磷含量与对照差异不显著,原因可能是由于本试验基肥施用量过大,再加上腐植酸和生物肥的双重作用,使得土壤中有效磷含量增加,建议种植下茬作物之前不施磷肥;单施腐植酸处理与腐植酸+生物肥处理土壤硝态氮含量分别比对照高 20.08 mg·kg⁻¹ 和 28.75 mg·kg⁻¹,单施生物肥土壤硝态氮含量与对照差异不显著;单施腐植酸处理与腐植酸+生物肥处理土壤 EC 含量分别比对

照高 34.60 μS·cm⁻¹ 和 42.77 μS·cm⁻¹,单施生物肥土壤 EC 含量与对照差异不显著。施用生物肥和腐植酸后各处理土壤铵态氮含量和土壤 pH 值差异不显著。腐植酸+生物肥处理土壤速效钾含量显著高于其他处理,单施生物肥和单施腐植酸处理土壤速效钾含量差异不显著。

施用腐植酸后,土壤有机质含量、土壤有效磷含量、土壤硝态氮含量和土壤 EC 含量显著提高,施用腐植酸+生物肥后土壤速效钾含量显著增加,无论是单施还是混施,土壤铵态氮含量和土壤 pH 值均无显著变化。综上分析,腐植酸和生物肥混合施用能够显著改善土壤农化性状。

3 讨论

腐植酸+生物肥能显著提高草莓株高,其平均株高为 18.87 cm,单施腐植酸或生物肥后草莓株高差异不显著;无论是单施还是 2 种肥料混施均能够显著提高盛果期和末果期草莓单果重,追施腐植酸和生物肥均能够显著地提高草莓长势,这与毕军等^[18]对小麦的研究结果类似。有研究表明胡敏酸可能通过螯合 Fe²⁺ 以减少脯氨酸的转化,从而促进生长^[19];另一原因可能是腐植酸可部分抑制 NADH 氧化酶的活性,影响了细胞壁内的代谢过程,从而促进植物生长^[20]。整体植物的实验表明,在土壤中加入胡敏酸或黄腐酸能促进 N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe 的吸收^[21]。同时腐植酸能促进根的生长及侧根的形成,增大了根的有效吸收面积^[9],也能促进根系活力^[22],提高根的吸收能力,从而促进植株长势。

腐植酸和生物肥对作物抗病性亦有相关研究,朱震等^[23]、肖相政等^[24]通过番茄试验得出施用生物肥后,番茄青枯病病情指数显著降低,本试验对草莓白粉病、灰霉病及烂果病做了相关研究,研究表明腐植酸及生物肥均能够显著降低白粉病、灰霉病、烂果病的发生率,原因可能是由于腐植酸及生物肥中含有的腐植酸及生物活菌数有益于促进草莓根系的生长,从而能够更好地吸收水分及养分^[21],从而提高植株的抗病

表 4 施用腐植酸和生物肥对土壤农化性状的影响
Table 4 Effects of humic acid and bio-fertilizer on soil agrochemical characters

处理	有机质 /g·kg ⁻¹	有效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹	铵态氮 /mg·kg ⁻¹	硝态氮 /mg·kg ⁻¹	pH 值	EC/μS·cm ⁻¹
对照	10.22b	203.03b	70.74b	3.08a	9.35b	8.20a	134.00b
生物肥	10.35b	207.45b	71.67b	3.64a	10.32b	8.13a	130.57b
腐植酸	11.73a	233.00a	73.26b	3.28a	29.43a	8.08a	168.60a
腐植酸 + 生物肥	11.91a	231.00a	90.73a	3.32a	38.10a	8.07a	176.77a

性能,但是具体的抗病机理还有待进一步研究。结合以上对草莓长势及发病率的分析可以得出,产量产生差异的原因可能是由于腐植酸及生物肥对草莓的生长产生了正作用,提高了植株的抗病性,增加了盛果期单果重,从而提高了草莓产量。

腐植酸和生物肥能够显著提高草莓的蛋白质含量、草莓 Vc 含量及可溶性糖的含量,并能够显著降低草莓游离酸含量,进而提高了糖酸比,其中施用腐植酸+生物肥小区草莓糖酸比最高,口感最好,其次为施用腐植酸的草莓。这与高树青^[25]研究结果一致,可能是腐植酸和生物肥含有的养分中钾离子及大量的有益菌作用的结果。

