

网络出版日期:2017-08-18
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0939.024.html

水氮耦合对隔沟灌溉温室番茄品质的影响

王雪梅¹,曹红霞²,韩红亮¹

(1. 杨凌职业技术学院 水利工程学院,陕西杨凌 712100;2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院,陕西杨凌 712100)

摘 要 试验设置固定隔沟灌和交替隔沟灌 2 种灌溉方式,每种灌溉方式设置 2 个灌水水平和 2 个施氮水平,共 8 个处理,展开不同水氮组合对温室番茄品质影响的研究。结果表明,固定隔沟灌、降低灌水量可显著提高番茄的可溶性固形物、有机酸、可溶性糖和维生素 C 质量分数;增加施氮量能显著提高番茄的有机酸质量分数。交替隔沟灌,增加施氮量可显著提高番茄的可溶性固形物质量分数;增加灌水量可显著提高番茄的有机酸和维生素 C 质量分数,降低施氮量或增加灌水量均能显著降低番茄硝酸盐质量分数。交替隔沟灌更有利于提高番茄的可溶性糖质量分数,降低硝酸盐质量分数,提高果实品质。

关键词 隔沟灌溉;水氮耦合;品质;温室番茄

中图分类号 S275 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2017)08-1197-05

目前,蔬菜的生产理念不仅要确保产量稳定,更注重品质提高^[1]。品质除了受到品种的影响外,主要受水与肥等环境因素的影响。蔬菜的营养品质主要包含维生素、有机酸、矿物质、碳水化合物等指标^[2]。20 世纪末,人们开始关注蔬菜品质提高的研究^[3]。增施氮肥可降低甘蓝、青花菜、胡萝卜等多种露地叶菜类蔬菜的钾、蔗糖、维生素 C、食用纤维等成分质量分数,但会增加硝酸盐、全氮以及胡萝卜素等的质量分数^[4]。对于滴灌番茄,过量施氮或不施氮均会减少番茄果实维生素 C 质量分数;增加施氮量和灌水量可显著提高果实中有机酸质量分数,但对可溶性糖质量分数影响不显著;增加追施氮肥量和减少灌水量可显著提高果实中硝酸盐质量分数;灌水量为 2 270 m³/hm²与施氮量为 370 kg/hm² 是番茄最佳水肥组合^[5]。相同施氮量时,随着灌水量的增加果实硝酸盐质量分数会降低;相同灌水量时,随着施氮量的增加果实硝酸盐质量分数也会增加^[6]。适量施氮可显著提高蔬菜产品的品质,过量施氮会造成非氮源营养成分的下降^[7]。然而,这些研究没有将水肥和灌溉方式综合起来考虑,因此,本试验主要将灌溉方式和水肥相结合研究固定隔沟灌和交替隔沟灌 2 种灌溉方式下,不同水氮耦合对番

茄品质的影响,进而为寻求较优化的温室番茄隔沟灌溉水氮耦合提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2012 年 5 月 5 日至 8 月 19 日在陕西省杨凌区秦岭山现代农业股份有限公司的日光温室内进行。温室大小规格为 28 m×6.5 m。试验区土壤质地为重壤土,1 m 深土层内的田间持水量(质量含水率)和体积质量分别为 24%和 1.34 g/cm³,土壤肥力中等均一。

试验材料为番茄品种‘美粉先锋’。种植模式采用梯形沟等行距密植栽培法,垄顶宽 15 cm,垄底宽为 25 cm,沟顶宽 35 cm,沟底宽 25 cm,沟深 15 cm,沟长 6.5 m,行距 50 cm,株距 40 cm,种植密度为 3 000 株/hm²。番茄于 5 月 5 日定植,7 月 3 日摘心,8 月 19 日拉秧。

试验过程中均采用统一耕作和病虫害防治。番茄定植前将全部有机肥(鸡粪 15 t/hm²)、磷肥(纯 P 150 kg/hm²)、钾肥(纯 K 150 kg/hm²)和氮肥(纯 N 150 kg/hm²)作为基肥一次性施入。

