

网络出版时间:2015-11-11 16:16

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.12.021

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151111.1616.042.html

水氮供应对温室滴灌施肥黄瓜产量及品质的影响

李志军,李 静,张富仓,方栋平,高明霞,王海东,吴东科

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院,旱区农业水土工程教育部重点实验室,

中国旱区节水农业研究院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】分析不同水氮供应水平对温室黄瓜品质和产量的影响,为温室黄瓜的优质生产提供参考。

【方法】利用温室小区试验,设置 3 个灌水水平(W_1 (60% ET_0 (参考作物蒸发蒸腾量)), W_2 (80% ET_0) 和 W_3 (100% ET_0)) 和 4 个施氮水平(N_0 (0 kg/hm²), N_1 (180 kg/hm²), N_2 (360 kg/hm²), N_3 (540 kg/hm²)) 共 12 个水氮处理组合,在盛果期对黄瓜的品质指标(可溶性固形物、维生素 C(Vc)、可溶性糖、可溶性蛋白质及硝酸盐含量)进行测定,在拉秧后统计总产量,并采用主成分分析法对黄瓜品质进行综合评价。【结果】灌水量与施氮量对黄瓜产量、果实品质指标均有显著影响。灌水量对黄瓜产量有显著正相关作用,而施氮量对产量的影响在不同灌水条件下表现不同,其中 W_3N_3 处理的产量分别比 W_2N_3 、 W_1N_3 处理提高了 11.8% 和 33.7%, W_2N_3 处理的产量比 W_1N_3 处理提高了 19.6%,而 W_2N_2 处理比 W_2N_3 处理仅降低了 0.87%。与 W_3N_3 处理相比, W_2N_2 处理的黄瓜 Vc、可溶性糖和可溶性蛋白质含量分别提高了 26.6%、35.3% 和 2.8%,而果实硝酸盐含量降低了 2.9%。采用主成分分析法对黄瓜果实品质进行综合评价,表明适量的节水控肥措施对黄瓜品质提高有积极作用。【结论】综合考虑产量与品质指标,认为水氮供应组合 W_2N_2 (80% ET_0 、360 kg/hm² N) 不仅能保证黄瓜的产量,而且能获得较好的品质,可作为优质高产黄瓜栽培的适宜水肥选择。

【关键词】 温室黄瓜;水氮供应;滴灌施肥;产量与品质;主成分分析法

【中图分类号】 S642.206⁺.2;S642.207⁺.1 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2015)12-0143-08

Effects of water and nitrogen supply on yield and quality of greenhouse cucumber under fertigation

LI Zhi-jun, LI Jing, ZHANG Fu-cang, FANG Dong-ping,

GAO Ming-xia, WANG Hai-dong, WU Dong-ke

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study analyzed the impact of different water and nitrogen supplies on yield and quality of greenhouse cucumber to provide reference for quality production of greenhouse cucumbers. 【Method】 Plot experiments were conducted with three irrigation levels (W_1 (60% ET_0), W_2 (80% ET_0) and W_3 (100% ET_0)) in interaction with four nitrogen fertilization levels (N_0 (0 kg/hm²), N_1 (180 kg/hm²), N_2 (360 kg/hm²), and N_3 (540 kg/hm²)), a total of twelve water and nitrogen treatments. The quality indicators (soluble solids, Vc, soluble sugar, soluble protein and nitrate) were measured during the flourishing time while yield was counted after the final harvest for comprehensive evaluation of quality u-

【收稿日期】 2014-05-21

【基金项目】 国家“863”高新技术研究与发展计划项目(2011AA100504);教育部高等学校创新引智计划项目(B12007)

【作者简介】 李志军(1976—),男,陕西千阳人,实验师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:Lizhij@nwsuaf.edu.cn

【通信作者】 张富仓(1962—),男,陕西武功人,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。
E-mail:zhangfc@nwsuaf.edu.cn

sing principal component analysis. 【Result】 Irrigation and nitrogen had significant effects on yield and quality indicators of cucumber. Irrigation had significant positive correlation effects on yield, whereas the impacts of nitrogen fertilizer on yield were different for different irrigation levels. W_3N_3 yield was 11.8% and 33.7% higher than treatments W_2N_3 and W_1N_3 , W_2N_3 yield was 19.6% higher than W_1N_3 , while W_2N_2 yield was 0.87% lower compared to W_2N_3 . Compared with W_3N_3 , the contents of Vc, soluble sugar and soluble protein of cucumber under treatment W_2N_2 were increased by 26.6%, 35.3% and 2.8%, while the amount of nitrate was decreased by 2.9%. Comprehensive evaluation of cucumber quality with principal component analysis showed that appropriate water and fertilizer saving management had positive effect on improving cucumber quality. 【Conclusion】 Based on production and quality indicators, treatment W_2N_2 (80% ET_0 and 360 kg/hm² N) was suitable to obtain high yield and quality in cucumber cultivation.

