

覆膜沟灌条件下不同水氮处理对番茄产量与品质的影响

周继莹¹, 成自勇¹, 王峰², 姚名泽¹, 张正红¹

(1. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 通过田间试验, 研究了覆膜沟灌条件下不同水氮处理对番茄产量与品质的影响, 旨在探讨西北旱区覆膜沟灌条件下番茄的水肥调控模式, 以达到节水、增产、高效与优质的目的。结果表明: 采用 85% 对照灌水量处理 (CK) 对番茄市场产量 (≥ 60 g) 无显著影响, 而 65% 和 45% 对照灌水量处理则减产明显; 采用 3/4 当地施肥量 (CK) 处理对番茄总产量与市场产量影响不显著; 减少灌水量处理显著增加番茄的果色指数与硬度, 提高可溶性固形物、可溶性糖含量, 降低有机酸含量; 施氮量对番茄可溶性固形物、有机酸含量影响不显著, 但减少施氮量增加可溶性糖含量; 番茄维生素 C 含量随灌水量与施肥量的降低呈现先增加而后降低的趋势。综合考虑产量、品质及水分利用效率 (WUE), 本研究认为采用 416.76 mm (85% CK) 灌水量及 117.6 kg·hm⁻² (3/4 CK) 纯氮施用量, 为西北旱区覆膜沟灌种植条件下适宜的水肥调控模式。

关键词: 番茄; 覆膜沟灌; 氮肥; 灌水量; 品质; 产量

中图分类号: S641.2; S274.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)04-0043-07

Effects of water and nitrogen on yield and fruit quality of tomato under furrow irrigation and plastic film mulching cultivation

ZHOU Ji-ying¹, CHENG Zi-yong¹, WANG Feng², YAO Ming-ze¹, ZHANG Zheng-hong¹

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Xinxiang 530005, China)

Abstract: An experiment was conducted in 2012 to acquire the optimal adjustment modes of water and nitrogen for tomato under furrow irrigation and plastic film mulching cultivation in arid regions of Northwest China. The results showed that the 85% of CK irrigation caused no significant effect on the yield of tomato, but the 65% or 45% of CK irrigation decreased the yield significantly. The 3/4 of CK nitrogen application produced no significant impact on the total and market yield of tomato. The fruit color index, firmness, SSC and soluble sugar content increased, but the organic acid content decreased as the irrigation water decreased. The results also indicated that different nitrogen application rates produced no effect on the SSC and organic acid content. However, the soluble sugar content increased when the nitrogen application was decreased. With the irrigation and nitrogen decreasing, the vitamin C content showed a rising trend firstly, and then decreased. Considering the yield, fruit quality and water use efficiency (WUE) comprehensively, the combination of 416.76 mm irrigation water (85% of CK) and 117.6 kg·hm⁻² pure nitrogen application (3/4 of CK) was an optimal combination for high yield and high quality of tomato under furrow irrigation and plastic film mulching cultivation, which might be recommended in the arid regions of Northwest China.

Keywords: tomato; furrow irrigation and plastic film; nitrogen; irrigation; quality; yield

我国西北地区水资源紧缺, 干旱是农业生产的主要限制因素。但日照时间长, 昼夜温差大的气候特点, 又为发展优质果蔬业提供了良好条件。番茄

是需水量较大的作物, 也是该区种植的主要蔬菜, 在番茄种植中推行节水施肥技术对于减少水资源浪费, 提高水肥利用效率, 改善果实品质均具有重要意

收稿日期: 2012-12-27

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资助 (项目编号 2012ZL066)

作者简介: 周继莹 (1984—), 甘肃武威人, 在读硕士, 主要从事农业节水灌溉技术与理论研究。E-mail: 503955165@qq.com。

通讯作者: 成自勇 (1956—), 甘肃秦安人, 博士生导师, 主要从事生态水利、生态灌溉与灌区荒漠化防治研究。E-mail: chengzy@gsau.edu.cn。

