

翟亚明, 魏丽萍, 杨倩. 不同调控方式对设施盐渍化土壤特性和番茄产量及品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 871-876.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.025

## 不同调控方式对设施盐渍化土壤特性和番茄产量及品质的影响

翟亚明<sup>1,2</sup>, 魏丽萍<sup>3</sup>, 杨倩<sup>4</sup>

(1. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 绍兴市水利局, 浙江 绍兴 312000; 4. 河南农业职业学院园艺园林系, 河南 郑州 451450)

**摘要:** 针对南方地区设施土壤盐渍化问题, 通过连续 3 年的定位观测, 研究了不同调控方式对设施盐渍化土壤特性和番茄产量及品质的影响。结果表明, 秸秆覆盖、土壤结构调理剂和保水剂 3 种调控方式均有效降低了耕层土壤盐分, 脱盐效果的优劣次序为秸秆覆盖>土壤结构调理剂>保水剂。3 种调控方式均不同程度地提高了土壤有机质含量, 其中秸秆覆盖处理各时期土壤有机质含量均明显高于其他调控方式。3 种调控方式下土壤速效氮含量呈上升趋势, 而土壤结构调理剂不利于保留土壤中的速效磷和速效钾。各时期秸秆覆盖处理番茄产量最高。然而, 各时期番茄品质均以对照最佳, 土壤保水剂处理次之, 秸秆覆盖处理前 2 年番茄品质较差, 第 3 年有较大改善。投影寻踪分类模型计算结果表明, 秸秆覆盖处理为综合效益最优的调控方式, 投影值达 2.450 6, 保水剂处理综合效益相对较差。

**关键词:** 盐渍化; 番茄; 产量; 品质; 投影寻踪

**中图分类号:** S626.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)04-0871-06

## Effects of regulatory measures on characters of greenhouse saline soil and tomato yield and quality

ZHAI Ya-ming<sup>1,2</sup>, WEI Li-ping<sup>3</sup>, YANG Qian<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-drainage and Agricultural Soil-water Environment in Southern China<Hohai University>, Ministry of Education, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Water Conservancy Bureau of Shaoxing, Shaoxing 312000, China; 4. Department of Gardening, Henan Vocational College of Agriculture, Zhengzhou 451450, China)

**Abstract:** Aiming at greenhouse soil salinization in south of China, different regulatory methods were applied to study the characters of greenhouse saline soils and tomato yield and quality through a 3-year continuous field experiment in fixed position. Results showed that three regulatory methods including straw mulching, soil structure conditioner and water-retaining agent decreased the surface soil salinity, and the desalinization effects was the best by straw mulching. All three regulatory measures elevated surface soil organic matter, straw mulching outperforming other two. Available N content was improved by three regulatory measures, and soil structure conditioner could not effectively retain soil available P and K. Tomato yield with straw mulching treatment at all time was the highest. However, CK presented the best tomato quality during

experimental periods, followed by water-retaining agent treatment. Tomato quality with straw mulching treatment in the first two years was poor and improved dramatically in the third year. Calculation results of projection pursuit model showed that the straw mulching was the excellent regulatory method for its comprehensive performance with

收稿日期: 2014-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(E090203); 江苏省自然科学基金项目(BK20130838)

作者简介: 翟亚明(1982-), 男, 江苏姜堰人, 博士, 讲师, 从事盐碱地改良方面的研究。(E-mail) njzhaiyaming@126.com

the projection value reaching 2.450 6.

**Key words:** salinization; tomato; yield; quality; projection pursuit

土壤盐渍化是全球性的环境问题之一,尤其在干旱和半干旱地区。盐渍土壤约占地球陆地面积的 7%,持续的盐渍化将会导致二十一世纪中期约 50% 的耕地丧失生产能力<sup>[1]</sup>。据统计,全球  $1.5 \times 10^9$  hm<sup>2</sup> 耕地中,大约  $7.7 \times 10^7$  hm<sup>2</sup> 耕地土壤盐分过量<sup>[2]</sup>。