Key words: greenhouse cucumber; water and nitrogen supply; fertigation; yield and quality; principal component analysis

自 20 世纪 80 年代以来,以日光温室为主体的设施园艺得到快速发展。设施蔬菜发展尤为迅速,到 2003 年,全国各类设施蔬菜面积已达 330 万 hm²,比 1980 年增长约 460 倍^[1]。西北地区拥有丰富的光热资源,具有发展设施园艺的良好自然条件;同时设施园艺也是改善西北地区经济落后面貌、提高农村经济效益和改善农民生活水平的重要途径之一。黄瓜在设施蔬菜生产中占有重要地位,为追求高产,盲目过量的灌水与施肥现象极为普遍,严重影响了蔬菜品质。目前,研究合理的水肥投入对提高黄瓜产量与品质的作用已有大量报道^[2-4],普遍认为适量的亏缺灌溉不仅能提高水分利用效率,而且在产量无显著性减少的同时,对改善品质有积极作用^[5-8]。施氮量对黄瓜产量、品质也有显著影响,增施氮肥可显著提高黄瓜的耗水量,但氮肥增施过多则将降低黄瓜的水分利用效率和经济产量^[9],且果实中可溶性糖和 Vc 含量逐渐降低,有机酸、单宁含量逐渐增加^[10-11];王柳等^[12]研究表明,随施氮量的增加,黄瓜果实的 Vc、可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖和有机酸含量均有增加趋势,但硝酸盐含量直线上升,脆度下降,商品瓜率和总产量显著降低。可见,施氮过多或过少均不利于黄瓜产量与品质的形成,因此合理的水氮供应组合成为实现黄瓜优质高产的关键因素。

黄瓜品质是一个综合概念,包含众多指标,仅靠单项品质指标很难判断黄瓜的综合品质,需要综合分析各品质指标。主成分分析是一种通过降维技术将多个指标转化为少数几个综合指标的统计分析方法,且能反映原始指标的绝大部分信息,在许多领域的综合评价中被广泛应用^[13-17],但将主成分分析应用于黄瓜品质综合评价的研究还比较少,而且在针

对日光温室蔬菜水肥管理展开的众多研究中,多以灌水量或施肥量作为单一因子来评价不同灌水量及施氮量对蔬菜生产的影响,而有关水肥一体化条件下的研究报道少,研究成果也不成熟。本试验研究了不同水氮供应水平对黄瓜产量、品质的影响,并应用主成分分析法对黄瓜品质进行综合评价,探求陕西关中地区较为适宜黄瓜优质高产的水肥利用模式,以期当地农业生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室日光温室中进行,试验地位于东经 108°40',北纬 34°18'。试验站海拔 521 m,年平均气温 13℃,年降水量 550~600 mm,主要集中在 7—9 月份。站内设有国家一般气象站,按照国家气象局的《地面气象观测规范》标准进行气温、湿度、降水、日照、水面蒸发、风速、气压和地温观测,并设有自动气象站自动记录气温、相对湿度、太阳辐射和风速。供试土壤为重壤土,耕作层土壤理化性质为:有机质 14.1 g/kg,土壤体积质量 1.43 g/cm³,田间持水量 23.67%(质量含水率),土壤 pH 7.8,全氮 0.87 g/kg,碱解氮 63 mg/kg,速效磷 58.5 mg/kg,速效钾 146.8 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设灌水量与施氮量 2 个因素,其中灌水量设置 3 个水平,分别为低水(W_1 , 60% ET_0)、中水(W_2 , 80% ET_0)和高水(W_3 , 100% ET_0),其中 ET_0 表示参考作物蒸发蒸腾量;施氮量设置 4 个水平,分别为对照(N_0 , 无氮肥)、低氮(N_1 , 180 kg/hm²)、中氮(N_2 , 360 kg/hm²)和高氮(N_3 , 540 kg/hm²)。试

验采用完全随机设计,共 12 个处理,各处理重复 3 次,分 36 个小区(长×宽=6 m×1.25 m)种植。为防止试验处理间相互渗漏影响,试验小区之间用塑料薄膜隔离。试验中氮肥用尿素(含 N 46.4%),磷肥用重过磷酸钙(含 P₂O₅ 44%),钾肥用氯化钾(含 K₂O 60%)。其中磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)用量分别为 200 和 450 kg/hm²。定植前,将全部磷肥、22%的氮肥及 33%的钾肥作为基肥施入;苗期施 17%的氮肥,剩余氮肥及钾肥分 7 次等量追施,采用施肥泵对黄瓜植株进行施肥,灌水及追肥时间根据天气变化和黄瓜生长情况进行。

1.3 试验材料

滴灌试验在坐北朝南的日光温室内进行,温室通过屋顶通风口通风,长 50 m,宽 8 m,有效种植面积为 300 m²。为了保持幼苗存活和生长迅速,黄瓜种植方向为南北走向。黄瓜定植时,均灌以 25 mm 的缓苗水来保证幼苗的成活率。试验黄瓜于 2013-08-21 定植,11-22 拉秧,供试品种为“博耐 9-1”(Bonai 9-1)。种植方式为当地典型的起垄覆膜栽培模式,垄高 20 cm,宽 75 cm,各试验小区种植 2 行黄瓜,共 24 株,在 2 行黄瓜中间布置 1 条直径 8 cm 的内镶式滴灌带,滴头间距 33 cm,滴头流量为 3.6 L/h。黄瓜的生育阶段划分为苗期(08-21—09-20)、开花坐果期(09-21—10-01)、盛果期(10-02—11-08)、末果期(11-09—11-22)。全生育期低水(W₁)、中水(W₂)和高水(W₃)灌溉的灌水量分别为 126、

152 和 177 mm。

1.4 观测项目及方法

在盛果期(10-02—11-08)采集新鲜成熟黄瓜,测定各处理黄瓜的果实品质指标,其中可溶性固形物含量采用手持 WAY-2S 型阿贝折射仪测定,Vc 含量用钼蓝比色法测定^[18],可溶性糖含量用蒽酮比色法测定^[19],可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[18],硝酸盐含量采用硫酸-水杨酸法测定^[20]。在采摘当日,用电子天平记录各试验小区的黄瓜产量,拉秧后统计总产量。参考作物蒸发蒸腾量(ET₀)按照王健等^[21]修改后的日光温室 Penman-Monteith 公式计算:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{1713(e_a - e_d)}{T + 273}}{\Delta + 1.64\gamma}$$