1.2 试验设计

试验设置固定隔沟灌溉(FFI)和交替隔沟灌

溉(AFI)2种灌溉方式,每种灌溉方式下设置灌水量和追氮量2因素2水平完全组合形式,共设置8个处理,每个处理内种植5行为5个重复,试验设计见表1。灌水量设W1和W2(W2为W1灌水定额的75%,全生育期共灌水9次,W1共灌水1296 m³/hm²,W2共灌水972 m³/hm²)2水平;追氮量设N1(150 kg/hm²)和N2(0 kg/hm²)2水平,且平均分3次在番茄第2、3、4穗果的果实膨大期追完,每次追肥到同一沟内。

1.3 测定指标与方法

番茄果实成熟后,每个处理选取同一穗果的9个果实进行品质测定。可溶性固形物采用手持式折光仪法,有机酸采用酚酞为指示剂滴定法,可溶性糖采用蒽酮比色法,维生素C采用钼蓝比色法,硝酸盐采用水杨酸比色法。

2 结果与分析

提高番茄果实的可溶性固形物质量分数可提

表 1 试验设计

Table 1 Experiment design

灌水方式 Irrigation method	处 理 Treatment	组 合 Combination
FFI	T1	W1N1
	T2	W1N2
	T3	W2N1
	T4	W2N2
AFI	T5	W1N1
	T6	W1N2
	T7	W2N1
	T8	W2N2

表 2 不同水氮耦合番茄果实品质的变化

Table 2 The changes of tomato fruit quality in different water and nitrogen coupling

处 理 Treatment	灌水方式 Irrigation method	组合方式 Combination modes	w(可溶性固形物)/% Soluble solids	w(有机酸)/% Organic acid	w(维生素 C)/ (mg/kg) Vitamin C	w(可溶性糖)/% Soluble sugar	w(硝酸盐)/ (mg/kg) Nitrate
T1	FFI	W1N1	5.50 b	0.70 b	126.50 c	2.13 b	142.75 c
T2		W1N2	5.97 a	0.63 c	139.60 c	2.07 b	105.42 d
T3		W2N1	6.10 a	0.75 a	192.60 a	2.30 a	299.47 a
T4		W2N2	6.10 a	0.67 b	186.70 b	2.10 b	289.82 b
T5	AFI	W1N1	5.80 b	0.60 b	170.90 a	2.23 c	287.35 b
T6		W1N2	5.67 b	0.70 a	156.30 b	3.32 a	226.35 d
T7		W2N1	6.40 a	0.50 c	133.80 d	2.46 b	308.25 a
T8		W2N2	5.20 c	0.43 d	151.80 c	2.33 c	241.25 c

注: 同列相同字母表示差异性不显著, 不同字母表示差异性显著; 小写字母表示在 0.05 水平上显著(不同灌水方式单独分析)。

Note: The lowercase letter indicates no significant differences, different letters mean significant difference; lowercase letters mean significant at the 0.05 level(separate analysis is applied to different irrigation methods).

高其营养成分^[8]。番茄果实中的有机酸组分和质量分数是决定果实品质的一个重要因素^[9],丰富的维生素C和有机酸对蔬菜中的铁具有还原作用,从而能够促进人体对铁的吸收。含糖量较高酸度过低或二者均过低时会造成番茄果实缺乏甜酸适度的口味;糖和酸均过低时即使有合适的糖酸比也会令人感到淡而无味^[10]。硝酸盐质量分数作为衡量蔬菜产品质量的卫生指标之一,无公害蔬菜对果菜类蔬菜硝酸盐质量分数要求小于600 mg/kg^[11],蔬菜硝酸盐卫生评价标准要求小于432 mg/kg^[12]。

