

温室膜下沟灌水氮耦合对番茄品质的影响与评价研究

石小虎¹, 曹红霞^{1*}, 杜太生², 牛云慧¹, 王雪梅¹

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

摘要: 以温室番茄为试材, 研究了膜下沟灌水氮耦合对番茄一些品质指标(有机酸、可溶性糖、Vc、硝酸盐、糖酸比)的影响, 并采用主成分分析法对其进行多目标综合评价。试验设置 1485 m³·hm⁻²、2080 m³·hm⁻² 两个灌水水平和 225 kg·hm⁻²、410 kg·hm⁻² 和 630 kg·hm⁻² 三个施氮水平。结果表明, 灌水量和施氮量作为单一因子和水氮交互作用对番茄不同品质指标影响均不同; 增加灌水量, 可提高番茄果实有机酸、硝酸盐含量; 施氮过多或过少可降低番茄果实可溶性糖含量、Vc 含量、糖酸比; 果实中硝酸盐含量随施氮量的增加而提高, 随灌水量的增加而降低。采用主成分分析法对番茄品质指标进行多目标综合评价, 得到综合评价最高的处理为低水高中氮(W₁₄₈₅N₄₁₀)处理, 综合评价最低的处理为高水高氮(W₂₀₈₀N₆₃₀)处理。

关键词: 膜下沟灌; 水氮耦合; 番茄; 品质; 主成分分析法; 综合评价

中图分类号: S641.2; S625.5+8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0079-04

Impact of water and nitrogen coupling on quality of greenhouse tomato with furrow irrigation under film

SHI Xiao-hu¹, CAO Hong-xia^{1*}, DU Tai-sheng², NIU Yun-hui¹, WANG Xue-mei¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Impact of water and nitrogen coupling on tomato quality indicators (organic acids, soluble sugar, Vc, nitrate, sugar acid ratio) with furrow irrigation under film was studied in this paper by using multi-objective evaluation with principal component analysis. Two irrigation levels (1485 m³·hm⁻² and 2080 m³·hm⁻²) and three N levels (225 kg·hm⁻², 410 kg·hm⁻² and 630 kg·hm⁻²) were used in this study. The results showed that irrigation and nitrogen amount as a single factor, in combination with water and nitrogen interaction, affected tomato quality indicators in different degrees. Increasing irrigation amount improved tomato fruit organic acids, nitrate content; while excess or lack of nitrogen reduced tomato fruit soluble sugar content, Vc content, sugar acid ratio. Nitrate content in the fruit increased with increase of nitrogen, decreased with increase of irrigation volume. By using multi-objective evaluation of tomato quality indicators with principle component analysis, we draw conclusion that low water medium nitrogen process (W₁₄₈₅N₄₁₀) had highest colligate index, on other hand, high water high nitrogen process (W₂₀₈₀N₆₃₀) had the lowest one.

Keywords: furrow irrigation under membrane; water and nitrogen coupling; tomato; quality; principal component analysis; comprehensive evaluation

番茄作为需水量较高的一年生作物, 水分和肥料对其生长发育有显著影响, 同时也是影响蔬菜产量、品质的主要因素。日光温室水分和养分单一

效应以及水肥耦合对作物产量和品质方面已进行了研究^[1-3]; 有研究表明适当降低土壤含水率能提高果实品质(可溶性糖、有机酸、Vc、糖酸比), 并显著

收稿日期: 2013-01-05

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201001061); 陕西省自然科学基金项目(2012JM3004); 中央高校基本科研业务费专项资金(QN2011022)

作者简介: 石小虎(1986—), 男, 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向为农业节水理论。E-mail: shixiaohu2006@126.com。

* 通信作者: 曹红霞(1971—), 女, 新疆五家渠人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: chx662002@yahoo.com.cn。

提高了番茄水分利用率,但产量有所降低^[4-6];适当施肥可保持番茄产量,增加可溶性糖含量,降低有机酸含量,改善果实品质^[7-8];水肥耦合与番茄果实品质(Vc 含量、果实硬度、可溶性蛋白含量、糖酸比)呈极显著回归关系,施肥量对其影响程度大于灌水量^[9]。在评价作物品质时,单项品质指标很难判断作物的综合品质^[10],因而需采用综合评价方法来评价作物的综合品质,主要方法有聚类分析、模糊综合评判、主成分分析和灰色关联度法。本文旨在通过不同水氮耦合处理对膜下沟灌温室番茄品质的研究,进一步探究水分、氮素作为单一效应和水氮交互效应对番茄品质的影响,并采用主成分分析法^[11-13]评判番茄的综合品质,获得番茄综合品质最优的水氮耦合模式。