式中:ET₀ 为参考作物蒸发蒸腾量(mm/d),Δ 为饱和水汽压曲线斜率(kPa/℃),R_n、G 分别为地表净辐射和土壤热通量(MJ/(m²·d)),γ 为干湿表常数(kPa/℃),e_a、e_d 分别为饱和水汽压和实际水汽压(kPa),T 为 2 m 高度处的平均气温(℃)。

1.5 试验温室小气候环境状况

本试验中,在黄瓜全生育期内,使用位于温室内的气象站(HOBO system)连续监测温室的内部气温和相对湿度,每 10 min 记录一组数据,各气象因子的变化状况如图 1 所示,全生育期内的日平均气温为 12~28 ℃,平均相对湿度在 59%以上。

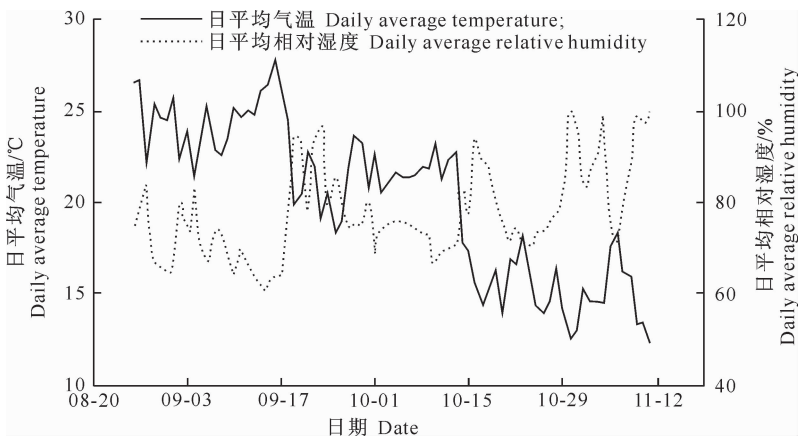


图 1 试验温室内的小气候环境状况

Fig. 1 Microclimate environment inside the greenhouse

1.6 数据处理

采用 DPS v14.10 及 SPSS 18.0 统计分析软件处理试验数据,选取 LSD 多重比较进行方差分析,其中置信度为 95%,用 Origin8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同氮供应水平对黄瓜品质的影响

2.1.1 可溶性固形物 由表 1 可知,在同一灌水量

条件下,黄瓜的可溶性固形物含量随着施氮量的增加而显著提高,但中氮(N₂)与高氮(N₃)处理之间无显著性差异;而当施氮量相同时,随灌水量的提高,可溶性固形物含量表现出不同程度的降低,且低水高氮(W₁N₃)处理的可溶性固形物含量最高,为3.73%。经方差分析可知,灌水量与施氮量对可溶性固形物含量的影响均达到极显著水平,但水氮交互作用对其影响不显著。

2.1.2 Vc Vc 是评价黄瓜品质优劣的一个重要指标。由表 1 可知,灌水量相同时,黄瓜果实的 Vc

含量随着施氮量的增加表现为先增大后减小的变化趋势,且在中氮(N₂)处理下达到最大值。施氮量相同时,果实 Vc 含量随灌水量的增加也表现出相似的变化趋势。中水中氮(W₂N₂)处理果实的 Vc 含量最高,为 128.44 mg/kg,与低水中氮(W₁N₂)、高水中氮(W₃N₂)处理相比 Vc 含量分别增加了 6%和 10%,表明适当的亏缺灌溉可以显著提高果实的 Vc 含量。经方差分析可知,灌水量、施氮量与水氮交互作用对 Vc 含量的影响均达到显著水平,且灌水量和施氮量对 Vc 含量的影响达到极显著水平。

表 1 不同水氮供应水平对黄瓜品质的影响

Table 1 Effects of different water and nitrogen supplies on quality of cucumber fruit						
灌水水平 Irrigation level	施氮水平 Nitrogen level	可溶性固形物/% Soluble solids	Vc/ (mg·kg ⁻¹)	可溶性糖/% Soluble sugar	可溶性蛋白/ (mg·kg ⁻¹) Soluble protein	硝酸盐/ (mg·kg ⁻¹) Nitrate
W ₁	N ₀	3.03±0.12 f	75.46±2.63 g	2.14±0.14 cd	1.68±0.06 e	50.52±1.51 f
	N ₁	3.40±0.10 cde	109.16±0.95 d	2.46±0.13 b	2.10±0.13 d	79.87±1.46 d
	N ₂	3.63±0.06 ab	121.10±1.10 b	2.77±0.11 a	3.02±0.04 a	110.30±2.36 b
	N ₃	3.73±0.06 a	94.01±6.46 f	2.53±0.07 b	2.54±0.11 c	138.09±2.52 a
W ₂	N ₀	2.97±0.15 fg	78.61±1.33 g	1.94±0.05 ef	1.64±0.06 e	50.07±1.61 f
	N ₁	3.33±0.06 de	116.19±2.33 bc	2.22±0.12 c	2.06±0.08 d	67.69±2.52 e
	N ₂	3.53±0.06 bc	128.44±4.71 a	2.59±0.08 b	2.95±0.07 a	90.50±2.60 c
	N ₃	3.63±0.06 ab	112.29±2.39 cd	2.12±0.10 cd	2.87±0.10 ab	111.31±2.32 b
W ₃	N ₀	2.83±0.06 g	76.56±1.44 g	1.75±0.09 g	1.54±0.14 e	41.60±1.90 g
	N ₁	3.30±0.10 e	107.81±3.73 d	1.85±0.06 fg	1.95±0.11 d	51.65±1.32 f
	N ₂	3.47±0.06 cd	116.81±4.80 bc	2.05±0.12 de	2.79±0.04 b	77.91±4.23 d
	N ₃	3.53±0.06 bc	101.43±4.12 e	1.92±0.12 efg	2.87±0.04 ab	93.13±4.34 c
显著性检验(F 值)Significant level (F value)						
水分 Irrigation		* *	* *	* *	ns	* *
氮素 Nitrogen		* *	* *	* *	* *	* *
水分×氮素 Irrigation×Nitrogen		ns	*	*	* *	* *