腐植酸和生物肥混合施用能够显著改善土壤农化性状。施用腐植酸后,土壤有机质含量、土壤有效磷含量、土壤硝态氮含量和土壤 EC 含量显著提高,施用腐植酸+生物肥后土壤速效钾含量显著增加,无论是单施还是混施,土壤铵态氮含量和土壤 pH 值均无显著变化。原因可能是腐植酸和生物肥料既能够直接为土壤微生物提供有机能源,又能够通过改善植株营养和根际土壤环境促进微生物的繁衍并延缓土壤微生物的衰减速率,使土壤微生物能够长时间保持旺盛的生命活动^[18],以达到改良培肥土壤、增强土壤肥力、提高施肥肥效、改善作物生长环境的目的。

4 结论

施用腐植酸和生物肥后草莓长势较对照好,尤其是显著提高了草莓盛果期单果重和单株果数,而且草莓白粉病、灰霉病、烂果病的发生率显著降低,进而提高了草莓产量;施用腐植酸和生物肥能够提高草莓的蛋白质含量、草莓 Vc 含量及可溶性糖的含量,并能够显著降低草莓游离酸含量,进而提高了糖酸比,改善草莓口感,增加草莓经济价值;施用腐植酸和生物肥同时能够改善土壤农化性状,改善作物生长环境。根据产量和品质结果分析,在本试验条件下得出单独施用腐植酸效果略好于单独施用生物肥,腐植酸和生物肥配合施用,效果最佳。

参考文献:

- [1] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
Institute of Soil Science, CAS. Analytical methods of soil physics and chemistry[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1981.(in Chinese)
- [2] 卢 静, 朱 琨, 侯 彬, 等. 腐植酸与土壤中重金属离子的作用机理研究概况[J]. 腐植酸, 2006(5): 1-5.
- [3] LU Jing, ZHU Kun, HOU Bin, et al. General situation of the reaction mechanisms of humic substances with heavy metal ions in soil[J]. *Humic Acid*, 2006(5): 1-5.(in Chinese)
- [4] David P P, Nelson P V, Sanders D C. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture[J]. *J Plant Nutr*, 1994, 17(1): 173-174.
- [5] Fagbenro J A, Agboola A A. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient of teak seedlings[J]. *J Plant Nutr*, 1993, 16(8): 1465-1483.
- [6] Adani F, Genevini P, Zaccheo P, et al. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition[J]. *J Plant Nutr*, 1998, 21(3): 561-575.
- [7] 刘康怀, 李 纯, 兰俊康, 等. 广西主要类型土壤腐植酸的环境化学特征[J]. 农业环境保护, 2002, 21(1): 49-51, 62.
LIU Kang-huai, LI Chun, LAN Jun-kang, et al. Environmentally chemical features of humic acid in main types of soils in Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. *Agro-Environ Prot*, 2002, 21(1): 49-51, 62.(in Chinese)
- [8] 李 俊, 沈德龙, 姜 昕. 我国微生物肥料行业的现状与发展对策[J]. 农业质量标准, 2003(3): 27-29.
LI Jun, SHEN De-long, JIANG Xin. Status and development of microbial fertilizer industry in China[J]. *Agricultural Quality Standard*, 2003(3): 27-29.(in Chinese)
- [9] 朱昌雄, 李 俊, 沈德龙, 等. 我国生物肥料标准研究进展及建议[J]. 磷肥与复肥, 2005(4): 5-7.
ZHU Chang-xiong, LI Jun, SHEN De-long, et al. Research progress of biofertilizer standardization in China and some suggestions[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2005(4): 5-7.(in Chinese)
- [10] 盛下放, 黄为一. 硅酸盐细菌 NBT 菌株解钾机理初探[J]. 土壤学报, 2002, 39(6): 863-871.
SHENG Xia-fang, HUANG Wei-yi. Mechanism of potassium release from feldspar affected by the strain NBT of silicate bacterium[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 863-871.(in Chinese)
- [11] 王光祖. 微生物肥料对土壤肥力的影响[J]. 上海农业科技, 2005(1): 101-102.
WANG Guang-zu. The influence of microbial fertilizer on soil fertility [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2005(1): 101-102.(in Chinese)
- [12] 孙志梅, 薛世川, 王国旗, 等. 不同腐植酸复合肥施用量对辣椒产量及其养分利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 99-101.
SUN Zhi-mei, XUE Shi-chuan, WANG Guo-qi, et al. Effect of the application amount of humic acid compound fertilizer on the yield and nutrient utilization rate of pepper[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(3): 99-101.(in Chinese)
- [13] 牛明芬, 郑 耀, 崔玉珍. 生物肥料对土壤性质、作物品质和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(专辑): 74-78.
NIU Ming-fen, ZHENG Yao, CUI Yu-zhen. Effects of biological fertilizer on soil properties, crop quality and yield[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1992, 23 (album): 74-78.(in Chinese)
- [14] 王俊华, 尹 睿, 张华勇, 等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其