2.1 水氮耦合对番茄果实可溶性固形物质量分数的影响

表2反映了2种灌水方式下,不同水氮处理番茄果实品质的变化。

表3方差分析表明,固定隔沟灌,除T1外其余各处理番茄的可溶性固形物质量分数无显著性差异; $F_{\text{水}}=25.18, F_{\text{氮}}=10.31, F_{(\text{水} \times \text{氮})}=13.60, F_{0.05(1,8)}=5.32, F_{\text{水}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{\text{氮}} > F_{0.05}$,水对番茄的可溶性固形物质量分数影响最显著,其次是水氮耦合,最后是氮;说明水是主要影响因素,降低灌水量可显著提高番茄的可溶性固形物质量分数。交替隔沟灌,除高水处理之间无显著性差异外,其余各处理之间均呈显著性差异; $F_{\text{水}}=3.02, F_{\text{氮}}=45.09, F_{(\text{水} \times \text{氮})}=30.41, F_{0.05(1,8)}=5.32, F_{\text{氮}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{0.05}, F_{\text{水}} < F_{0.05}$,氮对番茄的可溶性固形物质量分数影响最显著,其次是水氮耦合;说明氮是主要影响因素,增加施氮量可显著提高番茄的可溶性固形物质量分数。

表 3 不同水氮耦合番茄果实品质的方差分析

Table 3 Analysis of variance of tomato fruit quality in different water and nitrogen coupling

灌水方式 Irrigation methods	检验指标 Combination modes	可溶性固形物 Soluble solids	有机酸 Organic acid	维生素 C Vitamin C	可溶性糖 Soluble sugar	硝酸盐 Nitrate
FFI	$F_{\text{水}}$ F_{water}	25.18	54.61	424.03	13.39	4 717.20
	$F_{\text{氮}}$ F_{nitrogen}	10.31	115.64	2.87	34.15	91.83
	$F_{(\text{水} \times \text{氮})}$ $F_{(\text{water} \times \text{nitrogen})}$	13.60	1.25	13.67	3.25	29.78
AFI	$F_{\text{水}}$ F_{water}	3.02	12 813.9	150.13	133.76	159.08
	$F_{\text{氮}}$ F_{nitrogen}	45.09	107.80	3.54	190.29	126.45
	$F_{(\text{水} \times \text{氮})}$ $F_{(\text{water} \times \text{nitrogen})}$	30.41	2 647.5	63.69	360.17	5.94

注:在 0.05 水平下用 LSD 方差分析(不同灌水方式单独分析)。
Note:Analysis of variance of LSD at the 0.05 level(separate analysis is applied to different irrigation methods).

2.2 水氮耦合对番茄果实有机酸质量分数的影响

表 3 方差分析表明,固定隔沟灌,除了 T1、T4 差异性不显著外,其余各处理均呈显著性差异; $F_{\text{水}} = 54.61, F_{\text{氮}} = 115.64, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 1.25, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{\text{水}} > F_{0.05}, F_{(\text{水} \times \text{氮})} < F_{0.05}$,氮对番茄的有机酸质量分数影响最显著,其次是水;说明氮是主要影响因素,这与王伯柯等^[13]所得的结论相一致,增加施氮量和同一施氮水平降低灌水量均能显著提高番茄的有机酸质量分数。交替隔沟灌,各处理之间呈显著性差异; $F_{\text{水}} = 12 813.9, F_{\text{氮}} = 107.80, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 2 647.5, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{\text{氮}} > F_{0.05}$,水对番茄的有机酸质量分数影响最显著,其次是水氮耦合,最后是氮;说明水是主要影响因素,增加灌水量可显著提高番茄的有机酸质量分数。

2.3 水氮耦合对番茄果实维生素 C 质量分数的影响

表 3 方差分析表明,固定隔沟灌,番茄维生素 C 质量分数除了高水处理 T1 和 T2 之间无明显差异外,其余处理间均呈显著性差异; $F_{\text{水}} = 424.03, F_{\text{氮}} = 2.87, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 13.67, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{0.05}, F_{\text{氮}} < F_{0.05}$,水对番茄维生素 C 质量分数影响最显著,其次是水氮耦合;说明水是主要影响因素,降低灌水量可显著提高番茄的维生素 C 质量分数。交替隔沟灌,各处理之间呈显著性差异,且 $F_{\text{水}} = 150.13, F_{\text{氮}} = 3.54, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 63.69, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{0.05}, F_{\text{氮}} < F_{0.05}$,水对番茄维生素 C 质量分数影响最显著,其次是水氮耦合;说明水是主要影响因素,增加灌水量可显著提高番茄的维生素 C 质量分数。