注:表中数值为平均值(n=12),同列数据后标不同字母表示差异显著(P<0.05);F 检验中,* 表示差异显著,** 表示差异极显著,ns 表示差异不显著。

Note:The data are mean values (n=12). Different letters in the same column indicate significant difference (P<0.05);In F value,* means significant difference,** means extremely significant difference,while ns means not significant.

2.1.3 可溶性糖 可溶性糖主要由蔗糖、葡萄糖和果糖组成,是构成黄瓜果实固形物的重要成分,也是评价黄瓜品质优劣的一个重要指标。一般情况下,糖含量越高,黄瓜的口感风味越好^[22]。由表 1 可知,灌水量相同时,随着施氮量的增加,果实中可溶性糖含量呈先增大后减小的变化趋势,且在中氮(N₂)处理下达到最大值。而施氮量相同时,随灌水量的增加可溶性糖含量表现为逐渐降低的趋势。低水中氮(W₁N₂)处理下可溶性糖含量最高,为2.77%,与中水中氮(W₂N₂)、高水中氮(W₃N₂)处理相比分别增加了 7%和 35%。经方差分析可知,灌水量、施氮量及水氮交互作用对果实可溶性糖含量的影响均达到显著水平,且灌水量和施氮量对可溶性糖含量的影响达到极显著水平。

2.1.4 可溶性蛋白 氮是蛋白质的重要组成成分,适量的施氮量对于蛋白质的合成具有促进作用。由表 1 可知,随着施氮量的增加,黄瓜果实的可溶性蛋白质含量随灌水量的不同而表现出不同的变化趋势。低水(W₁)和中水(W₂)处理时,可溶性蛋白质含量随施氮量的增加表现出先增大后降低的变化趋势,并在中氮(N₂)处理时达到最大值,其中低水中氮(W₁N₂)处理下的可溶性蛋白质含量最高,为3.02 mg/kg。低水(W₁)处理时,当施氮量达到 N₂ 水平后,继续增加施氮量至 N₃ 时可溶性蛋白含量降低了 19%,且 N₂ 与 N₃ 之间差异显著。在 W₂ 条件下,当施氮量达到 360 kg/hm² (N₂)后再继续增加时,可溶性蛋白含量仅降低了 3%,且中、高氮(N₂和 N₃)处理之间无显著性差异。而当灌水量为

100% $ET_0(W_3)$ 时,可溶性蛋白含量随施氮量的增加而增加,且中、高氮(N_2 和 N_3)处理之间无显著性差异。施氮量相同时,可溶性蛋白质含量随灌水量的提高而降低,但在高氮(N_3)处理下却表现为正相关关系,且中水高氮(W_2N_3)与高水高氮(W_3N_3)处理之间无显著性差异,这可能是作物根区氮素浓度过高,导致作物根系难以吸收氮营养,进而抑制了蛋白质的合成。经方差分析可知,施氮量对果实可溶性蛋白质含量的影响达到极显著水平,灌水量对可溶性蛋白含量的影响不显著,水氮交互作用对可溶性蛋白含量的影响也达到极显著水平。

2.1.5 硝酸盐含量 硝酸盐含量的高低是评价蔬菜卫生安全品质的一个重要指标,与人类健康密切相关,在人体内能被转化为亚硝酸盐,而亚硝酸盐有致癌作用,因此硝酸盐的含量是蔬菜安全品质监控的重要内容^[23]。由表 1 可知,灌水量相同时,随着施氮量的增加,果实中硝酸盐含量均逐渐增大。施氮量相同时,果实中硝酸盐含量随灌水量的增加表现出逐渐降低的趋势,且低水高氮(W_1N_3)处理下的硝酸盐含量最大,为 138.09 mg/kg,但其远低于国家对无公害蔬菜的安全要求:瓜果类蔬菜硝酸盐(NO_3)含量 ≤ 438 mg/kg (GB 184061—2001)^[12,23]。经方差分析可知,灌水量、施氮量对硝