义。陈秀香等^[1]研究发现适度的水分亏缺能够增加番茄可溶性糖、有机酸及可溶性固形物含量,提高糖酸比,改善果实风味。程智慧^[2]、吴龙生等^[3]研究表明,在番茄种植中适当增施氮肥能够显著提高产量,但氮肥用量过多时增产并不明显,同时土壤剖面硝态氮残留量增加,增大了氮素向环境迁移的风险,对环境造成威胁。张国红等^[4]研究发现番茄果实中的抗坏血酸、有机酸含量随施肥量的增大而增加,但可溶性糖含量减小,糖酸比降低,整体风味变差。此外,在温室番茄水肥耦合方面,袁丽萍等^[5]研究表明,增施氮肥可显著提高番茄产量,但适当减少灌水却并不会导致减产,增加施氮量和灌水量可显著提高果实有机酸含量,但对可溶性糖含量影响不大,增施氮肥过多或不施氮均会导致番茄维生素 C 含量下降。虽然关于水肥单一因素以及温室水肥耦合方面对番茄产量和品质的影响研究已有较多报道,但

针对西北地区大田番茄覆膜沟灌的种植条件,水肥耦合效应的研究较少。因此,选择在西北河西地区开展本试验,旨在为西北地区覆膜沟灌条件下番茄的科学种植提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2012 年 4—9 月在中国农业大学石羊河流域农业与生态节水试验站进行。该站位于甘肃省武威市(E102°51', N37°52', a. s. l. 1 581 m),属典型温带大陆性气候,常年干旱少雨,蒸发量大,年均日照时数在 3 000 h 以上,降雨量为 164.4 mm,水面蒸发量 2 000 mm。试验期间各气象因子的变化见表 1。试验田土壤质地为砂壤土,0~60 cm 土层平均干容重为 1.45 g·cm⁻³,田间持水量 θ_f 为 28%。

表 1 番茄全生育期内试验站各气象因子的变化

Table 1 Changes of meteorological factors at the experimental site during tomato cropping season

月份 Month	平均气温 Mean temperature /°C	最低气温 Min. temperature /°C	最高气温 Max. temperature /°C	相对湿度 RH /%	平均辐射 Mean radiation /(w·m ⁻²)	风速 Wind speed /(m·s ⁻¹)	Φ20cm 日均蒸发量 Φ20cm daily evaporation /(mm·d ⁻¹)	累积降雨量 Accumulated rainfall /mm
5	17.2	8.7	23.6	33.0	228.3	1.3	17.2	9.8
6	20.9	17.1	24.1	43.4	235.5	0.9	20.9	18.7
7	21.9	18.2	24.5	48.7	269.4	0.5	22.2	61.9
8	21.1	17.4	24.8	59.3	255.5	0.5	21.3	15.0
9	16.3	11.8	24.1	55.2	243.4	0.5	14.7	24.0

1.2 试验处理与农艺措施

试验以施氮量和灌水定额做处理因子,其中施氮量设 3 个水平,分别为当地实际施氮量 N1(N1)、3/4N1(N2)及 1/2N1(N3),灌水定额设 4 个水平,分别为对照灌水量 CK(T1)、85% CK(T2)、65% CK(T3)及 45% CK(T4)。当土壤计划湿润层(0~60 cm)内的实际含水量下降至 50% ± 2% 总有效含水量(介于土壤 90% θ_f 与作物凋萎点之间的计划湿润层含水量)时,T1 处理开始灌水,灌水量为总有效含水量与实际有效含水量的差值,T2、T3、T4 的灌水定额分别为 T1 处理的 85%、65% 和 45%,灌水时间相同。处理采用裂区布置方式,主因素为施氮量,副因素为灌水定额,共 12 个处理(见表 2),3 次重复,36 个小区。

试验采用高垄覆膜种植方式,其中垄宽 0.5 m,沟宽 0.4 m,沟深 0.25 m,沟垄之上覆盖 1 m 宽白色聚乙烯地膜(图 1)。供试品种为毛粉 802,于 3 月 20 日育苗,5 月 8 日移栽。移栽时,跨沟行距为 0.4 m,