中国的设施栽培技术发展迅速,栽培面积已占据总农业生产面积的 11.6%<sup>[3]</sup>,且近年来,温室番茄由于其高回报和高效益,已成为设施蔬菜生产中重要的作物<sup>[4]</sup>。然而,设施栽培过程中施肥过量、施肥不均衡、灌溉不合理及缺乏淋洗等原因,导致了设施土壤的盐渍化。土壤盐渍化严重限制了番茄植株的生长发育,影响了番茄的产量,并引发脐腐病(Blossom-end rot)等生理病害<sup>[5-6]</sup>。针对设施土壤的盐渍化问题,国内外学者做了很多工作,包括膜下滴灌<sup>[7]</sup>、暗管排水<sup>[8-9]</sup>、秸秆覆盖<sup>[10]</sup>、施用土壤改良剂<sup>[11-12]</sup>等,这些技术对改良设施盐渍化土壤理化特性、提高作物产量和改善作物品质有十分积极的作用。

投影寻踪分类模型是一种可用于高维数据分析,既可以用作探索性分析又可以用作确定性分析的方法。投影寻踪分类模型能成功克服“维数祸根”带来的严重困难,排除与数据结构和特征无关的或干扰很小的变量,为使用一维统计方法解决高维问题开辟了途径。目前,投影寻踪分类模型已在“多目标、多指标”方案的优选与评价中得到广泛应用<sup>[13-14]</sup>。

尽管已有不少研究集中在外源添加物调控对设施盐渍化土壤理化特性和作物产量及品质的影响,但不同外源添加物综合效益的评价和比较工作仍不多见,关于不同调控方式对“设施盐渍化土壤-作物”系统影响的长期定位研究则更为匮乏。本研究开展了为期 3 年的定位观测试验,探索不同调控方式对设施盐渍化土壤的盐分、有机质、速效养分含量和番茄产量及品质的影响机制,旨在为设施盐渍化土壤生态系统的改良提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于南京市江宁区横溪蔬菜花卉研究所(纬度 31°43'N,经度 118°46'E)的设施大棚中进行。试

验地年平均降雨量约为 1 106.5 mm,主要降雨时间为 6 月末至 7 月中旬。年平均温度为 15.7℃,年平均湿度约为 81%。试验大棚位于横溪蔬菜花卉研究所东片试验区,主作番茄,土壤由于连作已发生严重的次生盐渍化。试验从 2010 年 5 月 10 日开始,至 2013 年 9 月 25 日结束,持续时间共约 3 年。试验前土壤基本理化性质如下:pH 7.91,有机质含量 8.92 g/kg,总氮含量 0.85 g/kg,速效磷含量 13.13 mg/kg,速效钾含量 78.42 mg/kg,耕层土壤盐分含量 3.32 g/kg。

### 1.2 试验设计

共设计 3 种外源添加物调控方案修复盐渍化土壤,包括秸秆覆盖、土壤结构调理剂和土壤保水剂处理,并设无添加物处理为对照。秸秆覆盖处理选用 4~8 cm 的水稻秸秆段,覆盖量为 6 000 kg/hm<sup>2</sup>,于番茄幼苗移栽后 20 d 进行覆盖;土壤结构调理剂选用“康地宝”(中国农业大学研发,其大分子可与土壤中的盐离子迅速结合,改善土壤团粒结构),施用量为 22.5 kg/hm<sup>2</sup>,在番茄幼苗移栽前按照 1/1 500 稀释比例均匀喷洒于土壤表面,随灌溉次数的增多土壤结构调理剂能均匀地分布在耕层土壤中;土壤保水剂采用法国进口 MP3005KM 牌土壤保水剂(聚丙烯酸材料,白色晶体,无色无毒),用量为 30 kg/hm<sup>2</sup>,番茄幼苗移栽前,将保水剂进行充分吸水处理并施用于耕层土壤。