酸盐含量的影响均达到极显著水平,水氮交互作用对果实中硝酸盐含量的影响也达到极显著水平。

2.2 不同水氮供应水平对黄瓜产量的影响

如图 2 所示,灌水量相同时,黄瓜产量随施氮量的增加而增加,在低水(W_1)、中水(W_2)处理下,施氮量增加至中氮(N_2)后再继续增加施氮量,对产量提高无显著影响。而在高水(W_3)处理下,中氮(N_2)、高氮(N_3)处理之间的产量具有显著性差异。这种情况可能是盛果期果实生长速度较快,对水肥的需求也大,高水处理(W_3)下土壤含水率高,土水势较大,植株能够更容易地从土壤中吸收水分、养分以满足生长需求,而低水和中水处理(W_1 和 W_2)时土壤含水率较低,土水势较小,不利于植株吸收更多的水分及养分,导致果实生长受限。施氮量相同时,随着灌水量的增加,产量也显著增加,且高水处理(W_3)显著高于低水处理(W_1)。其中高水高氮处理(W_3N_3)的产量最大,与之相比,低水处理(W_1)的灌水量减少了 33.4%,各施氮量(N_0 、 N_1 、 N_2 和 N_3)处理下的产量也分别减少了 37%,33%,26%和 25%;而中水处理(W_2)的灌水量减少了 16.7%,各施氮量(N_0 、 N_1 、 N_2 和 N_3)处理的产量相应减少了 23%,20.8%,11.2%和 10.5%。

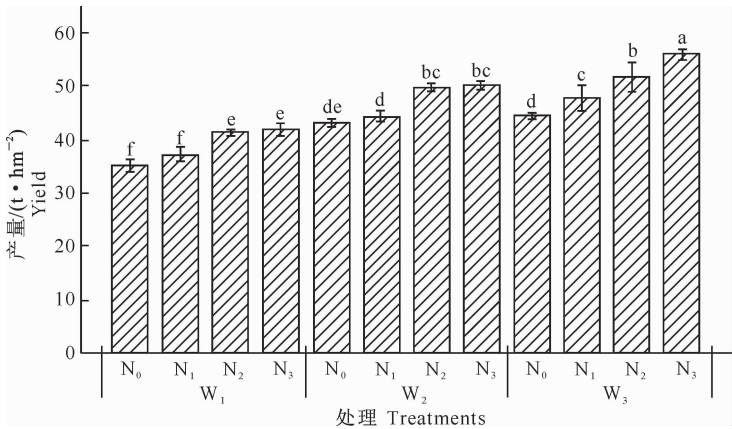


图 2 不同水氮供应水平对黄瓜产量的影响

Fig. 2 Effects of different water and nitrogen supplies on yield of cucumber

2.3 黄瓜品质的主成分分析与综合评价

选取果实中可溶性固形物(X_1)、Vc(X_2)、可溶性糖(X_3)、可溶性蛋白(X_4)、硝酸盐(X_5) 5 个主要因素作为评价因子进行主成分分析。首先,对这 5 个指标进行标准化,并计算各指标的相关系数矩阵(表 2)及主成分方差与累积方差(表 3)。从表 2 可以看出,大部分变量之间存在显著的线性相关,证明这些因素在信息上存在重叠,能够从中提取公因子,

适合进行因子分析。

从表 3 可知,“初始特征值”部分给出了 5 个品质指标之间相关系数矩阵的特征值以及各特征值的方差贡献率和累积方差贡献率,根据主成分分析法中主成分个数选取时累积贡献率 $>85\%$ 的选取原则,前 2 项特征值的累积贡献率(约为 87%) $>85\%$,所以确定提取 2 个主成分,且分别对应的特征值 $\lambda_1=3.802$, $\lambda_2=0.582$ 。

表 2 黄瓜各品质指标间的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of cucumber quality indicators

品质指标 Quality indicator	可溶性固形物 Soluble solids	Vc	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	硝酸盐 Nitrate
可溶性固形物 Soluble solids	1.000	0.731	0.633	0.892	−0.916
Vc	0.731	1.000	0.540	0.762	−0.470
可溶性糖 Soluble sugar	0.633	0.540	1.000	0.534	−0.666
可溶性蛋白 Soluble protein	0.892	0.762	0.534	1.000	−0.795
硝酸盐 Nitrate	−0.916	−0.470	−0.666	−0.795	1.000

表 3 黄瓜各品质指标影响因素的主成分方差与方差分析

Table 3 Principal component variance and analysis of cucumber quality indicators

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalue		
	合计 Sum	方差/% Variance	累积方差/% Accumulation
1	3.802	76.036	76.036
2	0.582	11.641	87.677
3	0.493	9.864	97.541
4	0.105	2.100	99.641
5	0.018	0.359	100.000

通过计算,可知主成分表达式如下:

第一主成分: $F_1 = 0.495X_1 + 0.410X_2 + 0.390X_3 + 0.473X_4 - 0.458X_5$;

第二主成分: $F_2 = 0.008X_1 + 0.669X_2 - 0.540X_3 + 0.274X_4 + 0.431X_5$ 。

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重,计算得果实品质的主成分综合评价函数为:

$$F = \frac{3.082}{3.082 + 0.582} F_1 + \frac{0.582}{3.802 + 0.582} F_2。$$

根据果实品质综合评价函数,计算黄瓜品质综

合得分,结果如表 4 所示,综合得分越高,表明黄瓜品质越优。由表 4 可知,在果实品质综合评价中,不同灌水条件下均在中氮(N₂)处理获得较高分,其次为高氮(N₃)处理,且得分远远大于无氮(N₀)和低氮(N₁)处理;低水中氮(W₁N₂)处理品质综合得分最高,其次为中水中氮(W₂N₂)处理,且在不同灌水条件下,无氮(N₀)处理的品质最差,其中品质最差的为高水无氮(W₃N₀)处理,表明适宜的水氮供应对黄瓜果实的品质提高有积极作用。综合分析认为,在本试验条件下,以品质最优为目标时,低水中氮(W₁N₂)处理为最优的水氮供应模式。

