

沼渣与化肥配合施用对温室番茄生长发育、产量及品质的影响*

谢景欢¹ 陈 钢² 袁巧霞^{1**} 林贵英¹ 王志山¹ 郭聪颖¹ 钟 辉¹

(¹ 华中农业大学工学院, 武汉 430070; ² 武汉市农业科学研究所, 武汉 430052)

摘 要 采用随机区组试验设计,研究了沼渣与化肥配合施用对番茄生长发育、产量和品质的影响.结果表明:沼渣与化肥配合施用有利于番茄生长发育,其中60%沼渣+40%化肥处理的植株生长发育状况良好,产量高于其他处理;60%沼渣+40%化肥处理果实Vc含量为91.09 mg·kg⁻¹,比对照高21.32 mg·kg⁻¹,总糖含量比对照高2.13%,果实品质有明显改善.在试验组合中,60%沼渣与40%化肥配合施用为设施番茄的最佳配比.

关键词 温室 沼渣 番茄 生长发育 产量 品质

文章编号 1001-9332(2010)09-2353-05 **中图分类号** S626.5, S216.4 **文献标识码** A

Effects of combined application of biogas residues and chemical fertilizers on greenhouse tomato's growth and its fruit yield and quality. XIE Jing-huan¹, CHEN Gang², YUAN Qiao-xia¹, LIN Gui-ying¹, WANG Zhi-shan¹, GUO Cong-ying¹, ZHONG Hui¹ (¹College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; ²Wuhan Institute of Agricultural Sciences, Wuhan 430052, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(9): 2353-2357.

Abstract: With randomized block design, a field experiment was conducted in greenhouse to study the effects of combined application of biogas residues and chemical fertilizers on the tomato growth and its fruit yield and quality. The combined application of biogas residues and chemical fertilizers benefited the tomato growth and its fruit yield and quality. The yield of the combined application of 60% biogas residues and 40% chemical fertilizers were higher than the other treatments. The fruit quality under the application of 60% biogas residue and 40% chemical fertilizers also improved significantly, with the Vc content (91.09 mg·kg⁻¹) and total sugar content being 21.32 mg·kg⁻¹ and 2.13% higher than the control, respectively. Among the test fertilization combinations, 60% biogas residue combined with 40% chemical fertilizers was the best one for greenhouse tomato's growth and its fruit yield and quality.

Key words: greenhouse; biogas residues; tomato; growth; yield; quality.

20世纪80年代以来,食品安全问题已引起越来越多的关注^[1],“积极发展绿色农业,提倡生产安全、无公害的绿色农产品”已成为世界发展趋势,而设施栽培的高投入、高产出和高品质,是实现农产品绿色化的一个重要途径.近几年,我国设施农业发展迅猛,截至2005年底,我国各类设施面积已经达到250余万hm²,其中95%以上以生产蔬菜为主^[2].但

由于大量化肥的使用,严重影响了设施蔬菜栽培的土壤环境、作物产量和品质.沼肥作为一种优质的有机肥料^[3],不仅能显著改良土壤,确保农作物生长所需的良好微生态环境,还有利于增强作物抗冻、抗旱能力,减少病虫害,提高作物产量^[4-6],其在设施栽培中的应用及与化肥配合施用方法已引起许多学者的关注.有研究表明,与未施肥处理相比,化肥与有机肥配施明显增加了玉米秸秆的氮素含量,降低了C/N^[7];有机无机复混肥处理的稻谷产量显著高于化肥处理,比化肥处理增产7.7%~19.3%^[8];沼肥和化肥混合施用能有效提高草莓产量,改善草莓

* 国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAD4B17)、武汉市科技攻关项目(200920222083)和湖北省水利厅项目资助.

** 通讯作者. E-mail: qxyuan@mail.hzau.edu.cn

2009-12-31 收稿,2010-06-30 接受.