- 相关因素的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 191-196.
- WANG Jun-hua, YIN Rui, ZHANG Hua-yong, et al. Changes in soil enzymes, microbial biomass, and soil nutrition status in response to fertilization regimes in a long-term field experiment[J]. *Ecol Environ*, 2007, 16(1): 191-196. (in Chinese)
- [14] 赖 涛, 沈其荣, 褚冰倩, 等. 新型有机肥的氮素在土壤中的转化及其对草莓生长和品质的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 891-895.
- LAI Tao, SHEN Qi-rong, CHU Bing-qian, et al. The nitrogen transformation of new organic fertilizer in the soil and its effects on growth and quality of strawberry[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(6): 891-895. (in Chinese)
- [15] 陈道华, 刘庆玉, 艾 天, 等. 施用沼肥对温室草莓产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2007(9): 75-77.
- CHEN Dao-hua, LIU Qing-yu, AI Tian, et al. Effect of anaerobic fermentation residues on yield and quality of strawberry in solar greenhouse[J]. *Northern Horticulture*, 2007(9): 75-77. (in Chinese)
- [16] 方 勇, 邢承华, 胡繁荣, 等. 有机无机复混缓释肥对草莓产量和品质的影响[J]. 农机化研究, 2008(9): 135-138.
- FANG Yong, XING Cheng-hua, HU Fan-rong, et al. Effects of organic-inorganic slower release fertilizers on yield and quality in strawberry[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2008(9): 135-138. (in Chinese)
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Ru-kun. Methods for agriculture soil chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 2000. (in Chinese)
- [18] 毕 军, 夏光利, 毕研文, 等. 腐殖酸生物活性肥料对冬小麦生长及土壤微生物活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 99-103.
- BI Jun, XIA Guang-li, BI Yan-wen, et al. Effects of humic bio-active fertilizer on winter wheat and soil microbial activity[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 99-103. (in Chinese)
- [19] Vaughan D. A possible mechanism for humic acid action on cell elongation in root segments of *Pisum sativum* under aseptic conditions[J]. *Soil Biol Biochem*, 1974(6): 241-247.
- [20] Pinton R, Cesco S, Santi S, et al. Effect of soil humic substances on surface redox activity of oat roots[J]. *J Plant Nutr*, 1995, 18(10): 2111-2120.
- [21] Rauthan B S, Schnitzer M. Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) [J]. *Plant and Soil*, 1981(63): 491-495.
- [22] Xu X D. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat[J]. *Aust J Agric Res*, 1986(37): 343-350.
- [23] 朱 震, 张国涛, 徐阳春, 等. 产脂肽菌株发酵生物有机肥的生物防治与促生作用研究[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 104-110.
- ZHU Zhen, ZHANG Guo-yi, XU Yang-chun, et al. Bio-control and growth-promoting effects of bio-manure fermented by lipopeptide-producing bacteria[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(1): 104-110. (in Chinese)
- [24] 肖相政, 刘可星, 廖宗文. 生物有机肥对番茄青枯病的防效研究及机理初探[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2368-2373.
- XIAO Xiang-zheng, LIU Ke-xing, LIAO Zong-wen. Disease-control effect and mechanism research of biological organic fertilizer on tomato bacterial wilt[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(11): 2368-2373. (in Chinese)
- [25] 高树清, 王永杰, 赵锁成, 等. 腐殖酸在果树上的应用及展望[J]. 山西果树, 2005(2): 34-35.
- GAO Shu-qing, WANG Yong-jie, ZHAO Suo-cheng, et al. The application and prospects of humic acid in the fruit trees[J]. *Shanxi Fruits*, 2005(2): 34-35. (in Chinese)