行内株距 0.3 m。每个试验小区面积为 13.5 m²(长 5 m,宽 2.7 m),小区间 0~80 cm 深度内埋有防渗膜。番茄在移栽当天灌水 66.3 mm,9 天后灌缓苗水 75.0 mm,当计划湿润层(0~60 cm)土壤含水量下降至 68% θ_f 时进行首次灌水,成熟后期停止灌水。移栽前撒施基肥磷酸二铵(总氮 ≥ 18.0%, P₂O₅ ≥ 46.0%) 441 kg·hm⁻²、尿素(总氮 ≥ 46.6%) 150 kg·hm⁻²及硫酸钾(总氮 ≥ 18.0%, P₂O₅ ≥ 15.0%, K₂O ≥ 12%) 126 kg·hm⁻²,生育期内随水冲施尿素两次。试验以井水灌溉,水表控制水量。全生育期内不同处理的实际施氮量、灌水量及灌水次数见表 2。番茄于 7 月 17 日开始采摘,9 月 15 日拉秧。除灌水及施肥外,其它农艺措施与当地实际一致。

1.3 测定项目与方法

(1) 土壤含水量

在每次灌水前后及生育阶段的始末,于第二重复内各小区的中部沟垄之上选择两个取样点(图 1),分 7 层(10、20、30、40、60、80 cm 和 100 cm 处)取

土,烘干法测定土壤含水量。

表2 各生育阶段不同处理的实际施氮量、灌水量及灌水次数

Table 2 Actual irrigation quota and nitrogen application in different treatments during each growing stage

处理(N)	处理(T)	苗期	开花坐果期		果实膨大期		成熟前期		成熟后期	全生育期	
Treatment (N)	Treatment (T)	Seedling	Flowering and fruit setting	Flowering and fruit setting	Fruit enlargement	Fruit enlargement	Early maturity	Early maturity	Late maturity	Whole growth period	Whole growth period
		灌水量	施氮量	灌水量	施氮量	灌水量	施氮量	灌水量	灌水量	施氮量	灌水量
		Irrigation	Nitrogen	Irrigation	Nitrogen	Irrigation	Nitrogen	Irrigation	Irrigation	Nitrogen	Irrigation
		/mm	/(kg·hm ⁻²)	/mm	/(kg·hm ⁻²)	/mm	/(kg·hm ⁻²)	/mm	/mm	/(kg·hm ⁻²)	/mm
N1	T1			53.4(2)		210.6(3)		60.1(1)			465.4(7)
	T2			45.4(2)		179.0(3)		51.1(1)			416.8(7)
	T3	141.3(2)	69.6(1)	34.7(2)	87.0(1)	136.9(3)	0	39.1(1)	0	156.6(2)	351.9(7)
	T4			24.0(2)		94.8(3)		27.1(1)			287.1(7)
N2	T1			53.4(2)		210.6(3)		60.1(1)			465.4(7)
	T2			45.4(2)		179.0(3)		51.1(1)			416.8(7)
	T3	141.3(2)	52.2(1)	34.7(2)	65.3(1)	136.9(3)	0	39.1(1)	0	117.6(2)	351.9(7)
	T4			24.0(2)		94.8(3)		27.1(1)			287.1(7)
N3	T1			53.4(2)		210.6(3)		60.1(1)			465.4(7)
	T2			45.4(2)		179.0(3)		51.1(1)			416.8(7)
	T3	141.3(2)	34.8(1)	34.7(2)	43.5(1)	136.9(3)	0	39.1(1)	0	78.3(2)	351.9(7)
	T4			24.0(2)		94.8(3)		27.1(1)			287.1(7)

注:施氮量为纯氮使用量,全生育期的施氮量不包括基肥量,括号内数字为施氮或灌水的次数。

Note: The nitrogen applied means pure nitrogen; the nitrogen application of whole growth stage does not include the basal fertilizer; the data in brackets mean the times of nitrogen fertilizer or irrigation.

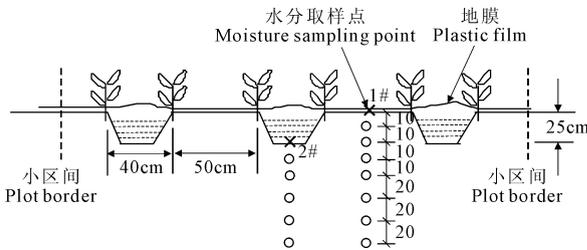


图1 番茄种植结构及水分采样点示意图

Fig. 1 Cropping spaces of tomato and soil moisture sampling points

(2) 产量

在每小区中心随机选择10株番茄,依照实际成熟时间进行采摘。每次采摘均称单果重(W),并记录果个数。理论产量 = 平均单株产量 × 种植密度。

(3) 果实品质

在全生育期内共测定4次番茄品质。其中,果实颜色用SP60色差仪(SP60, X-RITE, Incorporated. M. I., USA)沿果身四周直接测定CIE(Commission International d'Éclairage)颜色空间坐标L、a、b,用式(1)计算颜色指数。

