

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.04.017

灌溉水质水量对番茄影响的主成分分析

王伟娜^{1,2},邵孝侯^{1,2},程晋^{1,2},常婷婷^{1,2},尹超^{1,2},王春芳^{1,2}

(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)

摘要:为探讨不同灌溉水质和水量对设施大棚番茄品质及产量的影响,采用主成分分析法对污水、再生水和清水3种不同水质和灌溉水量处理的番茄各项品质指标及产量进行综合评价。结果表明,所选取的4个主成分的累积贡献率达到89.70%。不同灌溉水质水量处理情况下,番茄果实中所含的维生素C、硝酸盐、可溶性蛋白差异显著,可溶性糖、产量、灌溉水利用效率差异不显著。试验所采用的3种水质和水量条件下:数据经隶属函数处理的综合评价排名结果表明,水质为再生水、灌溉定额为360 mm的灌溉条件最佳;2种数据平均排名结果表明,水质为再生水、灌溉定额为320 mm和360 mm的处理较佳。

关键词:设施农业;大棚蕃茄种植;主成分分析;灌溉水质;灌溉水量;污水灌溉

中图分类号:S274 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2014)04-0372-05

Principal component analysis of effects of irrigation water quality and quantity on tomato quality

WANG Weina^{1,2}, SHAO Xiaohou^{1,2}, CHENG Jin^{1,2},
CHANG Tingting^{1,2}, YIN Chao^{1,2}, WANG Chunfang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to investigate the effects of different irrigation water quality and quantity levels on the quality and yield of greenhouse tomatoes, principal component analysis was conducted for comprehensive evaluation of the effects of three types of water, which were sewage, reclaimed water, and fresh water, and the irrigation amount on the quality and yield of tomatoes. The results show that the accumulative contribution rate of four selected principal components was 89.70%. There existed significant differences in vitamin C, nitrate, and soluble protein, but insignificant differences in soluble sugar, yield, and irrigation water utilization efficiency with different irrigation water quality and quantity treatments. Under the experimental conditions introduced above, the comprehensive evaluation results of the data handled by the membership function ranking showed that reclaimed water with an irrigation amount of 360 mm was the optimal irrigation condition. Average ranking results of the two sets of data showed that reclaimed water with irrigation amounts of 320 mm and 360 mm had a better effect.

Key words: controlled environmental agriculture; greenhouse tomato cultivation; principal component analysis; irrigation water quality; irrigation water quantity; sewage irrigation

收稿日期: 2013-04-15

基金项目: 国家自然科学基金(51179054); 国家科技支撑计划(2012BAB03B03); 水利部公益性行业科研专项(201301017)

作者简介: 王伟娜(1988—),女,黑龙江鹤岗人,硕士研究生,主要从事农业污水灌溉理论及技术研究。E-mail: wangweinaqingzhu1110@126.com

通信作者: 邵孝侯,教授。E-mail: shaoxiaohou@163.com

番茄是我国设施栽培中最重要的蔬菜品种之一,在我国农村经济发展和城乡“菜篮子”供给中占有十分重要的地位^[1]。

由于农业水质性缺水问题日趋严重,污水经一定处理后的再生水应用于农业灌溉已成为研究热点^[2-4]。污水再生回用农业,可以增加灌溉水源,且减少化肥用量。然而,未经处理的污水直接灌溉农田会导致作物贪青晚熟、减产和品质劣化^[5]。许多研究表明,污水灌溉虽然在一定程度上影响果蔬品质,但若采用合理的灌溉方式或将处理后的污水再用于灌溉,作物的品质指标并不会差于相应规定标准^[6-10]。

EM 技术自 1992 年传入中国后被广泛应用于种植业和养殖业,证实其在促进动植物生长、提高农畜产品品质和改善土壤生态环境等诸多方面具有良好的综合功效。EM 技术已应用于有机污水的处理和回用,效果明显^[11]。