试验过程中,一年仅种植一季番茄。每年的 6 月中旬左右,当其他试验条件全部落实后,将番茄幼苗(品种大红宝)移植于试验区,缓苗期间,各处理采用相同的田间管理方法。为创造适宜的生长环境,试验区进行翻土起垄,垄宽 60 cm,每 2 个垄之间的间距为 100 cm,垄高约 6 cm。每条垄种植 2 行番茄,行距约 40 cm。将每 12 株番茄划分为 1 个 220 cm×60 cm 的微区,10 个微区设定为 1 个处理,相同处理的调控方式相同。为提供番茄生长发育所需养分,田间施用 700 kg/hm<sup>2</sup> 的复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:2:2),灌溉及其他田间管理方式按常规方法进行。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 耕层土壤盐分、有机质、速效养分含量 土壤样品经自然风干后磨碎,过 2 mm 筛,进行相关指

标的测定。土壤盐分、有机质和速效氮磷钾含量的测定参照文献[15]。

**1.3.2 番茄产量** 每个处理随机取 30 个番茄,分别测定番茄单果质量和体积(采用排水法)。番茄产量依据平均单果质量与果数计算。

**1.3.3 番茄品质** 番茄成熟后,每株随机选择 2 个番茄,沿纵轴方向取 10 g 果肉并混合均匀(每个处理取 20 个番茄)。可溶性固形物采用日本 ATAGO 公司生产的数字折射仪 ACT-1E 测定,总糖采用斐林滴定法测定,总酸采用 NaOH 滴定法测定,维生素 C 采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定<sup>[16-17]</sup>。

#### 1.4 数据处理

显著性分析与番茄品质的主成分分析计算采用 SPSS17.0 软件。

## 2 结果

### 2.1 不同调控方式对耕层土壤盐分的影响

图 1 所示为不同调控方式对耕层土壤盐分的影响。耕层土壤盐分整体上波动性下降,每年 6-9 月为番茄生育期,盐分含量由于灌溉作用下降显著;而 6 月之前盐分整体呈上升趋势,这可能由于该段时期土壤没有经过灌溉淋洗,加上蒸发强烈,出现返盐现象。总体而言,秸秆覆盖和土壤结构调理剂的去盐效果要优于对照和土壤保水剂,至 2013 年 9 月,秸秆覆盖和土壤结构调理剂处理的耕层土壤盐分分别比对照低 49.48% 和 43.91%。其中秸秆覆盖处理去盐效率最高,3 年耕层土壤脱盐率高达 80.72%。

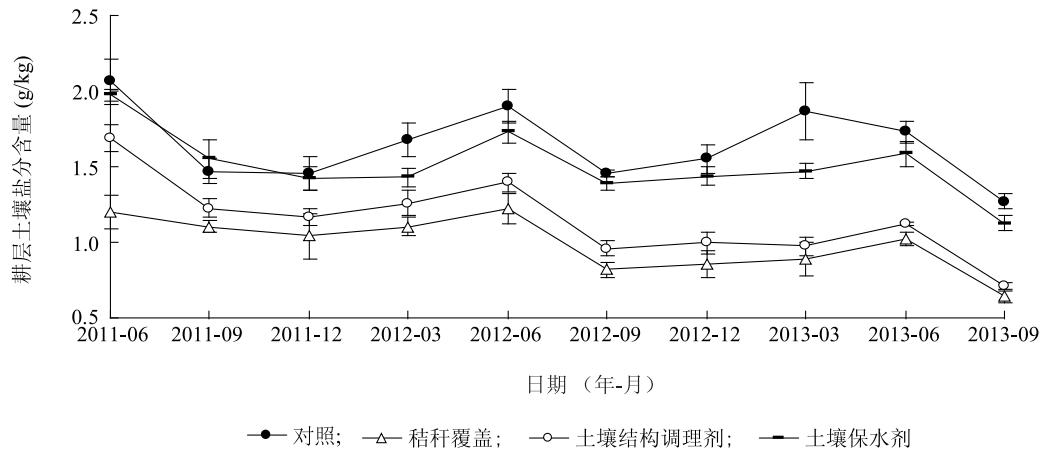


图 1 不同调控方式下耕层土壤盐分含量的变化

Fig. 1 Dynamics of soil salinity in topsoil with regulatory methods

### 2.2 不同调控方式对耕层土壤有机质含量的影响

土壤有机质含量是评价土壤改良效果的重要指标之一。表 1 所示为不同调控方式对耕层土壤有机质含量的影响。从表 1 中可以看出,不同调控方式对耕层土壤有机质含量的增加有明显的促进作用,其中秸秆覆盖处理各时期耕层土壤有机质含量均显著高于其他处理( $P < 0.05$ )。土壤结构调理剂和保水剂对耕层土壤有机质含量的影响不如秸秆覆盖明显。对照土壤有机质含量也有一定上升,这可能是番茄栽培时施肥的结果。