表 1 供试沼渣养分状况
Tab.1 Nutrients of the experimental residue

项目 Item	pH	含水量 Water content (%)	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	总 氮 Total N (g·kg ⁻¹)	总 磷 Total P (g·kg ⁻¹)	总 钾 Total K (g·kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)
堆沤前 Before composting	7.17	87.80	782.34	22.28	15.97	9.02	3.62	2.82
堆沤后 After composting	6.40	64.04	533.10	7.28	12.88	8.88	2.00	2.67

品质^[9];与不施肥对照相比,化肥和有机肥基追肥各半可改善蔬菜农艺性状,使蔬菜产量提高 103%~219%,植株氮累积量增加 153%~216%,氮肥利用率明显提高^[10];在施用氮磷钾化肥基础上,每营养钵增施沼液 500 ml,不但能改善蔬菜营养品质,使莴笋和生菜硝酸盐含量分别降低 53.5%和 45.5%,而且可使两种蔬菜分别增产 51.0%和 56.7%^[11];与对照和施氮肥处理相比,田间浇灌沼液不仅可提高夏玉米地上部干物质量、叶面积指数和叶绿素含量,而且还可提高叶片中一些生物酶活性,增产效果显著^[12]. 本试验研究了沼渣与化肥不同配比对温室番茄生长发育、产量及品质的影响,以期得到沼渣与化肥配合施用的适宜比例,为设施蔬菜有机生产提供基础资料.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009 年在武汉市华中农业大学工学院试验基地的温室内进行. 供试土壤为红壤土,供试土壤基本理化性质为:pH 值 5.77,有机质 6.88 g·kg⁻¹,电导率 404 μS·cm⁻¹,总氮 0.29 g·kg⁻¹,总磷 2.68 g·kg⁻¹,田间持水量 28.17%,容重 1.05 g·cm⁻³,比重 2.76,孔隙度 61.96%.

供试作物为番茄,品种为美国红王 1 号. 沼渣来源于武汉市汉南区寒山种猪场. 新鲜沼渣静置 3 d,将上层沼液取出,沼渣和木屑以 1.83:1(干质量比)的比例混合堆沤,堆沤时间为 2009 年 1 月 8 日—4 月 6 日,4 月 7 日将沼渣按照试验设计施入土壤. 新鲜沼渣和堆沤后的沼渣养分状况见表 1. 试验用化肥为尿素(含 N 46%)、普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)和硫酸钾(含 K₂O 50%).

1.2 试验设计

采用随机区组试验设计,共设 6 个处理:100%沼渣(T₁)、80%沼渣+20%化肥(T₂)、60%沼渣+40%化肥(T₃)、40%沼渣+60%化肥(T₄)、100%化肥(T₅)、不施任何肥料(对照,CK),每处理 3 次重复. 每个小区面积为 5.4 m²(2.7 m×2 m),每小区种

植 5 行,株行距为 40 cm×50 cm,每小区定植 30 株. 试验地四周设保护行,小区间设宽 26 cm、深 40 cm 的隔离沟. 2009 年 1 月 20 日育苗,4 月 9 日移栽,9 月 26 日拉秧. 各处理栽培管理措施相同.

堆沤好的沼渣采用对角线法取样混合后进行施肥. 沼渣全部作为基肥随整地施入. 全沼渣处理(T₁)不追肥,CK 处理不施肥,其余各处理具体施肥量见表 2. 普通过磷酸钙全部做底肥,尿素和硫酸钾 50%做底肥,50%做追肥. 追肥根据番茄的需肥特性,分 5 次在不同时期施入^[13],5 次追肥占总追肥量的比例分别为 15%、20%、30%、20%和 15%.

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤和沼渣基本理化性状测定 试验前测定土壤和沼渣的基本理化性状,田间持水量采用威尔科克斯法,容重采用环刀法,比重采用比重瓶法,根据土壤容重及比重计算土壤孔隙度^[14]. 土壤含水量采用烘干法测定,有机质采用重铬酸钾容量法-稀释热法测定,总氮、总磷用流动注射分析仪测定,速效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定,全钾、速效钾采用火焰光度计法测定^[15]. pH 值采用便携式 pH 计测定,水土比为 2:1;EC 值用电导率仪法测定,水土比为 5:1.

1.3.2 果实品质测定 番茄第 3 穗果实成熟时测定各项品质目标. 维生素 C 的测定采用 2,6-二氯靛酚滴定法,总糖的测定采用蒽酮比色法^[16];总酸的测定采用 NaOH 滴定法(GB/T 123456—90);糖酸比由总糖和总酸的比值计算得到.