1 试验设计

1.1 试验基本情况

试验于 2011 年 9 月至 2012 年 2 月在中国农业大学“石羊河流域农业与生态试验站”温室内进行,该试验站位于甘肃省武威市,地处东经 102°51′,北纬 37°52′,海拔 1 581 m,常年干旱少雨,冬季日照充分,雨雪少,年均日照时数在 3 000 h 以上,无霜期 150 d,年均水面蒸发量 2 000 mm,属典型温带大陆性气候。试验用温室为当地常用的简易日光温室,长 76 m,跨度 8 m,东西走向,建筑面积 608 m²。温室内作物沿南北方向种植,净种植面积 405 m²。温室土壤为沙壤土,土壤容重为 1.49 g·cm⁻³,田间持水率为 0.28 cm³·cm⁻³。

1.2 试验设计

本试验设灌水量和施氮量两个因素。灌水量设置两个水平:低水灌溉,生育期总灌水量为 1 485 m³

·hm⁻²;高水灌溉,生育期总灌水量为 2 080 m³·hm⁻²。施氮量设置 3 个水平,分别为 225 kg·hm⁻²、410 kg·hm⁻²和 630 kg·hm⁻²。试验采用完全随机区组方式布置,有低水低氮(W₁₄₈₅N₂₂₅),低水中氮(W₁₄₈₅N₄₁₀),低水高氮(W₁₄₈₅N₆₃₀),高水低氮(W₂₀₈₀N₂₂₅),高水中氮(W₂₀₈₀N₄₁₀),高水高氮(W₂₀₈₀N₆₃₀)6 个处理,各重复 3 次(见表 1)。试验用氮、钾、磷肥分别为尿素、硫酸钾和过磷酸钙。钾肥和磷肥各处理用量相同,分别为 P₂O₅ 225 kg·hm⁻²和 K₂O 195 kg·hm⁻²。整地时施用腐熟有机肥(30 000 kg·hm⁻²)和过磷酸钙(按照试验设计)作基肥均匀施入耕作层,尿素和硫酸钾(按照试验设计)的 2/5 作为基肥施入耕作层,其余的 3/5 在番茄第一穗果膨大期、第二穗果膨大期、第三穗果膨大期分三次等量地随灌溉水以溶液形式追施。

试验番茄于 2011-09-22 定植,2012-02-27 拉秧,品种为“保罗塔”,在温室内垄上种植。垄南北长 5.3 m,宽 0.75 m,高 0.25 m,垄间距 1.15 m。在垄上进行管理、喷药、采收等农务,在灌水沟进行灌水、追施肥。每个小区为 3 沟 3 垄(面积 18.3 m²),试验共设置 6 个小区,试验小区之间用 4 沟 4 垄隔开,以防止试验处理间相互干扰。定植时,番茄幼苗按单穴单株定植在垄的两侧,跨沟小行距为 0.4 m,株内距为 0.4 m;3~4 d 后沿温室南北方向铺设宽 1.2 m、厚 0.005 mm 的塑料地膜,灌水、施肥均在膜下沟内进行。全生育期内,每株番茄 3 穗果后摘心,每穗留 4~5 个番茄。其它喷药等措施均按当地常规进行。番茄的生育阶段划分为苗期(2011-09-22—2011-10-26),开花坐果期(2011-10-27—2011-11-22),果实膨大期(2012-11-23—2012-01-16),成熟采摘期(2012-01-17—2012-02-27)。