### 2.3 不同调控方式对耕层土壤速效养分含量的影响

图 2 所示为不同调控方式下耕层土壤速效养分的变化。速效氮含量随试验期的推进有所升高,秸

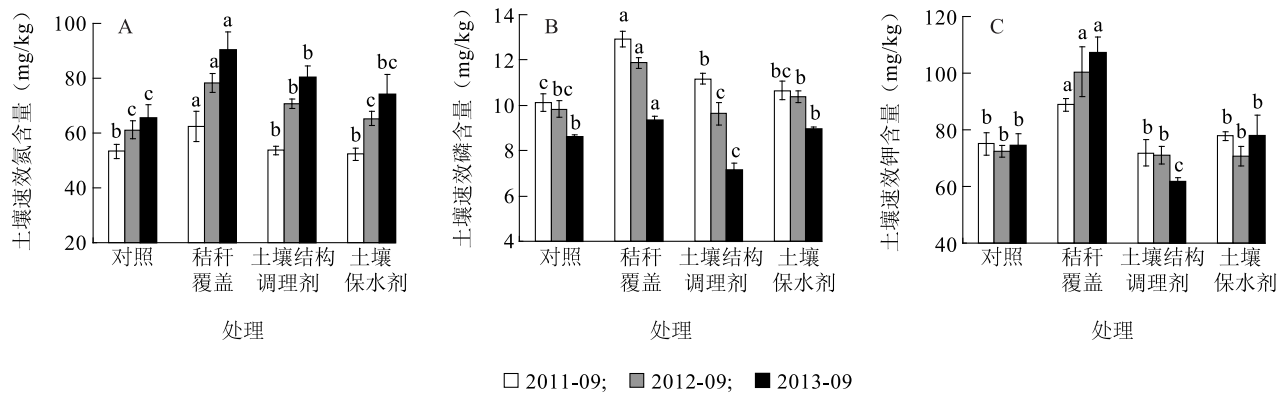
秆覆盖处理增幅最为明显,2013 年 9 月达到峰值 (90.29 mg/kg),土壤结构调理剂处理次之,土壤保水剂处理增幅相对较小。与速效氮含量变化规律不同,速效磷含量随时间呈下降趋势,3 种调控方式中,土壤结构调理剂处理耕层土壤速效磷含量下降最为明显,相比而言,秸秆覆盖处理保留了更多速效磷,3 年中分别比对照高 27.32%、20.63% 和 8.48%;而土壤保水剂处理各时期速效磷含量与对照差异不明显。秸秆覆盖处理耕层土壤速效钾含量上升十分明显,2013 年 9 月达到 107.90 mg/kg;相反,土壤结构调理剂处理耕层土壤速效钾含量较试验前下降了 21.44%,其中 2012-2013 下降尤为明显。

表 1 不同调控方式下耕层土壤有机质含量的变化

Table 1 Changes of organic matter content in topsoil with different regulatory methods

日期	耕层土壤有机质含量 (g/kg)			
	对照	秸秆覆盖处理	土壤结构调理剂处理	土壤保水剂处理
2010-05	8.92a	8.92a	8.92a	8.92a
2010-09	9.16b	9.78a	9.34b	9.22b
2011-09	9.38b	10.87a	10.12ab	9.45b
2012-09	9.65c	11.65a	10.76b	9.89c
2013-09	9.96d	12.12a	11.12b	10.31c