1.3.3 生理指标测定 在植株生长发育的苗期、开

表 2 各处理施肥量
Tab.2 Fertilizer application rate of each treatment

肥料种类 Fertilizer type	沼 渣 Biogas residues (kg)	尿 素 Urea (g)	过磷酸钙 Superphosphate (g)	硫酸钾 Potassium sulfate (g)
T ₁	34.02	0	0	0
T ₂	27.22	119.15	680.40	101.86
T ₃	20.41	238.34	1360.80	203.67
T ₄	13.35	357.49	2041.20	305.45
T ₅	0	595.83	3402.00	509.21

花期和结果初期,每处理每次随机抽取 3 株,测定株高、茎粗、叶片数和叶绿素含量指标。株高是从根茎部到生长点的距离,用直尺测量;叶片数为展开叶数,采用直接观察法;茎粗以第一片真叶下部节间为准,用游标卡尺测量;叶绿素含量用 SPAD-502 叶绿素测定仪(日本)测定,每处理随机抽取 3 株,每株分别取上、中、下 3 个部位的叶片进行测定。果实产量以累计采收量计。

1.4 数据处理

采用 Excel 软件处理数据,SPSS 11.5 统计软件进行方差分析,Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 沼渣与化肥配合施用对番茄植株生长发育的影响

2.1.1 株高和茎粗 由图 1 可以看出,苗期各施肥处理的株高变化不大,T₄ 处理最高,为 17.44 cm,比对照高 3.77 cm。开花期和结果期的株高变化明显,开花期变化相对小一些。这与番茄生育期营养分配有关,两个时期大部分养分用于生殖生长,从而使营养生长变化不明显。开花期和结果期株高都以 T₃ 处理最高,分别为 48.33 和 90 cm。同一时期各肥料处理间差异不显著,但是同一处理各生育期差异显著($P<0.05$)。

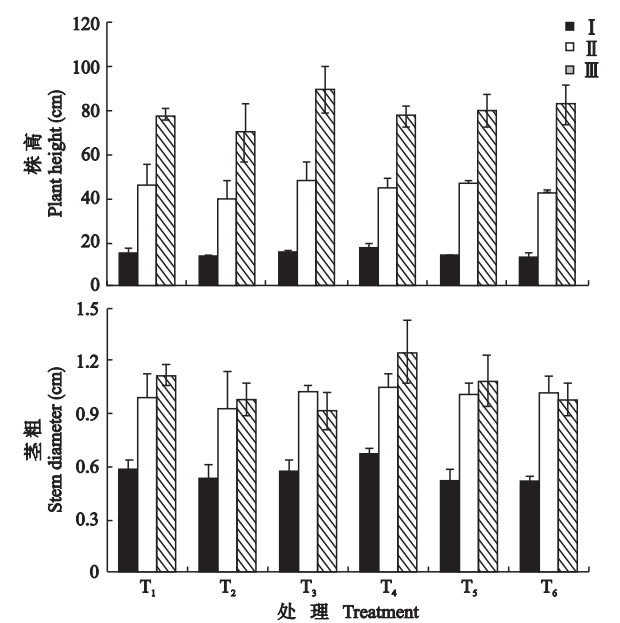


图 1 各施肥处理番茄不同生育时期株高和茎粗的变化
Fig.1 Changes of plant height and stem diameter of tomato at different growth periods under different fertilization treatments.
I: 苗期 Seedling; II: 花期 Flowering stage; III: 结果期 Fruiting stage.
下同 The same below.

茎粗和株高的变化相似,但 T₃ 和 CK 处理有茎秆变细的现象。苗期茎粗比株高变化明显,其中 T₄ 处理最大,为 0.67 cm,比对照大 0.15 cm;开花期茎粗的变化稍缓,开花期和结果期都以 T₄ 处理的茎粗最大,分别为 1.04 和 1.25 cm。开花期和结果期茎粗差异不显著,但它们与苗期差异显著;T₄ 和 T₂ 处理差异显著,其他处理间差异不显著。