$$Color\ index = 2000 \frac{a}{L(a^2 + b^2)^{0.5}} \quad (1)$$

果实硬度用FHR-5型果实硬度计(FHR-5, Take-mura electric works, Ltd. Japan)在离果蒂1.5 cm的果肩处测量(kg·cm⁻²)。可溶性糖用硫酸-蒽酮比色

法测定,可滴定酸用0.1 mol·L⁻¹ NaOH滴定法测定,维生素C用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定。

(4) 作物耗水量(ET_c)

根据灌溉试验规范,作物耗水量ET_c用水量平衡法(式2)计算。

$$ET_c = I + \Delta W + P - R - D \quad (2)$$

式中:ET_c为作物耗水量(mm);I为灌水量(mm);ΔW为阶段土壤含水量变化量(mm);P为有效降雨量(mm);R为地表径流,考虑到试验地地势平坦,试验期间无径流发生,故R = 0;D为渗漏量,根据对土壤含水量的测定,60 cm深处没有渗漏,故D = 0。

则上式(2)变为

$$ET_c = I + \Delta W + P \quad (3)$$

(5) 水分利用效率(WUE)

水分利用效率(kg·m⁻³)按式(4)计算

$$WUE = \frac{Y_{market}}{ET_c} \times 10 \quad (4)$$

式中:ET_c为作物耗水量(mm);Y_{market}为市场产量(kg·hm⁻², W ≥ 60 g)。

1.4 数据处理

采用SAS8.2软件(SAS Institute, Inc., Cary, NC)及EXCEL2003进行数据分析。方差分析和多重比较分别用GLM程序及DUNCAN新复极差法进行,

差异显著性概率为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同水氮处理对番茄产量及水分利用效率 (WUE) 的影响

不同水氮处理的番茄产量、产量构成因子、WUE 及方差分析结果如表 3、4 所示。结果表明,番茄总产量与市场产量均随灌水量减少而降低。T1 处理的市场产量最高,为 $247.84 \text{ t} \cdot \text{hm}^2$,较 T3 和 T4 处理分别增产 $47.64 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $78.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅为 23.8% 和 46.2%。T1 与 T3 及 T4 处理差异显著,与 T2 处理差异不显著。从施氮量看,番茄总产量与市场产量随施氮量的减少呈下降趋势。N1 处理的市场产量最高,其次为 N2 与 N3 处理,N1 较 N2 与 N3 处理分别增产 $18.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $39.81 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅为 8.5% 和 20.8%。N1 与 N3 处理差异显著,与

N2 处理差异不显著。从表 3 还可看出,不同水分处理对番茄单株果个数影响不显著,但对单果重影响显著,番茄产量降低主要是由单果重减小所致。如 T4 处理的单果重仅有 128.19 g ,较 T1 和 T2 处理分别降低 34.62 g 和 29.90 g ,降幅达 21.3% 和 18.3%。方差分析表明,T4 处理的单果重与 T1 和 T2 差异显著,与 T3 处理差异不显著。番茄果个数和单果重受施氮量的影响较小,处理间差异不显著。此外,对水氮交互作用的方差分析表明,各处理水氮互作效应差异不显著,说明在该试验条件下,水氮各自的效应均不因另一因素的多少而异,这可能与试验期间施氮量及施氮次数较少有关。对水分利用效率的分析表明,不同水分处理间差异不显著,但 WUE 随施氮量的增加而增大,且 N1 与 N3 处理差异显著。与其它指标类似,不同水氮处理对 WUE 的影响不存在交互效应。

表 3 不同水氮处理对番茄产量、构成因子及 WUE 的影响

Table 3 The effect of water and nitrogen treatments on yield, yield components and WUE of tomato