表 4 不同水氮供应水平下温室黄瓜品质的综合评价

灌水水平 Irrigation level	施氮水平 Nitrogen level	第一主成分 The first principal component	第二主成分 The second principal component	果实品质综合成分 Fruit quality integrated component	排名 Rank
W ₁	N ₀	−2.276	−0.828	−2.083	10
	N ₁	0.314	−0.334	0.228	7
	N ₂	2.594	−0.392	2.197	1
	N ₃	1.888	−1.618	1.423	3
W ₂	N ₀	−2.597	−0.390	−2.304	11
	N ₁	−0.158	0.487	−0.072	8
	N ₂	2.013	0.428	1.803	2
	N ₃	1.503	0.283	1.341	4
W ₃	N ₀	−3.314	−0.087	−2.886	12
	N ₁	−1.180	0.965	−0.895	9
	N ₂	0.649	1.006	0.697	5
	N ₃	0.564	0.480	0.553	6

3 结论与讨论

本试验研究了不同水氮供应水平对黄瓜产量与品质的影响,结果表明适宜的水氮供应不仅能减少

水肥投入量,而且在产量无明显降低的前提下能显著提高果实品质。Akhtar 等^[24]在减量灌溉对番茄影响的研究中发现,相比于充分灌溉,减量灌溉虽然降低了番茄产量,但番茄的可溶性固形物、有机酸及

Vc 含量均明显增加。Ertek 等^[25]就亏缺灌溉对甜玉米产量及品质影响的研究结果表明,水分亏缺显著影响玉米鲜穗产量,然而相比于充分灌溉,30%的亏缺灌溉在减产不显著的情况下,玉米的蛋白质含量及含糖量最高。本研究也表明,水分亏缺显著影响黄瓜产量,且高水处理(100% ET_0)的产量显著高于低水处理(60% ET_0),其中高水高氮处理(100% ET_0 , 540 kg/hm² N)的产量最大,在相同施氮条件下,低水处理的产量减少了 25%,而中水处理仅减少了 10.5%。相比于高水处理(100% ET_0),减量灌溉明显提高了黄瓜果实中的可溶性固形物、Vc 和可溶性糖含量,这与 Cui 等^[26]的研究结果一致。同样,施氮量对产量、品质提高也有影响。张利东等^[27]研究表明,随施氮量的增加,温室黄瓜的经济产量也随之增加,但优化氮肥与常规氮肥处理之间差异不显著;果实中硝酸盐和可溶性糖含量均有所增加,且优化施氮不仅显著降低了硝酸盐含量,且可溶性糖及 Vc 含量均保持在较高水平,在一定程度上改善了黄瓜品质。在本试验中,黄瓜产量随施氮量的增加而提高,Vc 及可溶性糖随施氮量的增加表现为先增大后减少的趋势,并在中氮(360 kg/hm² N)处理下达到最大值,而可溶性固形物和硝酸盐含量随施氮量的增加而增加,可溶性蛋白含量也表现出类似趋势。李银坤等^[28]研究表明,采取比当地农民习惯用量减水 30%、减氮 25%~50%的水肥管理措施,不仅可以维持黄瓜较好的生长特性,提高叶片水分利用效率,而且能保障黄瓜产量,改善果实品质。高丽等^[29]研究也表明,灌水量相同时,施氮量显著影响黄瓜果实的硝酸盐含量,采用优化灌水量可以显著提高果实中的可溶性糖含量,但对 Vc 和可溶性固形物含量无显著影响,且对于秋、冬茬黄瓜,在优化灌水量条件下过高的施氮量会降低黄瓜的产量。在本试验中,相比于高水高氮(100% ET_0 , 540 kg/hm² N)处理,适当减少灌水量与施氮量不仅能够保证产量,而且能够显著提高果实的可溶性固形物、Vc、可溶性糖及可溶性蛋白质的含量,并降低硝酸盐含量,使黄瓜品质得以改善。

本研究采用主成分分析法对黄瓜品质进行了综合评价,结果显示,不同灌水条件下,均以中氮(360 kg/hm²)处理的果实品质最好,施肥过多过少均会对提高果实品质产生不利影响,并且在各施氮水平下低水(60% ET_0)和中水(80% ET_0)处理的黄瓜果实品质排名均高于高水(100% ET_0)处理,其中低水中氮(60% ET_0 , 360 kg/hm²)处理获得果实品质排

名第 1 名,其次为中水中氮(80% ET_0 , 360 kg/hm²)处理。结合产量进行分析,相对于可以获得最高产量的高水高氮处理(100% ET_0 , 540 kg/hm² N),低水中氮处理的灌水量减少 33.4%、施氮量减少 33%、产量减少 26%,而中水中氮处理的灌水量减少 16.7%、施氮量减少 33%、产量仅减少 11.2%,但果实品质指标却有明显提高。因此,在保证产量的前提下,基于节水节肥和果实优质考虑,水氮供应组合 W₂N₂(80% ET_0 , 360 kg/hm² N)为温室滴灌黄瓜优质高产的第一选择。