同一行中不同字母表示差异达 0.05 显著水平。



A: 土壤速效氮; B: 土壤速效磷; C: 土壤速效钾。不同字母表示同一年份不同处理间差异达 0.05 显著水平。

图 2 不同调控方式下耕层土壤速效养分含量的变化

Fig. 2 Changes of soil nutrient in topsoil with different regulatory methods

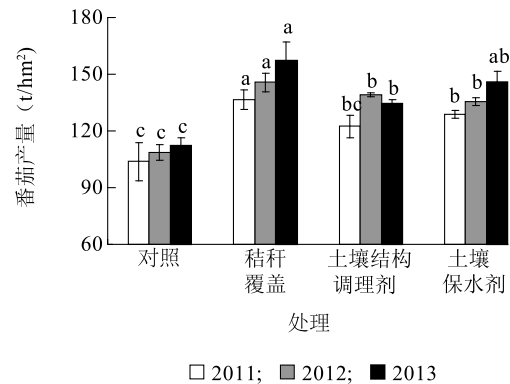
## 2.4 不同调控方式对番茄产量的影响

从图 3 中可看出,各时期 3 种调控方式番茄产量均显著高于对照 ( $P < 0.05$ ),这可能是外源添加物的施用有效降低了耕层土壤盐分,为番茄的生长发育营造了良好的环境。3 种调控方式中,秸秆覆盖处理各时期番茄产量均明显高于土壤结构调理剂和保水剂处理。

## 2.5 不同调控方式下番茄品质的主成分分析

番茄品质是一个综合的概念,涉及指标众多,评价难度较大<sup>[16]</sup>。为了明确不同调控方式对番茄品质的影响,本研究采用主成分分析法对番茄的品质指标进行主成分提取。

以 2011 年观测结果(表 2)为例,番茄密度和单果体积均以秸秆覆盖处理最高;可溶性固形物含量、Vc 含量和糖酸比均以对照最高;总酸含量以秸秆覆盖处理最低。对表 2 中的指标进行主成分提取,提取原则为特征值 > 1、累积贡献率 > 80%<sup>[18]</sup>。提取所得特征值为 5.152,累积贡献率为 85.862%,说明提取结果保留了较多的原始信息。计算番茄综合品质



不同字母表示同一年份不同处理间差异达 0.05 显著水平。

图 3 不同调控方式对番茄产量的影响

Fig. 3 Effect of different regulatory methods on tomato yield

得分。从计算结果(图 4)中可看出,2011 年番茄的综合品质以对照最优,土壤保水剂处理次之,秸秆覆盖处理最差。

采用同样的方法计算 2012 与 2013 年番茄品质综合主成分,发现对照番茄品质均处于较优水平;秸秆覆盖处理 2011 年和 2012 年番茄综合品质较差,2013 年有



较大改善;土壤结构调理剂处理番茄品质呈下降趋势; 而土壤保水剂处理番茄品质的变化规律不明显。

表 2 2011 年番茄主要品质指标

Table 2 Major quality indexes of tomato in 2011

处 理	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	体积 (cm <sup>3</sup> )	可溶性固形物含量 (%)	总酸含量 (g/kg)	Vc 含量 (mg/kg)	糖酸比
对照	0.940a	114.34b	7.66a	6.72b	138.2a	9.61a
秸秆覆盖	0.957a	138.98a	6.95b	5.98c	118.0c	8.79c
土壤结构调理剂	0.948a	127.87ab	7.12ab	6.21c	125.4b	9.04b
土壤保水剂	0.948a	122.05b	7.25ab	7.46a	135.5a	9.11b

同一列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

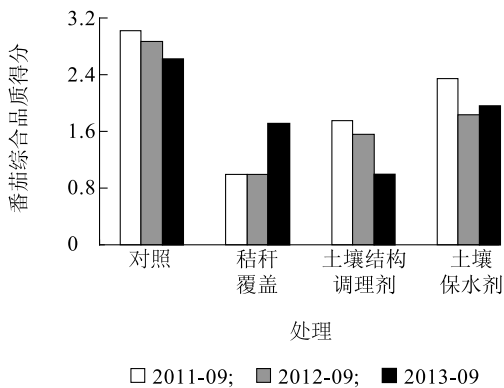


图 4 不同调控方式下番茄品质的综合主成分

Fig. 4 Comprehensive principal component of tomato quality with different regulatory methods