主成分分析法由 Hotelling 于 1993 年首先提出,目前主要应用于环境评价方面^[12-14],在农业方面也开始应用^[15-16]。王峰等^[17]应用主成分分析法对番茄品质进行评价,得出节水高效的亏水灌溉制度; Baert 等^[18]对于干旱胁迫条件下的葡萄品质进行主成分分析;田贺等^[19]应用主成分分析法对茶属植物果实品质的主要性状进行综合评选,效果较好。主成分分析法用于再生水灌溉条件下设施栽培作物品质综合评价的研究还不多,笔者用该方法对不同灌溉水质和水量处理的结果进行综合评价,旨在为设施栽培番茄再生水灌溉提供理论和试验依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点在江苏省南京市江宁区横溪镇的南京市蔬菜花卉科学研究所,土壤为黄棕壤,质地黏重,有机质含量(质量比,下同)14. 209 g/kg,全氮含量 0. 900 g/kg,碱解氮含量 129. 9 mg/kg,全磷含量 0. 363 g/kg,速效磷含量 27. 2 mg/kg,pH 值 5. 87,0~60 cm 土壤密度 2. 6 g/cm³、田间持水量 28. 0%。当地年平均降雨天数 117 d,年降雨量 1 106. 5 mm,每年 6 月下旬至 7 月为梅雨季节,年平均温度 15. 7℃,最大平均湿度 81%,最大风速 19. 8 m/s,无霜期 237 d/a。

1.2 试验设计

试验在塑料大棚中进行,前作为番茄。供试作物番茄的品种为“番茄大红”。番茄施肥制度按当地习惯,各处理相同。从横溪镇某奶牛场采集污水,灌溉时分别将污水和污水经 EM 处理的再生水进行稀释。试验设计为裂区试验,以清水灌溉作为对照,设置 3 种灌水量,9 个处理分别标记为 1-1、1-2、1-3、2-1、2-2、2-3、3-1、3-2、3-3,如表 1 所示,每个处理重复 3 次。不同处理的水质指标如表 2 所示。

表 1 不同处理设计

Table 1 Different treatment designs

处理	水质	灌溉定额/ mm	处理	水质	灌溉定额/ mm	处理	水质	灌溉定额/ mm
1-1	清水	280	2-1	再生水	280	3-1	污水	280
1-2	清水	320	2-2	再生水	320	3-2	污水	320
1-3	清水	360	2-3	再生水	360	3-3	污水	360

注:灌溉用污水采用体积比 1: 29(1 体积废水: 29 体积清水),稀释后的废水为劣 V 类水质。灌溉用再生水为经 EM 复壮液(接种量为 5%,培养 5~7 d,pH 降到 3.5 以下)处理 10 d 后的污水,EM: 废水=3: 100(即每 100 L 废水中加入 EM 扩大液 3 L)。

表 2 不同处理的水质指标

Table 2 Water quality indicators in different treatments

水质	$\rho(\text{NO}_3\text{-N})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_4\text{-N})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{EC})/$ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH	$\rho(\text{TP})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	大肠杆菌群数/ (个 $\cdot\text{L}^{-1}$)
清水	8. 71	2. 12	145	7. 89	1. 7	15. 3	18	—
污水	30. 23	1. 45	662	7. 94	8. 6	42. 34	3 820	<10000
再生水	15. 57	20. 01	149	7. 23	6. 2	35. 3	642	<10000

1.3 试验分析方法和数据处理

番茄果实品质指标测定方法如下:(a)硝酸盐:酚二磺酸比色法;(b)维生素 C(以下简称 V_c):钼蓝比色法;(c)可溶性蛋白:考马斯亮蓝染色法;(d)可溶性糖:蒽酮-浓硫酸比色法。