处理 Treatment	果个数(个/株) Fruit number per plant	单果重 Fruit weight /g	总产量 Total yield ($10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	市场产量($w \geq 60\text{g}$) Market yield ($10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	水分利用效率 WUE /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	
处理(T) Treatment (T)	T1	21.17a	162.81a	253.22a	247.84a	52.25a
	T2	20.28a	158.09ab	232.10b	229.91a	54.76a
	T3	19.06a	143.20bc	203.31c	200.20b	55.71a
	T4	18.39a	128.19c	173.24d	169.57c	56.08a
处理(N) Treatment (N)	N1	21.17a	149.78a	235.18a	231.21a	59.46a
	N2	19.42a	150.27a	215.69ab	213.04ab	56.33ab
	N3	18.58a	144.17a	195.52b	191.40b	47.86b
T × N	ns	ns	ns	ns	ns	

注:同一列中数据后面的不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著;ns 表示差异不显著 ($P > 0.05$);下同。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at $P < 0.05$ level; "ns" means no significant difference ($P > 0.05$). The same as follows.

表 4 番茄市场产量的方差分析

Table 4 The analysis of variance of tomato market yield

变异来源 Sources of variation	DF	SS	MS	F	$F_{0.05}$	
主区部分 Main part	处理(N) Treatment (N)	2	42375866.0	21187933.0	5.75	4.46
	重复 Duplication	2	32267554.6	16133777.3	4.38	4.46
	误差 N Error N	4	14729873.2	3682468.3		
	总变异 Total variation	8	89373294.0			
副区部分 Subsidiary part	处理(T) Treatment (T)	3	141811205.2	47270401.7	23.61	3.16
	交互作用(T × N) Interaction (T × N)	6	3544838.7	590806.4	0.30	2.66
	误差 T Error T	18	36044268.8	2002459.4		
	总变异 Total variation	35	270773606.7			

2.2 不同水氮处理对番茄品质的影响

外观是番茄的第一感官品质,包括果实大小、形状、色泽及硬度。表 5 的结果表明,番茄果色受灌水

量影响显著,但与施氮量关系不明显。随着灌水量的减少,番茄红色素含量增加,果色指数增大。T2、T3 与 T4 处理的果色指数较大,分别为 35.59、36.55

和 36.54, 与 T1 处理差异显著。果实硬度随灌水量的减小呈增大趋势, T4 处理的果实硬度最高, 为 $7.76 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 与 T1、T2 和 T3 处理差异显著。此外, 施氮量对番茄硬度影响显著, N3 处理的果实硬度为 $7.66 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 较 N1 和 N2 处理分别增加 $0.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $0.17 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 增幅为 4.6% 和 2.3%, 处理间差异显著。

番茄内在品质是指番茄果实的口感和营养, 主要由果实可溶性固形物 (SSC)、可溶性糖、有机酸及维生素 C 的含量决定。从表 5 可以看出, 随着灌水量降低, 番茄的 SSC 和可溶性糖含量逐渐增加, 有机酸含量则减小。T4 处理的番茄 SSC 和可溶性糖含量分别为 4.51Brix 和 3.17%, 较 T1 处理增加 0.56Brix 和 0.44%, 增幅分别为 14.2% 和 16.1%, 处

理间差异显著。T1 处理的有机酸含量最高, 为 0.38%, T3 和 T4 处理最低, 均为 0.36%, T1 与 T3、T4 处理差异显著。灌水量对维生素 C 的影响呈现先增大后降低的趋势, 其中 T2 处理的维生素 C 含量最高, 为 $13.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, T4 处理最低, 为 $10.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, T2 与 T4、T1 处理差异显著, 与 T3 处理差异不显著。从施氮量看, 不同施氮量处理对番茄 SSC 和有机酸影响不明显, 但对维生素 C 及可溶性糖含量影响显著。其中 N2 处理的维生素 C 含量为 $13.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, N1 和 N3 次之, 且处理间差异显著。N3 处理的可溶性糖含量最高, 为 3.36%, 较 N1 和 N2 分别增加 0.84% 和 0.47%, 增幅达 33.3% 和 16.3%, N3 与 N1、N2 处理差异显著。与产量指标类似, 灌水量与施氮量对番茄品质的互作效应不显著。