## 2.6 调控方式的优选

调控方案的优选与评价问题是多目标多指标的决策问题。以 3 季番茄的品质、产量和每年 9 月所测耕层土壤盐分为主要评价指标,建立投影寻踪分类模型,对不同调控方案的综合效益进行评价。投影寻踪分类模型的实质是采用计算机技术,通过把高维数据投影至低维子空间,寻找可以反映原高维数据结构或者特征的投影,在低维空间研究数据的结构,从而达到分析和处理高维数据的目的<sup>[19]</sup>。投影寻踪分类模型的建立步骤参照文献<sup>[19]</sup>、<sup>[20]</sup>。

本研究共有 4 个评价目标,9 个评价指标,其中土壤盐分为“越低越优”指标,番茄产量和品质综合主成分为“越大越优”指标。利用 Matlab7.1 建立投影寻踪分类模型。在遗传算法优化过程中选定父代初始种群规模为  $n=400$ ,交叉概率  $P_c=0.8$ ,变异概率  $P_m=0.8$ ,优秀个体数目选定为 20 个,  $\alpha=0.05$ ,加速 20 次。得到最大投影指标值为 0.390 8,最佳

投影方向  $a_j^* = (0.052\ 9, 0.020\ 6, 0.114\ 3, 0.342\ 8, 0.516\ 2, 0.436\ 6, 0.349\ 8, 0.408\ 4, 0.346\ 4)$ , 4 个处理的投影值 ( $z_i^*$ ) 依次为 0.248 7、2.450 6、1.767 7、1.086 4。依据投影值越大综合效益越优的准则,秸秆覆盖为综合效益最佳的处理,土壤结构调理剂处理次之,土壤保水剂处理较差。

## 3 讨论

秸秆覆盖、土壤结构调理剂处理和保水剂处理 3 种调控方式均有效降低了耕层土壤盐分含量,脱盐效果的优劣次序为秸秆覆盖>土壤结构调理剂>保水剂。这可能由于秸秆覆盖有效抑制了土壤水分蒸发,盐分从较深层次土壤返至耕层土壤较为困难,而不断的灌溉淋洗加速了耕层土壤盐分向深层次土壤迁移,这与刘广明等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。3 种调控方式均能提高土壤有机质含量,其中秸秆覆盖处理各时期土壤有机质含量均明显高于其他调控方式。这可能由于秸秆本身有机质含量较高,也可能由于秸秆覆盖降低了养分的流失<sup>[21]</sup>。而对照土壤有机质含量略有上升,可能更多源自番茄栽培时施肥的结果。3 种调控方式下土壤速效氮含量均呈上升趋势,而土壤结构调理剂不利于保留土壤中的速效磷和速效钾,这也提示在施用土壤结构调理剂时应适当增加磷肥及钾肥的施用量。

从番茄产量来看,3 种调控方式具备不同程度的增产效益,其中以秸秆覆盖处理番茄产量最高,这一结果充分印证并补充了王学征<sup>[22]</sup>和 Qin 等<sup>[23]</sup>的研究成果。然而,各年份番茄品质均以对照最佳,土壤保水剂处理次之;秸秆覆盖处理 2011 和 2012 年番茄品质较差,2013 年有较大改善。本研究还发现,较高土壤盐分有利于番茄品质的形成,这与鲁少

尉等<sup>[24]</sup>的研究结果相似,鲁少尉等研究发现,土壤适度盐胁迫可增强蔗糖转化酶活性,提高果实中可溶性固形物含量、可溶性糖含量和糖酸比。

投影寻踪分类模型在多目标多指标的方案优选中的应用已相对成熟,然而,单项指标包含的子项数目过多常常使优选结果受该项指标的影响过大,从而降低了结果的可靠性。本试验中,品质指标包含因素众多,而将其用主成分分析法“化零为整”再用投影寻踪分类模型进行计算后,各指标权重分配合理,获得的结果更为客观、科学,这也为统计学模型在农业科研中的应用提供了新的思路。