采用 SPSS 软件与 Excel 软件结合对数据进行显著性分析和主成分分析。

2 试验结果分析与讨论

2.1 不同灌溉水质和水量对番茄品质的影响分析

不同灌溉水质和水量对番茄果实中硝酸盐、V_C、可溶性蛋白、可溶性糖、产量、灌溉水利用效率的影响结果及显著性分析结果见表 3。从表 3 可以看出,处理相互间硝酸盐、V_C、可溶性蛋白差异性显著;水质为再生水时硝酸盐含量差异不显著,水质为清水的硝酸盐含量明显高于再生水和污水;不同灌溉水质、水量的果实 V_C 含量差异显著,说明不同灌溉条件对番茄 V_C 合成影响显著。果实中可溶性蛋白含量受灌溉水影响情况为污水>再生水>清水,且当水质为再生水和污水时,随灌水量增加其可溶性蛋白含量逐渐增加,清水正好相反;可溶性糖、单位面积产量、灌溉水利用效率差异不显著,当灌溉水质为污水且灌溉定额为 280 mm 时果实的可溶性糖含量最高,说明在此灌溉条件下有利于番茄糖分积累;不同灌溉条件下单位面积的产量差别不大;处理 1-1 灌溉水利用效率明显高于其他处理。鉴于仅从番茄的某一个品质和产量指标并不能综合判断不同灌溉水质、水量条件的优劣排序,为得出最佳灌溉条件,还需对指标进行相关的数学统计分析。

表 3 不同灌溉水质和水量对各项指标影响

Table 3 Effects of different irrigation water quality and quantity on indicators							
处理	$\rho(\text{硝酸盐})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\rho(\text{V}_\text{C})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\rho(\text{可溶性蛋白})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\rho(\text{可溶性糖})/\%$	产量/ (t · hm ⁻²)	灌溉定额/ mm	灌溉水利用 效率/(kg · m ⁻³)
1-1	48.67	100.11	222.14	2.54	18.16	280	6.48
1-2	70.07	133.78	180.76	2.35	11.96	320	4.59
1-3	53.62	95.24	170.61	2.46	4.83	360	3.16
2-1	20.09	110.83	463.78	2.60	11.61	280	4.88
2-2	27.31	63.02	584.55	2.37	14.69	320	1.34
2-3	21.59	190.88	583.08	2.24	17.55	360	3.74
3-1	5.49	119.09	691.41	4.41	12.28	280	4.15
3-2	30.16	89.37	749.91	2.53	10.71	320	3.35
3-3	58.27	77.49	769.29	1.76	11.39	360	4.39

注:灌溉水利用效率=产量/灌水量。

2.2 利用主成分分析确定最优灌溉条件

为得出试验的最佳灌溉条件即最佳灌溉水质和水量,对以上指标进行主成分分析。数据处理采用不转换和将数据进行隶属函数转换 2 种方式,处理后利用 SPSS 软件进行主成分分析,得到 2 种数据处理方式下的特征值及累积贡献率。确定主成分的原则如下:特征值大于 1.0 或累积方差贡献率 85% 以上的因子数定为主成分个数,该因子即为主成分^[20]。将各主成分分值和贡献率代入式(1)~(3)计算(正相关指标依据式(1)计算,负相关指标依据式(2)计算,文中取硝酸盐指标为负相关指标,其他指标均定为正相关指标),得到综合得分,按照该得分进行比较,列出综合排名即可初步判断最佳灌溉模式。

隶属函数数据转换公式如下:

$$U_{in} = \frac{X_{in} - X_{in\min}}{X_{in\max} - X_{in\min}}$$

(1)

$$U'_{in} = 1 - \frac{X_{in} - X_{in\min}}{X_{in\max} - X_{in\min}}$$

(2)

主成分分析法得到综合分值公式如下:

$$D_n = \sum_{i=1}^m F_{jn} E_j$$

(3)

式中: U_{in} 、 U'_{in} ——第 n 个指标第 i 个处理的原始数据经转化后的隶属函数值; X_{in} ——第 n 个指标第 i 个处理的原始测定结果; $X_{in\max}$ 、 $X_{in\min}$ ——样品组中第 i 个处理的最大和最小值; D_n ——主成分分析法得到的各处理果实指标的综合分值; F_{jn} ——第 n 个指标第 j 个特征值大于 1 的主成分分值; m ——特征值大于 1 的主成分个数; E_j ——第 j 个主成分的贡献率。

数据经隶属函数转换后再进行主成分分析,得到特征值和相应的贡献率(表 4)。根据主成分判断原则,特征值大于 1,从表中选择 3 个主成分方可,但是其累积贡献率为 77.24% (不到 80%),故选择 4 个主成分。

第一主成分的特征值为 2.32,其贡献率为 33.11%;第二主成分的特征值为 1.80,其对应的贡献率为 25.76%;第三主成分的特征值为 1.29,其对应的贡献率 18.38%;第四主成分的特征值为 0.87,其对应的贡献率为 12.46%。