参考文献

- [1] 中国农业统计年鉴委员会. 中国农业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
Committees of China Agricultural Statistic Year Book. China agricultural year book [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 孙娜, 余宏军, 杨学勇, 等. 黄瓜结果期实施短期低氮处理对植株生长、产量及果实品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2012(6): 49-52.
Sun N, Yu H J, Yang X Y, et al. Effects of short-term low nitrogen supply on cucumber growth, yield and quality during its fruit stage [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012(6): 49-52. (in Chinese)
- [3] Zhang H X, Chi D C, Wang Q, et al. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under sub-surface drip irrigation in solar greenhouse [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(6): 921-930.
- [4] 韦泽秀, 梁丽银, 山田智, 等. 水肥水平对日光温室黄瓜产量及品质的影响 [J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2008, 25(4): 268-271.
Wei Z X, Liang Y L, Yamada S, et al. Effect of different soil water-fertilizer supplying on the yield and fruit quality to cucumber in solar greenhouse [J]. Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science Edition, 2008, 25(4): 268-271. (in Chinese)
- [5] 孔祥悦, 李红岭, 侯鹏, 等. 灌水量对温室自根与嫁接黄瓜产量品质的影响 [J]. 北方园艺, 2010(15): 114-117.
Kong X Y, Li H L, Hou P, et al. Effect of irrigation on yield and quality of own-rooted and grafted cucumber in greenhouse [J]. Northern Horticulture, 2010(15): 114-117. (in Chinese)
- [6] 常莉飞, 邹志荣. 调亏灌溉对温室黄瓜生长发育·产量及品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(23): 7142-7144.
Chang L F, Zou Z R. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on the growth, yield and quality of greenhouse cucumber [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(23): 7142-7144. (in Chinese)
- [7] 贺忠群, 邹志荣, 陈小红, 等. 温室黄瓜节水灌溉指标的研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 77-80.
He Z Q, Zou Z R, Chen X H, et al. Study on water-saving irri-

- gation index for greenhouse cucumber [J]. Journal of North west A&F University: Natural Science Edition, 2003, 31(3): 77-80. (in Chinese)
- [8] Aynur O, Ali F T. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(9): 1405-1410. (in Chinese)
- [9] 陈小燕, 王璐, 王永泉, 等. 常规灌溉条件下嫁接和增施氮肥对温室黄瓜耗水量及水分利用效率的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2656-2660.
Chen X Y, Wang L, Wang Y Q, et al. Effects of graft and nitrogen supply level on water consumption and water use efficiency of solar greenhouse cucumber under traditional irrigation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(12): 2656-2660. (in Chinese)
- [10] 赵青华, 王金芬, 胡焕平. 氮素水平对日光温室黄瓜品质的影响 [J]. 北方园艺, 2007(6): 13-14.
Zhao Q H, Wang J F, Hu H P. Effect of nitrogen on taste compounds of cucumber in solar-greenhouse [J]. Northern Horticulture, 2007(6): 13-14. (in Chinese)
- [11] 徐坤范, 李明玉, 艾希珍. 氮对日光温室黄瓜呈味物质、硝酸盐含量及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 717-721.
Xu K F, Li M Y, Ai X Z. Effect of nitrogen on taste compounds, nitrate and yield of cucumber in solar-greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(5): 717-721. (in Chinese)
- [12] 王柳, 张福漫, 魏秀菊. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 225-229.
Wang L, Zhang F M, Wei X J. Effects of different nitrogen fertilization levels on quality and yield of cucumber cultivated in solar greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(12): 225-229. (in Chinese)
- [13] 丛明珠, 欧向军, 赵清, 等. 基于主成分分析法的江苏省土地利用综合分区研究 [J]. 地理研究, 2008, 27(3): 574-582.
Cong M Z, Ou X J, Zhao Q, et al. Division of land use degree in Jiangsu Province based on principal component analysis [J]. Geographical Research, 2008, 27(3): 574-582. (in Chinese)
- [14] 陶爱芬, 祁建民, 林培青, 等. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2859-2867.
Tao A F, Qi J M, Lin P Q, et al. Cluster analysis and evaluation of elite kanaf germplasm based on principal components [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(9): 2859-2867. (in Chinese)
- [15] 樊丁宇, 廖康, 杨波, 等. 新疆杏品种果实鲜食品质主要评价指标的选择 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(22): 207-211.
Fan D Y, Liao K, Yang B, et al. Selection of indexes for evaluating fruit table quality on apricot varieties in Xinjiang [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(22): 207-211. (in Chinese)
- [16] 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 F, Du T S, Qiu R J. Deficit irrigation scheduling of greenhouse tomato based on quality principle component analysis [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 75-80. (in Chinese)
- [17] 岳田利, 彭帮柱, 袁亚宏, 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.
Yue T L, Peng B Z, Yuan Y H, et al. Modeling of aroma quality evaluation of cider based on principal component analysis [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 223-227. (in Chinese)
- [18] 孙群, 胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006: 171-172.
Sun Q, Hu J J. Plant physiology research technology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2006: 171-172. (in Chinese)
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 145-148.
Gao J F. Plant physiology experimental techniques [M]. Xi'an: World Publishing Company, 2000: 145-148. (in Chinese)
- [20] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 35-37.
Hao Z B, Cang J, Xu Z. Plant physiology experiments [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004: 35-37. (in Chinese)
- [21] 王健, 蔡焕杰, 李红星, 等. 日光温室作物蒸发蒸腾量的计算方法研究及其评价 [J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(6): 11-14.
Wang J, Cai H J, Li H X, et al. Study and evaluation of the calculation methods of reference crop evapotranspiration in solar-heated greenhouse [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(6): 11-14. (in Chinese)
- [22] 程福皆, 曹辰兴, 康鸢, 等. 不同氮钾水平对春棚小黄瓜产量及品质的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 276-279.
Cheng F J, Cao C X, Kang L, et al. Effects of different levels of nitrogen and potassium on yield and quality of spring mini-cucumber in Arched Shed [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2009, 18(5): 276-279. (in Chinese)
- [23] 燕飞, 邹志荣, 董洁, 等. 不同施肥处理对大棚黄瓜产量和品质的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 272-275, 289.
Yan F, Zou Z R, Dong J, et al. Effects of different fertilization treatments on yield and quality of cucumber in plastics greenhouse [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2009, 18(5): 272-275, 289. (in Chinese)
- [24] Akhtar S S, Li G T, Andersen M N, et al. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation [J]. Agricultural Water Management, 2014(138): 37-44.
- [25] Ertek A, Kara B. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation [J]. Agricultural Water Management, 2013(129): 138-144.