表 1 温室番茄试验设计
Table 1 Experimental design

处理 Treatment	总施氮量 Total nitrogen requirement /(kg·hm ⁻²)	总灌水量 Total irrigation requirement /(m ³ ·hm ⁻²)	灌水定额 Irrigation quota/(m ³ ·hm ⁻²)及灌水次数 Irrigation times							
			苗期 Seeding stage		开花坐果期 Flowering stage		果实膨大期 Fruit bearing stage		成熟采摘期 Mature stage	
			定额 Quota	次数 Times	定额 Quota	次数 Times	定额 Quota	次数 Times	定额 Quota	次数 Times
W ₁₄₈₅ N ₂₂₅	225	1485	260	1	175	2	175	3	175	2
W ₁₄₈₅ N ₄₁₀	410	1485	260	1	175	2	175	3	175	2
W ₁₄₈₅ N ₆₃₀	630	1485	260	1	175	2	175	3	175	2
W ₂₀₈₀ N ₂₂₅	225	2080	260	1	260	2	260	3	260	2
W ₂₀₈₀ N ₄₁₀	410	2080	260	1	260	2	260	3	260	2
W ₂₀₈₀ N ₆₃₀	630	2080	260	1	260	2	260	3	260	2

1.3 测定项目及方法

取第一、二、三穗红熟期番茄新鲜果实,进行品质测定,测定项目和方法如下:有机酸含量采用 NaOH 滴定法;可溶性糖含量采用蒽酮比色法;硝酸盐含量采用硫酸—水杨酸法;抗坏血酸(Vc)含量采用钼蓝比色法^[14-15]。运用 DPS 12.5 数据分析软件进行数据统计分析,所有数据用 Excel 作图,选用

LSD 多重方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同水氮耦合对番茄品质的影响

番茄各项品质指标值为三穗果实品质指标值的算术平均值。不同水氮耦合处理下番茄品质指标值见表 2。

表 2 不同水氮耦合对番茄品质的影响
Table 2 Effects of different treatments on the quality of tomato

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar/%	有机酸 Organic acid/%	Vc /(mg·g ⁻¹)	硝酸盐 Nitrate/(mg·kg ⁻¹)	糖酸比 Sugar/Acid
W ₁₄₈₅ N ₂₂₅	3.80cC	0.36dD	0.18cCD	9.83eE	11.09aA
W ₁₄₈₅ N ₄₁₀	4.47aA	0.40cC	0.22bB	17.75cC	11.62aA
W ₁₄₈₅ N ₆₃₀	3.39eE	0.51aA	0.19cC	26.82aA	7.20dC
W ₂₀₈₀ N ₂₂₅	3.50dDE	0.42cC	0.18cdCD	7.65fF	9.28cB
W ₂₀₈₀ N ₄₁₀	4.20bB	0.49bB	0.24aA	15.34dD	8.96cB
W ₂₀₈₀ N ₆₃₀	3.58dD	0.51aA	0.17dD	22.24bB	7.47dC

注:相同字母表示差异不显著,不含相同字母表示差异显著;小写字母表示在 0.05 水平上的差异性显著;大写字母表示在 0.01 水平上的差异性显著。

Note: Same letter indicate no significant difference, different letters indicate significant difference; capital letters refers to level 0.01; small letters refer to 0.05.

2.1.1 对番茄可溶性糖含量的影响 经方差分析可知,施氮量作为单一因子对番茄可溶性糖含量的影响达到极显著水平,灌水量对番茄可溶性糖含量影响不显著,而水氮耦合交互作用对番茄可溶性糖含量影响达到极显著水平,且水氮交互作用[$F_{交互} = 28.37 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 氮素作用[$F_{氮素} = 9.93 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 水分作用[$F_{水分} = 0.94 < F_{0.05}(1, 18) = 4.41$]。比较不同水氮处理间的差异(表 2),当灌水量相同时,可溶性糖含量随着施氮量的增加先增加后减少,都达到显著水平;当施氮量为低氮和中氮时,可溶性糖含量随着灌水量的增加而显著减少,而当施氮量为高氮时,可溶性糖含量随着灌水量的增加而显著增加。

2.1.2 对番茄有机酸含量的影响 经方差分析可知,施氮量作为单一因子对番茄有机酸含量的影响达到极显著水平,灌水量对番茄有机酸含量影响不显著,而水氮耦合交互作用对番茄有机酸含量影响达到极显著水平,且水氮交互作用[$F_{交互} = 29.58 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 氮素作用[$F_{氮素} = 9.16 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 水分作用[$F_{水分} = 2.53 < F_{0.05}(1, 18) = 4.41$]。比较不同水氮处理间的差异(表 2),当灌水量相同时,有机酸含量随着施氮量的增加而显著增加;当施氮量为低氮和中氮时,有机酸含量随着灌水量的增加而显著增加,当施氮量为高氮时,有机