表 4 主成分系数矩阵及特征值、贡献率及累积贡献率

主成分	主成分系数矩阵				特征值	贡献率/%	累积 贡献率/%
	第 1 列	第 2 列	第 3 列	第 4 列			
V1	0.36	-0.23	0.12	0.12	2.32	33.11	33.11
V2	0.10	0.22	0.53	0.64	1.80	25.76	58.86
V3	0.16	-0.39	0.24	-0.38	1.29	18.38	77.24
V4	0.35	-0.05	-0.28	0.44	0.87	12.46	89.70
V5	0.19	0.21	0.45	-0.55	0.48	6.78	96.48
V6	-0.32	-0.19	0.37	0.26	0.18	2.50	98.98
V7	0.08	0.47	-0.06	-0.16	0.07	1.02	100.00

注:将各主成分定义为 V1~V7。

将主成分系数矩阵和标准化后的数据相乘得到各主成分的得分,然后将所得主成分得分和权重系数分别相乘得到最后得分,即可得到 9 种灌溉条件的得分排名。得分越高,其对应灌溉条件下的番茄综合评价越好,即番茄质量和产量均相对较好。将表 4 数据和转化后的数据代入式(3)计算,再综合得分排名,结果见表 5。

若将 2 种数据转换方式下的综合排名平均,则处理 2-3 排名第二。所以灌溉水质为再生水、灌溉定额为 360 mm 时番茄品质较

优,产量较高。根据最后平均排名得出最佳灌溉条件为处理 1-1。但从节水和污水再生利用的角度考虑,处理 2-3 和处理 3-1 为适宜的设施番茄灌溉模式,它们不但能解决污水直接排放造成污染环境的后顾之忧,而且番茄生长可利用污水和再生水中的养分资源,减少施肥量,降低生产成本。

3 结 论

a. 不同灌溉水质水量导致番茄中 V_c 含量差异显著;当灌溉水质为再生水时番茄中的硝酸盐含量差异不显著,当水质为清水时番茄中硝酸盐含量明显高于再生水和污水;从不同灌溉水质来看,污水灌溉时番茄中可溶性蛋白含量大于再生水时的可溶性蛋白含量,再生水时的可溶性蛋白含量大于清水时的可溶性蛋白含量;可溶性糖、单位面积产量、灌溉水利用效率差异不显著。

b. 因试验处理对相关指标影响差异不明显且单一指标无法综合评价处理优劣的情况,故选择主成分分析综合评价的方法。该方法具有客观性,避免了主观随意性^[14]。分析结果表明,选择 4 个主成分,其累积贡献率达到 89.70% (即提供了原来数据 89.70% 的信息),经隶属函数转化数据后计算综合得分,处理 2-3 综合排名第二。

参考文献:

[1] 裴娇艳. 番茄果实采后品质特性变化及预测模型研究 [D]. 南京:南京农业大学, 2010.

[2] TAVASSOLI A, GHANBARI A, AMIRI E, et al. Effect of municipal wastewater with manure and fertilizer on yield and quality characteristics of forage in corn [J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(17): 2515-2520.

[3] LI Jiusheng, LI Yanfeng, ZHANG Hang. Tomato yield and quality and emitter clogging as affected by chlorination schemes of drip irrigation systems applying sewage effluent [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(10): 1744-1754.

[4] 马英. 养殖污水在蔬菜上的应用及其环境效应 [D]. 河北:河北农业大学, 2006.

[5] 马敏, 黄占斌, 焦志华, 等. 再生水灌溉对玉米和大豆品质影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 47-50.