2.1.2 叶片数和叶绿素含量 由图 2 可知,各个生育期不同施肥处理间叶片数变化不大,苗期 T₂ 处理叶片数最多(8.89),这是由于该处理苗期追肥量少,又施用了大量的有机肥,植株生长旺盛,叶片数较多。开花期 T₆ 处理叶片数最多(17.22),T₂ 处理叶片数最少(16.33)。结果期 T₆ 处理的叶片数最多(18.89),T₂ 处理的叶片数最少(18.22)。开花期与结果期叶片数的变化远小于苗期。各个生育期间叶片数差异显著($P<0.05$),但是各肥料处理间差异不显著。

3 个生育期的叶绿素含量变化不大,总体规律为:结果期>开花期>苗期,并且各生育期不同处理间叶绿素含量变化也较小。与株高和叶片数基本相同,各个生育阶段的叶绿素含量差异显著($P<0.05$),但是不同肥料处理间差异不显著。

2.2 沼渣与化肥配合施用对番茄产量的影响

由表3可知,T₃ 处理的产量最高,为65397 kg·

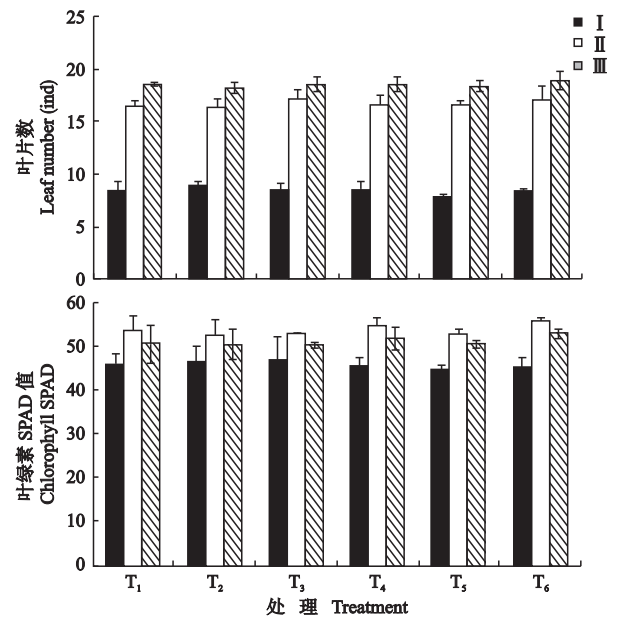


图 2 各施肥处理番茄不同生育时期叶片数和叶绿素含量的变化
Fig.2 Changes of leaf number and chlorophyll content of tomato at different growth periods under different fertilization treatments.

表 3 各施肥处理番茄产量与果实品质
Tab.3 Quality and yield of tomato fruit under different fertilizer treatments

处理 Treat- ment	产 量 Yield (kg · hm ⁻²)	总 酸 Total acid (%)	含糖量 Sugar content (%)	Vc (mg · kg ⁻¹)	糖酸比 Ratio of sugar to acid
CK	42127Aa	0.20Ab	2.91Aab	69.77Aa	14.36Aa
T ₁	49280Aa	0.16Aab	2.04Aa	75.58Aa	13.82Aa
T ₂	59767Aa	0.18Ab	5.56Bc	77.52Aa	30.72Bb
T ₃	65397Aa	0.30Bc	5.04Bc	91.09Aa	16.67Aa
T ₄	47810Aa	0.12Aa	2.47Aab	96.90Aa	20.01ABa
T ₅	46413Aa	0.29Bc	3.03Ab	75.58Aa	12.57Aa

同列不同大、小写字母分别表示处理间差异极显著 ($P<0.01$) 和显著 ($P<0.05$)。Different capital and small letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

·hm⁻²。除 T₄ 处理外其余各沼渣处理产量都比纯沼渣处理高。可见,沼渣与化肥配合施用增产效果高于纯沼渣处理。各施肥处理产量高低顺序为 T₃>T₂>T₅>T₄>T₁>T₆。各处理间差异均不显著。

T₄、T₅ 产量比对照略高,远低于沼渣与化肥组合的其他处理,这与 T₄、T₅ 生育期间发生脐腐病有关。结果初期,由于施氮肥过多,阻碍了植株对钙的吸收,进而发生脐腐病。T₄ 化肥使用量占总施肥量的 60%,化肥肥效较快,导致植株吸氮量大,影响了钙的吸收,进而产生病害。T₅ 为全化肥处理,发病原理与 T₄ 相同,并且病害比 T₄ 严重,导致两处理产量减少。T₃ 产量比 T₁ 高 16117 kg·hm⁻²,由于 T₁ 为全有机肥处理,肥效较慢,导致其产量低于其他沼渣与化肥组合处理,但与对照相比其产量仍高 17% 左右。