表 5 不同水氮处理对番茄品质的影响

Table 5 The effect of water and nitrogen treatments on fruit quality of tomato

处理 Treatment	颜色指数 Color index	果实硬度 Fruit firmness /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	可溶性固形物 Soluble solids content (Brix)	有机酸 Soluble acid /%	维生素 C Vc /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	可溶性糖 Soluble sugar /%	
T1	34.11b	7.26c	3.95c	0.38a	11.48b	2.73b	
处理(T) Treatment (T)	T2	35.59a	7.40bc	4.05bc	0.37ab	13.27a	2.77b
	T3	36.55a	7.54b	4.26ab	0.36b	12.17ab	3.02a
	T4	36.54a	7.76a	4.51a	0.36b	10.96b	3.17a
处理(N) Treatment (N)	N1	34.66a	7.32c	4.13a	0.37a	11.99b	2.52c
	N2	35.94a	7.49b	4.24a	0.36a	13.07a	2.89b
	N3	36.48a	7.66a	4.20a	0.36a	10.85c	3.36a
T × N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

2.3 水氮生产函数

回归分析结果显示 (图 2), 番茄产量与灌水量之间呈二次函数关系 ($R^2 = 0.9994$), 在一定的灌水量范围内番茄总产量随水量增加不断提高, 总产量在灌水量为 100% T1 时达到最大值, 为 $253.22 \times 10^3 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 但考虑到增水和增产的经济效益以及结合产量与品质的方差分析结果, 本试验认为适合当地种植模式的灌水量为 85% T1。

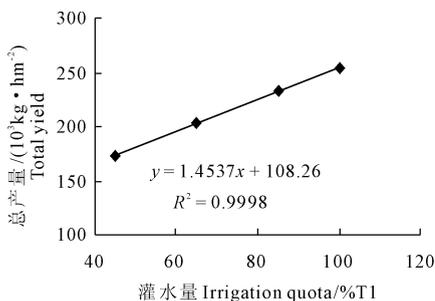


图 2 灌水量与总产量的关系

Fig. 2 Relationship between total yield and irrigation quota

总产量与施氮量之间呈线性关系 ($R^2 = 0.9999$) (图 3), 由此可见增施氮肥能提高作物的产量, 但由于施氮量过多会造成土壤氮含量富集, 对环境造成污染, 同时会增加氮淋失的可能性从而降低氮肥的利用率。因此在本试验中结合表 3、表 5 的分析结果确定适宜的施氮量为 75% N1 (3/4CK)。

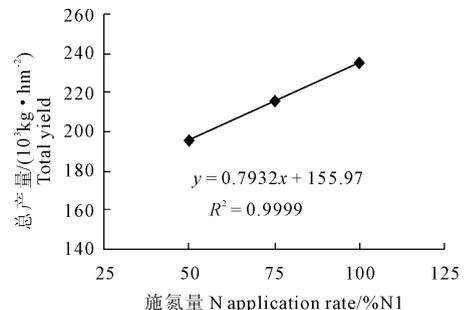


图 3 施氮量与总产量的关系

Fig. 3 Relationship between total yield and N application rate

3 讨 论

大果番茄的主要用途是烹饪或鲜食,在不考虑品质因素的情况下,产量仍是决定鲜食番茄经济效益的第一要素。在本试验中,番茄总产量与市场产量随灌水量减少而降低,T3 和 T4 处理的市场产量较 T1 处理分别降低 19.2% 和 31.6%,且产量降低主要是由单果重减小所致。这是因为成熟番茄的含水量占其总质量的 90% 以上,番茄大小主要由影响果实水分积累的因素决定^[6]。在番茄的关键生育期,水分亏缺往往导致植物根系可利用的水分减少,造成作物吸水困难,叶面积指数降低,光合作用下降,影响干物质与水分的积累,导致减产。这与 Ismail S M 等^[7]的研究结果一致。氮肥也是影响果实大小的重要因素。在本试验中,番茄总产量与市场产量随施氮量的减少而降低,其中 N1 处理的市场产量最高,较 N3 处理增产 39.81 t·hm²,增幅 20.8%。这是因为氮肥是形成叶绿素的重要营养物质,施氮量不足往往导致作物冠层发育不良,叶面积指数降低,影响光合同化物的积累,导致减产^[8]。