- Chinese)
- [21] Jacobsen S E, Monteros C, Corcuera L J, et al. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. European Journal of Agronomy, 2007, 26(4): 471-475.
- [22] Matysik J, Bhalu B, Mohanty P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants [J]. Current Science, 2002, 82(5): 525-532.
- [23] Sharma P, Jha A B, Dubey R S, et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions [J]. Journal of Botany, 2012, 2012: 1-26.
- [24] 白洁, 蒋卫杰, 余宏军, 等. 外源 ABA、Put 和 BR 对亚适温条件下番茄幼苗叶片保护酶活性的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 317-320.
- Bai J, Jiang W J, Yu H J, et al. Effect of extrinsic ABA, Put and BR on protective enzyme activities of tomato seedlings under sub-optimal temperature [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(6): 317-320. (in Chinese)
- [25] 刘景安, 孙玉文, 祁家保, 等. 持续亚低温对甜瓜幼苗生理生化指标的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 240-243.
- Liu J A, Sun Y W, Qi J B, et al. Influence of sustained sub-low temperature on the physiological and biochemical indices of muskmelon (*Cucumismelon* L.) seedlings [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(11): 240-243. (in Chinese)
- [26] Ray P D, Huang B W, Tsuji Y. Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling [J]. Cellular Signalling, 2012, 24(5): 981-990.
- [27] 李凯龙, 王艺潼, 韩晓雪, 等. 低钾胁迫对番茄叶片活性氧及抗氧化酶系的影响 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(1): 66-73.
- Li K L, Wang Y T, Han X X, et al. Changes in reactive oxygen species and antioxidative defense mechanism in tomato leaves under low potassium stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2013, 33(1): 66-73. (in Chinese)
- [28] 李潮海, 尹飞, 王群. 不同耐旱性玉米杂交种及其亲本叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应 [J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1912-1919.
- Li C H, Yin F, Wang Q. Response of activated oxygen metabolism to water stress in different drought-tolerant maize hybrids and their parents [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(6): 1912-1919. (in Chinese)
- [29] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 413-418.
- Zhao L Y, Deng X P, Shan L. The response mechanism of active oxygen species removing system to drought stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(2): 413-418. (in Chinese)
- [30] 刘玉凤, 李天来, 高晓倩. 夜间低温胁迫对番茄叶片活性氧代谢及 AsA-GSH 循环的影响 [J]. 西北植物学报, 2011, 31(4): 707-714.
- Liu Y F, Li T L, Gao X Q. Active oxygen metabolism and ascorbate-glutathione cycle of tomato leaves under low nocturnal temperature [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(4): 707-714. (in Chinese)
- [31] Maruta T, Noshi M, Tanouchi A, et al. H₂O₂-triggered retrograde signaling from chloroplasts to nucleus plays specific role in response to stress [J]. Journal of Biological Chemistry, 2012, 287(15): 11717-11729.
- [32] Duan M, Feng H L, Wang L Y, et al. Overexpression of thylakoidal ascorbate peroxidase shows enhanced resistance to chilling stress in tomato [J]. Journal of Plant Physiology, 2012, 169(9): 867-877.
- [33] Wu J C, Wu J J, Liang J, et al. Effects of exogenous NO on AsA-GSH circulation metabolism in young loquat fruit mitochondria under low temperature stress [J]. Pakistan Journal of Botany, 2012, 44(3): 847-851.
- [34] Dong X, Bi H, Wu G, et al. Drought-induced chilling tolerance in cucumber involves membrane stabilisation improved by antioxidant system [J]. International Journal of Plant Production, 2013, 7(1): 67-80.
- [35] Zhang Y, Luo Y, Hou Y X, et al. Chilling acclimation induced changes in the distribution of H₂O₂ and antioxidant system of strawberry leaves [J]. Agricultural Journal, 2008, 3(4): 286-291.

(上接第 150 页)

- [26] Cui N B, Du T S, Kang S Z, et al. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees [J]. Agricultural Water Management, 2008(95): 489-497.
- [27] 张利东, 高丽红, 张柳霞, 等. 交替隔沟灌溉与施氮量对日光温室黄瓜光合作用、生长及产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2348-2354.
- Zhang L D, Gao L H, Zhang L X, et al. Effects of alternative furrow irrigation and nitrogen application rate on photosynthesis, growth, and yield of cucumber in solar greenhouse [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(9): 2348-2354. (in Chinese)
- [28] 李银坤, 武雪萍, 武其甫, 等. 不同水氮处理对温室黄瓜产量、品质及水分利用效率的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2010(3): 21-30.
- Li Y K, Wu X P, Wu Q P, et al. Effects of different water and nitrogen treatment on the yield and quality and water use efficiency of cucumber in green house [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2010(3): 21-30. (in Chinese)
- [29] 高丽, 王永泉, 侯鹏, 等. 不同水氮组合对温室黄瓜产量和品质的影响 [J]. 北方园艺, 2010(15): 129-133.
- Gao L, Wang Y Q, Hou P, et al. Yield and quality of cucumber grown under different irrigation and nitrogen combinations [J]. Northern Horticulture, 2010(15): 129-133. (in Chinese)