2.3 沼渣与化肥配合施用对番茄果实品质的影响
2.3.1 总酸 由表 3 可知,T₃ 处理总酸含量最高,为 0.30%,比对照高 0.1%,比施用纯沼渣和纯化肥处理分别高 0.14% 和 0.02%,沼渣和化肥配合使用比单纯使用沼渣和化肥效果好,它能够克服有机肥肥效缓慢和化肥肥效快、易流失等缺点;同时,T₃ 处理分别比 T₂、T₄ 处理高 0.12% 和 0.18%。T₄ 处理最低,比对照低 0.08%。不同施肥处理对总酸含量的影响差异达到显著水平。

2.3.2 总糖 沼渣与化肥组合处理中,T₂ 含糖量最高(5.56%),比对照高约 1.9 倍;其次为 T₃ 处理(5.04%),比对照高 2.13%。且 T₂、T₃ 与其他处理之间差异达到极显著水平,但二者间差异不显著(表 3)。T₁ 含糖量最低,该处理沼渣全部做基肥,整个生育期没有追肥,并且有机肥肥效慢,导致植株生长受限,进而影响光合作用,对番茄果实含糖量造成

了一定的影响。
2.3.3 Vc 由表 3 可以看出,不同施肥处理对果实 Vc 含量的影响差异不显著。T₄ 处理 Vc 含量最高,为 96.90 mg·kg⁻¹,比对照高 40%;其次为 T₃ 处理,为 91.09 mg·kg⁻¹,比对照高 21.32 mg·kg⁻¹。沼渣与化肥配合施用处理 Vc 含量都比纯沼渣和纯化肥处理高。这与杨合法等^[17]的研究结果一致,即使用沼渣、沼渣和化肥配施对提高果实 Vc 含量有一定促进作用。另外,果实 Vc 含量随着化肥追肥量的增加而增加,说明适量追施化肥有利于温室番茄 Vc 含量的提高。

2.3.4 糖酸比 糖酸比是影响番茄风味的一个重要因素,也是评价果实品质的一个重要指标。由表 3 可以看出,T₅ 处理糖酸比含量最低,为 12.57,稍低于对照处理。沼渣与化肥组合处理中,T₂ 处理含量最高,为 30.72;各处理间糖酸比差异不显著。各施肥处理糖酸比高低顺序为:T₂>T₄>T₃>T₁>T₆>T₅,可见,沼渣与化肥配合使用有利于果实糖酸比的提高,对改善果实风味有一定的作用。

3 结 论

有机肥与化肥配合使用明显改善了番茄植株的生长发育状况。其中 T₄ 处理苗期的株高和茎粗都高于其他各处理,分别比对照高 28% 和 29%,其中,株高分别比全沼渣和全化肥处理高 2.44 和 3.44 cm,茎粗分别高 0.09 和 0.15 cm。叶片数则以 T₂ 最多,其次为 T₄,分别比对照高 6.7% 和 3.3%;叶绿素含量以 T₃ 最高,分别比对照、全沼渣和全化肥处理高 1.5、0.57 和 2.14。开花期、结果期的株高和叶片数都以 T₃ 最高,分别为 48.33 cm、90 cm 和 17、18;茎粗和叶绿素含量则以 T₄ 最高,分别为 1.04 cm、1.25 cm 和 54.6、51.73。说明沼渣与化肥配合施用有利于番茄植株的生长发育,其中以 T₃(60% 沼渣)和 T₄(40% 沼渣)处理为宜。

对果实品质的影响:总酸含量以 T₃ 最高,为 0.30%;总糖含量以 T₂ 最高,为 5.56%;Vc 含量以 T₄ 最高,为 96.90 mg·kg⁻¹,其次为 T₃,为 91.09 mg·kg⁻¹;糖酸比以 T₂ 最高,为 30.72,T₅ 最低,为 12.57。说明施用纯化肥处理的植株果实风味较差。