品质是果蔬的重要商品属性,对商品售价起决定作用。对鲜食番茄而言,其果实不仅要有良好的外观和口感,而且也要有较高的营养价值和一定储藏时间。在本试验中,番茄果色指数随灌水量的减少而增加,T4 处理的果色指数最高,与对照处理差异显著。这可能与乙烯释放量有关,因为在水分亏缺时,番茄果实释放的乙烯量一般会增加^[9],而乙烯能够促使果实早熟,增加果实抗氧化物含量,从而提高番茄红素含量,增加果皮色度^[10]。这也与其他研究者^[11]的结论一致。但也有结果表明,水分亏缺对果实颜色没有显著影响^[12]。硬度是与番茄成熟度相关的品质指标,硬度稍大的番茄不仅增加番茄口感,而且能够提高抗机械损伤的能力,延长保存期。本研究中,减少灌水量和施肥量均能增加番茄果皮硬度,其原因可能与单果质量降低、可溶性固形物含量增加,致使细胞密度变大有关。

番茄口感品质主要由可溶性糖及有机酸的含量决定,其可溶性糖主要为果糖、葡萄糖与蔗糖,有机酸则以柠檬酸为主。在本试验中,番茄 SSC 与可溶性糖含量随灌水量的降低而增加,而有机酸含量则不断减小,从而提高番茄口感品质。这可能与植物的自我适应机制有关。因为一般植物在亏水时,往往会发生渗透调节,其直接结果是扩大植物库源器官间的蔗糖浓度梯度,增加库压,促使光合产物被较多地积累到植物库器官,即果实中,使番茄可溶性固

形物和可溶性糖的含量增加^[13]。此外,水分亏缺提高果实中蔗糖酸性转化酶与合成酶的活性,促使更多的蔗糖被转化为果糖和葡萄糖^[14],也可能是 SSC 与可溶性糖增加的原因。番茄有机酸含量随灌水量的减少而降低,这与袁丽萍等^[5]的结论相一致。本试验中,不同施氮量对番茄 SSC 和有机酸影响不显著,但可溶性糖含量随施氮量的增加而降低。这与杨丽娟等^[15]的结论相一致。

维生素 C 是番茄重要的营养品质指标,受种植环境光照与温度影响较大^[16]。在本试验中,随灌水量和施氮量的减小,番茄维生素 C 含量呈现先增大而后降低的趋势。在 T2 和 N2 处理时,番茄维生素 C 含量最大,为 13.27 mg·kg⁻¹ 和 13.07 mg·kg⁻¹,分别与对照处理 T1 和 N1 差异显著。这主要是因为适当的水分亏缺和降低施氮量抑制了作物营养生长,降低叶面积指数,增加番茄果实的光照强度与时间,促进维生素 C 合成。但灌水量和施氮量减少过多则有可能对植株生长造成严重水肥胁迫,阻碍自身生长发育,从而导致维生素 C 含量下降。这与谢安坤等^[17]的研究结果一致。

水肥是影响作物生长的两大主要因素,作物根系对水分和养分的吸收虽然是两个相对独立的过程,但两者对于作物生长的作用却是相互制约的,人们经过长时间研究探索将这种水分和养分对作物生长作用相互制约现象,称为水肥交互效应。同时有研究认为,水肥的交互效应的完美体现,提倡灌溉与施肥在时间、数量和方式上合理配合^[18]。除此之外,与土壤水分状况、土壤肥力、作物不同生育阶段的需水需肥规律以及当地的气候条件,有机肥与化肥的使用比例不当等有密切关系^[19]。本试验中灌水量与施氮量对番茄品质和产量交互作用不明显,原因有以下几点:第一,试验者对番茄各生长阶段灌水施肥的时间没有合理掌握,供其生长发育施用的氮肥量较少,使得水氮交互效应不明显。第二,由于试验者关于水分亏缺程度与施氮数量的搭配不准确所致,因为不同水分胁迫条件下,水肥对作物的生长发育和生理特性有着不同的作用机理和效果。在水分胁迫较轻时,养分能显著促进作物的根系和冠层生长发育,不仅增强了根系对水分和养分的吸收能力,而且提高叶片的净光合速率,降低气孔导度,维持较高的渗透调节功能,改善植株的水分状况,从而促进光合产物的形成,最终表现为产量和 WUE 的提高。然而,随着水分胁迫的加剧,养分的作用机理和效果发生了不同的变化。氮素的促进作用随水分胁迫的加剧慢慢减弱,在土壤严重缺水时甚至表现