### 参考文献:

- [1] ABDEL L A A H, HE C X. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 127(3): 228-233.
- [2] SHENG M, TANG M, CHEN H, et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress[J]. *Mycorrhiza*, 2008, 18(6-7): 287-296.
- [3] SUN Y, HU K L, FAN Z B, et al. Simulating the fate of nitrogen and optimizing water and nitrogen management of greenhouse tomato in North China using the EU-Rotate\_N model[J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 128: 72-84.
- [4] QIU R J, SONG J J, DU T S, et al. Response of evapotranspiration and yield to planting density of solar greenhouse grown tomato in northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 130: 44-51.
- [5] MAGÁN J J, GALLARDO M, THOMPSON R B, et al. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(9): 1041-1055.
- [6] SHAO X H, HOU M M, CHEN J N. Effects of EM-calcium spray on Ca uptake, blossom-end rot incidence and yield of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) [J]. *Research on Crops*, 2013, 14(4): 1159-1166.
- [7] HANSON B, MAY D. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 68(1): 1-17.
- [8] SHAO X H, HOU M M, CHEN L H, et al. Evaluation of subsurface drainage design based on projection pursuit[J]. *Energy Procedia*, 2012, 16: 747-752.
- [9] ZHANG J, CHANG T T, SHAO X H. Improvement effect of subsurface drainage on secondary salinization of greenhouse soil and tomato yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(3): 81-86.
- [10] JORDÁN A, ZAVALA L M, GIL J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain[J]. *Catena*, 2010, 81(1): 77-85.
- [11] ASGHARI S, ABBASI F, NEYSHABOURI M R. Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil[J]. *Biosystems Engineering*, 2011, 109(1): 90-97.
- [12] WELFARE K, FLOWERS T J, TAYLOR G, et al. Additive and antagonistic effects of ozone and salinity on the growth, ion contents and gas exchange of five varieties of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Environmental Pollution*, 1996, 92(3): 257-266.
- [13] 金菊良,刘永芳,丁晶,等. 投影寻踪模型在水资源工程方案优选中的应用[J]. *系统工程理论方法应用*, 2004(1): 81-84.
- [14] 金菊良,汪明武,魏一鸣. 客观组合评价模型在水利工程方案优选中的应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2004(12): 111-116.
- [15] 刘广明,杨劲松,吕真真,等. 不同调控措施对轻中度盐碱土壤的改良增产效应[J]. *农业工程学报*, 2011, 4(9): 164-169.
- [16] 邵光成,郭瑞琪,蓝晶晶,等. 避雨栽培条件下番茄灌排方案熵权系数评价[J]. *排灌机械工程学报*, 2012, 30(6): 733-737, 744.
- [17] YURTSEVEN E, KESMEZ G D, NLÜKARA A. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*) [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 78(1-2): 128-135.
- [18] BABA OGLU I, FINDIK O, BAYRAK M. Effects of principle component analysis on assessment of coronary artery diseases using support vector machine[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(3): 2182-2185.
- [19] 朱成立,陈婕,冯宝平,等. 基于投影寻踪的滨海盐碱地改良综合效应评价[J]. *水利水电科技进展*, 2013(2): 20-25.
- [20] HOU S, WENTZELL P D. Fast and simple methods for the optimization of kurtosis used as a projection pursuit index[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2011, 704(1-2): 1-15.
- [21] 郑九华,冯永军,于开芹,等. 秸秆覆盖条件下微咸水灌溉棉花试验研究[J]. *农业工程学报*, 2002, 6(4): 26-31.
- [22] 王学征. 设施环境盐分胁迫对番茄生长发育及膜系统影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2004.
- [23] QIN J T, HU F, ZHANG B, et al. Role of straw mulching in non-continuously flooded rice cultivation[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 83(3): 252-260.
- [24] 鲁少尉,齐飞,李天来. 盐胁迫对番茄果实糖含量及蔗糖代谢的影响[J]. *中国蔬菜*, 2012(20): 56-61.

(责任编辑:张震林)