对产量的影响:各个施肥处理中,T₃ 产量最高,为 65397 kg·hm⁻²,比对照高 23270 kg·hm⁻²,分别比 T₁、T₅ 高 16116 和 18984 kg·hm⁻²,说明沼渣与化肥配合施用比单纯施用沼渣和化肥产量高。

综上所述,各处理中, T_3 处理(60%沼+40%化)为最适施肥配比。由于本试验在温室内进行,露地栽培时沼渣与化肥的最佳配比还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Wang H-T (王洪涛), Zhang Y-F (张玉芳). Analysis about the development of pollution-free agricultural products. *Agro-Environment and Development* (农业环境与发展), 2001(4): 13-14 (in Chinese)
- [2] Li T-L (李天来). Current situation and prospects of green house industry development in China. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2005, **36**(4): 131-138 (in Chinese)
- [3] Fang R-S (方仁声), Li J-H (黎建华), Liu J-P (刘菊萍). Analysis on the effect and mechanism of biogas residues sprayed to prevent the freeze of Satsuma. *China Biogas* (中国沼气), 1999, **17**(2): 33-34 (in Chinese)
- [4] Huang Q-L (黄勤楼), Weng B-Q (翁伯奇), Tang Z-H (汤祖华), *et al.* Effect of using biogas manures on rice cultivation. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2004, **12**(2): 108-110 (in Chinese)
- [5] Krylova NI, Khabiboulline RE, Naumova RP, *et al.* Influence of ammonium and methods for removal during the anaerobic treatment of poultry manure. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1997, **70**: 99-105
- [6] Iniyan S, Sumathy K. The application of a Delphi technique in the linear programming optimization of future renewable energy options for India. *Biomass and Bioenergy*, 2003, **24**: 39-50
- [7] Chen X-L (陈兴丽), Zhou J-B (周建斌), Liu J-L (刘建亮). Effects of fertilization on carbon/nitrogen ratio of maize straw and its mineralization in soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(2): 314-319 (in Chinese)
- [8] Zhang X-L (张小莉), Meng L (孟琳), Wang Q-J (王秋君), *et al.* Effects of organic-inorganic mixed fertilizers on rice yield and nitrogen use efficiency. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(3): 624-630 (in Chinese)
- [9] Chen D-H (陈道华), Liu Q-Y (刘庆玉), Ai T (艾天), *et al.* Effect of anaerobic fermentation residues on yield and quality of strawberry in solar greenhouse. *Northern Horticulture* (北方园艺), 2007(9): 75-77 (in Chinese)
- [10] Huang D-F (黄东风), Wang G (王果), Li W-H (李卫华). Effects of different fertilization modes on vegetable growth, fertilizer nitrogen utilization and nitrogen loss from vegetable field. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(3): 631-638 (in Chinese)
- [11] Xu W-H (徐卫红), Wang Z-Y (王正银), Quan Y-M (权月梅), *et al.* Effect of application of biogas slurry on nitrate content and nutrition quality of lettuce and romaine lettuce. *Rural Eco-Environment* (农村生态环境), 2003, **19**(2): 34-37 (in Chinese)
- [12] Lü S-M (吕淑敏), Qu X-F (曲小菲), Wang L-H (王林华), *et al.* Effects of applying biogas liquid manure on the key source-sink metabolism enzymes and grain yield of summer maize. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(2): 338-343 (in Chinese)
- [13] Zhou Y-J (周永健), Xu H-J (徐和金). High-Yield Cultivation Method of Tomato. Beijing: Golden Shield Press, 1997 (in Chinese)
- [14] Institute of Soil, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所). Soil Analysis. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978 (in Chinese)
- [15] Bao S-D (鲍士旦). Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [16] Li H-S (李合生). Experimental Principles and Technique of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese)
- [17] Yang H-F (杨合法), Fan J-F (范聚芳), Hao J-M (郝晋珉), *et al.* The research of marsh fertilizer impact on tomatoes output, quality and soil fertility in protected field. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2006, **22**(7): 369-372 (in Chinese)

作者简介 谢景欢,女,1983年生,硕士研究生。主要从事设施环境、设施生理生态及有机肥应用研究。E-mail: xiejinghuan303@sina.com

责任编辑 张凤丽