酸含量随着灌水量的增加基本无变化。

2.1.3 对番茄 Vc 含量的影响 经方差分析可知,施氮量作为单一因子对番茄 Vc 含量的影响达到极显著水平,灌水量对番茄 Vc 含量影响不显著,而水氮耦合交互作用对番茄 Vc 含量影响达到极显著水平,且氮素作用[$F_{氮素} = 107.31 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 水氮交互作用[$F_{交互} = 20.67 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 水分作用[$F_{水分} = 0.07 < F_{0.05}(1, 18) = 4.41$]。比较不同水氮处理间的差异(表 2),当灌水量相同时,Vc 含量随着施氮量的增加先增加后减少,中氮显著高于低氮和高氮,低氮和高氮之间无显著性差异;当施氮量为中氮时,Vc 含量随着灌水量的增加而显著增加,而当施氮量为低氮和高氮时,Vc 含量随着灌水量的增加而变化不显著。

2.1.4 对番茄硝酸盐含量的影响 经方差分析可知,施氮量和灌水量作为单一因子及水氮耦合交互作用对番茄硝酸盐含量影响都达到极显著水平,且氮素作用[$F_{氮素} = 114.85 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 水氮交互作用[$F_{交互} = 31.69 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 水分作用[$F_{水分} = 15.08 > F_{0.01}(1, 18) = 8.29$]。比较不同水氮处理间的差异(表 2),当灌水量相同时,硝酸盐含量随着施氮量的增加显著增加;当施氮量相同时,硝酸盐含量随着灌水量的增加而显著减少。

2.1.5 对番茄糖酸比的影响 经方差分析可知,施

氮量和灌水量作为单一因子对番茄糖酸比影响不显著,水氮耦合交互作用对番茄糖酸比影响达到极显著水平,且水氮交互作用[$F_{交互} = 42.44 > F_{0.01}(2, 18) = 6.01$] > 氮素作用[$F_{氮素} = 3.34 < F_{0.05}(2, 18) = 3.55$] > 水分作用[$F_{水分} = 2.26 < F_{0.05}(1, 18) = 4.41$]。比较不同水氮处理间的差异(表 2),当灌水量相同时,糖酸比随着施氮量的增加而减少,高氮显著低于低氮和中氮,低氮和中氮之间无显著性差异;当施氮量为低氮和中氮时,糖酸比随着灌水量的增加而显著减小,而当施氮量为高氮时,糖酸比随着灌水量的增加而变化不显著。番茄风味由糖酸比决定,在不同水氮耦合处理中,糖酸比大的品质较好。低水低氮或低水中氮处理的糖酸比较大,风味较好;高水高氮或低水高氮处理的糖酸比最小,风味较差。所得结果与前人^[7-9]相似。

2.2 多目标综合评价不同水氮耦合番茄果实品质

在评价番茄品质时,单项品质指标很难判断番茄的综合品质,因而采用多目标综合评价方法来评价番茄的综合品质。多目标综合评价方法^[16]是把多个被评价事物不同方面且量纲不同的统计指标,转化为无量纲的相对评价值,并综合这些评价值以得出对该事物一个整体评价的方法。本文选取有机酸(x_1)、可溶性糖(x_2)、硝酸盐(x_3)、Vc(x_4)这 4 个主要因素作为评价因子,首先,对这 4 个指标进行标准化,然后计算各指标的协方差及相关矩阵,并得出相关矩阵的特征根、特征向量累积贡献率,结果见表 3,选取累积贡献率 > 85%。由表 3 得出前两项特征根的累积贡献率为 89.9% > 85%,所以可以用第一主成分和第二主成分作为评价的综合指标,且评价的可信度为 89.9%。

表 3 相关矩阵的特征值、贡献率及累积贡献率

Table 3 Eigenvalues(E), contribution rate(CR), and cumulative contribution rate(CCR) on correlation matrix