为负作用。具体原因需进一步进行试验研究。

4 结 论

灌水和施肥是影响番茄产量与品质的两大重要因子。在本试验条件下,采用 85% CK 灌水量处理对番茄市场产量无显著影响,而 65% 和 45% CK 灌水量处理则减产明显,分别达 19.2% 和 31.6%,且主要是由单果重降低所致。采用 3/4 对照施氮量处理对番茄总产量和市场产量影响不显著,而 1/2 对照施氮量处理则减产明显。减少灌水量显著增加番茄的果色指数与硬度,提高 SSC、可溶性糖含量,但降低有机酸含量,从而改善番茄外观及口感品质。不同施氮量处理对番茄 SSC、有机酸含量影响不显著,但减少施氮量能增加可溶性糖含量。番茄维生素 C 含量随灌水量与施氮量的降低均呈现先增加而后降低的趋势。综合考虑不同灌水量与施氮量对番茄产量和品质的影响以及水氮生产函数,本研究认为在覆膜沟灌种植模式下,采用 416.76 mm(85% CK)灌水量及 117.6 kg·hm²(3/4CK)纯氮施用量,能够获得较高的番茄产量、水分利用效率,同时改善番茄品质,适宜在生产中推广应用。

参 考 文 献:

[1] 陈秀香,马富裕,方志刚,等.土壤水分含量对加工番茄产量和品质影响的研究[J].节水灌溉,2006,(4):1-4.

[2] 程智慧,刘旭新,董志刚,等.西安蔬菜主产区土壤硝态氮累积现状与蔬菜产品浅层地下水氮素污染调查研究[J].西北农业学报,2008,17(1):188-192.

[3] 吴龙生.有机肥和化学氮肥混合施用对番茄产量的影响[J].河北农业科学,2008,12(7):44-45.

[4] 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(Z2):151-154.

[5] 袁丽萍,米国全,赵灵芝,等.水氮耦合供应对日光温室番茄产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2008,(2):69-73.

[6] Ho L C. Control of import into tomato fruits [J]. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 1980,93:315-325.

[7] Ismail S M, Ozawa K, Khondaker N A. Influence of single and multiple water application timings on yield and water use efficiency in tomato [J]. Agricultural water management, 2008,95(2):116-122.

[8] Dorais M, Papadopoulos A P, Gosselin A. Greenhouse tomato fruit quality[J]. Horticultural Reviews, 2001,(26):280-281.

[9] Basiouny F M, Basiouny K, Maloney M. Influence of water stress on abscisic acid and ethylene production in tomato under different PAR levels[J]. Journal of Horticultural Science, 1994,69(3):535-541.

[10] Paz O, Janes H W, Prevost B A, et al. Enhancement of fruit sensory quality by post-harvest applications of acetaldehyde and ethanol[J]. Journal of Food Science, 1982,47(1):270-276.

[11] Rudich J, D Kalmar, C C. Gei zenberg, S. Harsel. Low water tension in defined growth stages of processing tomato plants and their effects on yield and quality[J]. Journal of Horticultural Science, 1977, 52:391-399.

[12] Mills T M, Behboudian M H, Tan P Y, et al. Plant water status and fruit quality in 'Braeburn' apples[J]. Hortscience, 1994,29(11):1274-1278.

[13] Ho L C. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1988,39(1):355-378.

[14] 齐红岩,李天来,张 洁,等.亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(7):1045-1049.

[15] 杨丽娟,梁成华.不同用量氮、钾肥对油菜产量及品质的影响[J].沈阳农业大学学报,1999,30(2):109-111.

[16] Dumas Y, Dadomo M, Di Lucca G, et al. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003,83(5):369-382.

[17] 谢安坤,李志宏,张云贵,等.不同施氮水平对番茄产量、品质及土壤剖面硝态氮的影响[J].中国土壤与肥料,2011,(1):26-29.

[18] 李 敏,杨天旭,严锦申,等.烟草水肥耦合的研究进展[J].天津农业科学,2010,(4):96-98.

[19] 汪德水.旱地农田肥水关系原理与调控技术研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,1995:233-237.