- (MA Min, HUANG Zhanbin, JIAO Zhihua, et al. Effects of reclaimed wastewater irrigation on the quality of maize and soybean [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(5): 47-50. (in Chinese))
- [6] 刘以前, 沈火林, 石正强. 番茄果实生长发育过程中糖的代谢[J]. 华北农学报, 2006, 21(3): 51-56. (LIU Yiqian, SHEN Huolin, SHI Zhengqiang. The sugar metabolism in tomato developing fruits[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(3): 51-56. (in Chinese))
- [7] 陈永杏, 尚斌, 陶秀萍, 等. 经处理小城镇污水灌溉保护地番茄的试验研究[J]. 中国农业科技导报, 2012, 14(5): 108-114. (CHEN Yongxing, SHANG Bin, TAO Xiuping, et al. Experimental studies on irrigating protected tomato by treated sewage from small town [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2012, 14(5): 108-114. (in Chinese))
- [8] 李波, 任树梅, 张旭, 等. 再生水灌溉对番茄品质、重金属含量以及土壤的影响研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 163-165. (LI Bo, REN Shumei, ZHANG Xu, et al. Study on quality of tomato and heavy metal in soil and fruit contribution with irrigation of rejuvenated water [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(2): 163-165. (in Chinese))
- [9] CALDERO'N-PRECIADO D, JIME'NEZ-CARTAGENA C, MATAMOROS V, et al. Screening of 47 organic microcontaminants in agricultural irrigation waters and their soil loading[J]. Water Research, 2011, 45: 221-231.
- [10] PERVEEN S, SAMAD A, NAZIF W, et al. Impact of sewage water on vegetables quality with respect to heavy metals in peshawar pakistan[J]. Pak J Bot, 2012, 44(6): 1923-1931.
- [11] 邵孝侯, 刘德有, 朱亮, 等. 有机污水回用于农业灌溉的 EM 处理技术展望[J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(1): 16-18. (SHAO Xiaohou, LIU Deyou, ZHU Liang, et al. Prospect of EM treatment techniques of organic waste water for agricultural irrigation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2001, 21(1): 16-18. (in Chinese))
- [12] 周广峰, 刘欣. 主成分分析法在水环境质量评价中的应用进展[J]. 环境科学导刊, 2011, 30(1): 75-78. (ZHOU Guangfeng, LIU Xin. Progress of principal component analysis method in water quality assessment [J]. Environmental Science Survey, 2011, 30(1): 75-78. (in Chinese))
- [13] 白若男, 欧洋铭, 梁川. 基于主成分分析的成都市水资源承载力研究[J]. 中国水运, 2012, 12(12): 200-202. (BAI Ruonan, OU Yangming, LIANG Chuan. Chengdu water resources carrying capacity based on principal component analysis[J]. China Water Transport, 2012, 12(12): 200-202. (in Chinese))
- [14] 李小红, 陈珍珍. 如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J]. 统计研究, 2010, 27(8): 105-108. (LI Xiaosheng, CHEN Zhenzhen. Correctly using spss software for principal components analysis [J]. Statistical Research, 2010, 27(8): 105-108. (in Chinese))
- [15] LIU Ping, ZHAO Haijun, WANG Lili, et al. Analysis of heavy metal sources for vegetable soils from shandong province, China [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(1): 109-119.
- [16] 胡艳玲, 齐学斌, 黄仲冬, 等. 主成分分析法在农村生活饮用水水质评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2011(11): 139-142. (HU Yanling, QI Xuebin, HUANG Zhongdong, et al. The application of principal component analysis in the quality evaluation of rural drinking water in qingyuan county [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(11): 139-142. (in Chinese))
- [17] 王峰, 杜太生, 邱让建. 基于品质主成分分析的温室番茄亏缺灌溉制度[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 75-80. (WANG Feng, DU Taisheng, QIU Rangjian. Deficit irrigation scheduling of greenhouse tomato based on quality principle component analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(1): 75-80. (in Chinese))
- [18] BAERT A, VILLEZ K, STEPPE K. Functional unfold principal component analysis for automatic plant-based stress detection in grapevine[J]. Functional Plant Biology, 2007, 39(6): 519-530.
- [19] 田贺, 张志东, 李亚东, 等. 主成分分析法在茶属植物果实品质评价指标上的应用研究[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(5): 632-636. (TIAN He, ZHANG Zhidong, LI Yadong, et al. Application of principal component analysis in quality evaluation in-dices of fruit quality for ribes [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(5): 632-636. (in Chinese))
- [20] 刘臣辉, 吕信红, 范海燕. 主成分分析法用于环境质量评价的探讨[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(3): 183-186. (LIU Chenhui, LYU Xinhong, FAN Haiyan. Study of applying principal component analysis to environmental quality assessment[J]. Environmental Science and Management, 2011, 36(3): 183-186. (in Chinese))