No	特征值 E	贡献率/% CR	累积贡献率/% CCR
1	2.00416	50.10412	50.10412
2	1.59235	39.80864	89.91276
3	0.32731	8.18285	98.09561
4	0.07618	1.90439	100

通过计算,各指标与前两个主成分的关系为:

第一主成分: $F_1 = -0.51369x_1 + 0.58334x_2 + 0.4658x_3 + 0.42293x_4$

第二主成分: $F_2 = 0.47911x_1 + 0.39434x_2 - 0.50897x_3 + 0.38857x_4$

综合评价值: $F = 0.5010F_1 + 0.398F_2$

由第一主成分和第二主成分与客观权重之积,得到膜下沟灌不同水氮耦合番茄品质综合评判结果,见表 4。由表 4 可以判定低水中氮处理的综合品质最优,高水高氮处理的综合品质最差,与单项品质指标(糖酸比)评估所得的结果类似。表明合理的水氮耦合可以改善番茄的综合品质,不合理的水氮比例不仅影响土壤的可持续利用^[17],而且会降低产品的品质。因此在日光温室生产中,采用合理的水氮耦合模式对于提高番茄品质起着至关重要的作用。

表 4 不同水氮耦合番茄品质综合评判结果

Table 4 Comprehensive evaluation results of different treatments

处理 Treatment	F_1	F_2	F	排序 Sort
W ₁₄₈₅ N ₂₂₅	0.855996	-1.52255	-0.17712	3
W ₁₄₈₅ N ₄₁₀	1.560916	0.824364	1.110116	1
W ₁₄₈₅ N ₆₃₀	-1.84583	0.631092	-0.67358	4
W ₂₀₈₀ N ₂₂₅	0.101803	-1.50151	-0.5466	5
W ₂₀₈₀ N ₄₁₀	0.930014	1.519449	1.070678	2
W ₂₀₈₀ N ₆₃₀	-1.6029	0.049155	-0.78349	6

3 结论与讨论

1) 当灌水量相同时,番茄中有机酸含量、硝酸盐含量、糖酸比随着施氮量的增加而显著增加;当施氮量为低肥和中肥时,有机酸含量随着灌水量的增加而显著增加,可溶性糖含量、糖酸比随着灌水量的增加而显著减小;当施氮量为高肥时,有机酸、Vc 含量、糖酸比随着灌水量的增加变化不显著,可溶性糖含量随着灌水量的增加而显著增加,硝酸盐含量随着灌水量的增加而显著减少。

2) 水分和氮素对番茄有机酸、可溶性糖和糖酸比的影响表现为水氮交互作用 > 氮素作用 > 水分作用;对 Vc 和硝酸盐含量的影响表现为氮素作用 > 水氮交互作用 > 水分作用。

3) 在评价番茄品质时,用以往单项品质指标(糖酸比)判断番茄品质时,得出低水低氮(W₁₄₈₅N₂₂₅)或低水中氮(W₁₄₈₅N₄₁₀)处理的糖酸比较大,风味较好;高水高氮(W₂₀₈₀N₆₃₀)或低水高氮(W₁₄₈₅N₆₃₀)处理的糖酸比最小,风味较差。而采用综合评价方法来评价作物的综合品质时,低水中氮(W₁₄₈₅N₄₁₀)处理的综合品质最优,高水高氮(W₂₀₈₀N₆₃₀)处理的综合品质最差。因此低水中氮(W₁₄₈₅N₄₁₀)处理的水氮耦合模式为获得番茄综合品质最优的水氮耦合模式。

(下转第 105 页)

不同栽培模式主要通过影响土壤水分来影响土壤团聚体状况;与历年平均产量显著负相关,说明干旱和半干旱地区土壤水稳性团聚体颗粒直径应小一些,土壤保水和水分有效性会更好,进而促进作物产量的提高。

参考文献:

- [1] 薛澄,王朝辉,李富翠,等.渭北旱塬不同施肥与覆盖栽培对冬小麦产量形成及土壤水分利用的影响[J].中国农业科学,2011,44(21):4395-4405.
- [2] 李儒,崔荣美,贾志宽,等.不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(16):3312-3322.
- [3] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,等.不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响[J].生态学报,2010,30(9):2424-2433.
- [4] 高飞,贾志宽,韩清芳,等.秸秆覆盖量对土壤水分利用及春玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):104-112.
- [5] 李富翠,赵护兵,王朝辉,等.旱地夏闲期秸秆覆盖和种植绿肥对冬小麦水分利用及养分吸收的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):119-125.
- [6] 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,1981:514-518.
- [7] Klute A. Methods of soil analysis. part 1. physical and mineralogical methods[M]. Madison, Wisconsin, USA: ASA, Inc, 1986:425-442.
- [8] 姚贤良,程云生.土壤物理学[M].北京:农业出版社,1986:80-88.
- [9] 华孟,王坚.土壤物理学[M].北京:北京农业大学出版社,1993:20-26.
- [10] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰,等.不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J].水土保持学报,2010,24(1):254-256.
- [11] Pirmoradian N, Sepaskhah A R, Hajabbasi M A. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments[J]. Biosystems Engineering, 2005,90(2):227-234.
- [12] 郭军玲,王虹艳,卢升高.亚热带土壤团聚体测定方法的比较研究[J].土壤通报,2010,41(3):542-546.
- [13] 祁迎春,王益权,刘军,等.不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J].农业工程学报,2011,27(1):340-347.
- [14] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [15] 窦森,李凯,关松.土壤团聚体中有机质研究进展[J].土壤学报,2011,48(2):412-418.
- [16] 张宏,周建斌,王春阳,等.栽培模式及施氮对冬小麦-夏玉米体系产量与水分利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1078-1085.

(上接第82页)

通过对不同水氮耦合处理对番茄品质的研究,表明温室番茄生产中投入大量的氮肥和水氮的不均衡不仅没有造成番茄品质的提高,反而会使番茄品质降低。当今人们对蔬菜优质和安全的高度重视,要求我们从不同水分和氮素两方面考虑,选择较为理想的水氮耦合模式,对温室蔬菜生产的可持续发展起到至关重要的作用。本试验以西北地区气候为背景,提出了低水中氮($W_{1485}N_{410}$)处理的水氮耦合模式为获得番茄综合品质最优的水氮耦合模式,为当地蔬菜生产提供理论依据。

参考文献:

- [1] 梁运江,许广波,依艳丽.水肥耦合效应对辣椒 Vc 含量的影响[J].人民黄河,2008,30(10):73-74,79.
- [2] 王军,陈双臣,邹志荣.肥料增效剂对大棚番茄产量、品质的影响[J].陕西农业科学,2004,(2):33-36.
- [3] Machado R M A, Oliveira M R G. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths[J]. Irrigation Science, 2005,24:15-24.
- [4] 刘明池,陈殿奎.亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J].中国蔬菜,2002,(6):4-6.
- [5] 刘向莉.亏缺灌溉提高番茄果实品质风味的基础研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [6] 夏秀波,于贤昌,高俊杰.水分对有机基质栽培番茄生理特性、品质及产量的影响[J].应用生态学报,2007,18(12):2710-2714.
- [7] 张国红,袁丽萍,郭英华,等.不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响[J].农业工程学报,2005,21(增刊):151-154.
- [8] 周博,陈竹君,周建斌.水肥调控对日光温室番茄产量、品质及土壤养分含量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):58-62.
- [9] 陈碧华,邹庆炉,杨和连,等.日光温室膜下滴灌水肥耦合技术对番茄生长发育的影响[J].广东农业科学,2008,(8):63-65.
- [10] 杜太生,康绍忠.基于水分-品质响应关系的特色经济作物节水调质高效灌溉[J].水利学报,2011,42(2):245-252.
- [11] 袁志发,周静芊.多元统计数据分析[M].北京:科学出版社,2002:188-190.
- [12] 杨坚,童华荣,贾利蓉.豆腐乳感官和理化品质的主成分分析[J].农业工程学报,2002,18(2):131-135.
- [13] 岳田利,彭帮柱,袁宏,等.基于主成分分析法的苹果酒香气质量评价模型的构建[J].农业工程学报,2007,23(6):223-227.
- [14] 鲍士旦.土壤理化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-144.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 邱东.多目标综合评价方法的系统分析[M].北京:统计出版社,1991.
- [17] 梁成华.蔬菜保护地土壤肥力特征及其调控研究[D].沈阳:沈阳农业大学,1996.