2.4 水氮耦合对番茄果实可溶性糖质量分数的影响

表 3 方差分析表明,固定隔沟灌,番茄可溶性糖质量分数除了 T3 外其余处理之间无明显差异, $F_{\text{水}} = 13.39, F_{\text{氮}} = 34.15, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 3.25, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{\text{水}} > F_{0.05}, F_{(\text{水} \times \text{氮})} < F_{0.05}$,氮对番茄的可溶性糖质量分数影响最显著,其次是水;说明水是主要影响因素,降低灌水量能显著增加番茄的可溶性糖质量分数。交替隔沟灌,除 T5 和 T8 外,其余处理之间均呈显著性差异,且 $F_{\text{水}} = 133.76, F_{\text{氮}} = 190.29, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 360.17, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{\text{水}} > F_{\text{氮}} > F_{0.05}$,水氮耦合对番茄的可溶性糖质量分数影响最显著,其次是水,最后是氮。交替隔沟灌番茄可溶性糖显著高于固定隔沟灌,更有利于改善番茄果实的风味,提高番茄果实的品质。

2.5 水氮耦合对番茄果实硝酸盐质量分数的影响

表 3 方差分析表明,各处理之间呈显著性差异。固定隔沟灌, $F_{\text{水}} = 4 717.20, F_{\text{氮}} = 91.83, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 29.78, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{\text{氮}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{0.05}$;交替隔沟灌, $F_{\text{水}} = 159.08, F_{\text{氮}} = 126.45, F_{(\text{水} \times \text{氮})} = 5.94, F_{0.05(1,8)} = 5.32, F_{\text{水}} > F_{\text{氮}} > F_{(\text{水} \times \text{氮})} > F_{0.05}$;各因素对番茄硝酸盐质量分数的影响程度的次序相同,水对番茄硝酸盐质量分数的影响最显著,氮次之,最后是水氮耦合。同一灌水水平降低施氮量和同一施氮水平增加灌水量均能显著降低番茄硝酸盐质量分数。

由表 2 可知,番茄硝酸盐质量分数最大值为 308.25 mg/kg,既小于无公害蔬菜硝酸盐质量分数要求^[11],也小于蔬菜硝酸盐卫生评价标准^[12]。2 种灌溉方式相比,除了低水、低氮处理小于固定

隔沟灌外,其余处理均高于固定隔沟灌;固定隔沟灌高水处理组番茄果实的硝酸盐质量分数最低且最小值为 105.42 mg/kg,交替隔沟灌低氮处理降低了番茄果实硝酸盐质量分数的积累,其最小值为 226.35 mg/kg,比固定隔沟灌最小值高 114.71%,固定隔沟灌有利于降低番茄果实硝酸盐的质量分数。

3 结 论

水对有机酸、可溶性糖和维生素 C、硝酸盐质量分数的影响较显著;氮对可溶性固形物、有机酸、可溶性糖质量分数和硝酸盐质量分数的影响较显著;水氮耦合效应对可溶性固形物和维生素 C、硝酸盐质量分数的影响较显著。

固定隔沟灌,降低灌水量可显著提高番茄的可溶性固形物、有机酸、可溶性糖和维生素 C 质量分数;增加施氮量能显著提高番茄的有机酸质量分数。交替隔沟灌,增加施氮量可显著提高番茄的可溶性固形物质量分数;增加灌水量可显著提高番茄的有机酸和维生素 C 质量分数。2 种灌水方式下,同一灌水水平降低施氮量和同一施氮水平增加灌水量均能显著降低番茄的硝酸盐质量分数。交替隔沟灌更有利于提高番茄的可溶性糖质量分数,改善番茄果实风味,降低硝酸盐,提高番茄果实品质。

参考文献 Reference:

- [1] 王 亮,王慧芳,王春生. 气调指标穗冬枣果实呼吸、相对电导率、叶绿素质量分数及果皮色泽的影响[J]. 果树学报, 2007, 24(4): 487-491.
WANG L, WANG H F, WANG CH SH. Effect of O₂ and CO₂ concentration on reoperation, relative electrical conductivity, contents of chlorophyll and skin color of Dongzao jujube fruit[J]. *Journal of fruit Science*, 2007, 24(4): 487-491(in Chinese with English abstract).
- [2] 吕家珑, 李 敏, 钱 伟. 蔬菜品质、标准和感官鉴定[J]. 长江蔬菜, 1992(6): 3-5.
LÜ J L, LI M, QIAN W. The quality, standard and sensory evaluation of vegetable[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 1992(6): 3-5(in Chinese).
- [3] SORENSEN J N. Nitrogen effects on vegetable crop production and chemical composition[J]. *Acta Horticulturae*, 1999(506): 41-49.
- [4] 胡承孝, 邓波儿. 氮肥对小白菜、番茄供食器官品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(1): 85-89.
HU CH X, DENG B E. Effect of nitrogen fertilizer on the qualities of Chinese cabbage and tomato fruits[J]. *Plant Nutrition and Fertilize Science*, 1997, 3(1): 85-89 (in Chinese with English abstract).
- [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.
YUAN L P, MI G Q, ZHAO L ZH, *et al.* Concurrent influence of different water and nitrogen supplement on yields and quality of tomato in solar-greenhorn[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2008(2): 69-73(in Chinese with English abstract).
- [6] 袁丽萍, 司力珊, 张 力, 等. 水氮耦合供应对温室番茄果实硝酸盐累积的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(5): 33-35.
YUAN L P, SI L SH, ZHANG L, *et al.* Effects of different irrigation and nitrogen supply on nitrate accumulation in tomato fruit in solar-greenhorn[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2008(5): 33-35(in Chinese with English abstract).
- [7] 闵 炬, 施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 151-157.
MIN J, SHI W M. Effect of different N rates on the yield, N use efficiency and fruit quality of vegetables cultivated in plastic greenhouse in Taihu lake region[J]. *Plant Nutrition and Fertilize Science*, 2009, 15 (1): 151-157 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张旭伟, 徐明磊, 李红艳, 等. 番茄果实可溶性固形物的作用及研究概况[J]. 科技资讯, 2011(15): 160-161.
ZHANG X W, XU M L, LI H Y, *et al.* The role and research overview of soluble solids of tomato fruit[J]. *Science & Technology Information*, 2011(15): 160-161 (in Chinese).
- [9] LOBIT P, GENARD M, WU B H, *et al.* Modelling citrate metabolism in fruits: response to growth and tem perature [J]. *Journal of Experimental Botang*, 2003, 54 (392): 2489-2501.
- [10] 齐红岩, 李天来, 邹琳娜. 番茄果实不同发育阶段糖分组成和质量分数变化的研究初报[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(5): 346-348.
QI H Y, LI T L, ZOU L N. Changes of composition and content of carbohydrate during tomato fruit development [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2001, 32(5): 346-348(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈碧华, 郜庆炉, 杨和连, 等. 水肥耦合对番茄果实中硝酸盐质量分数的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2008, 36(2): 26-28.
CHEN B H, GAO Q L, YANG H L, *et al.* Study on the effect of water-fertilizer coupling on the nitrate content of tomato fruits of drip irrigation under plastic film in greenhouse[J]. *Journal of Hennan Institute of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 2008, 36(2): 26-28 (in Chinese with English abstract).
- [12] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 等. 蔬菜硝酸盐累积的研究 I. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐质量分数的评价[J]. 园艺学报,

1982,9(4):41-48.

SHEN M ZH,ZHAI B J,DONG H R,*et al.* Studies on ni-
trate accumulation in vegetable crops I. Evaluation of ni-
trate and nitrite in different vegetables[J]. *Acta Horticul-
ture Sinica*,1982,9(4):41-48(in Chinese with English ab-
stract).

[13] 王柏柯,帕提古丽,余庆辉,等. 水肥调控对加工番茄品质、
产量影响研究[J]. 新疆农业科学,2008,45(2):323-326.

WANG B K,PATIGULI,YU Q H,*et al.* Effect of water
and fertilizer control on quality and yield of processing to-
mato[J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2008, 45 (2):
323-326(in Chinese with English abstract).

Coupling Effect of Water and Nitrogen on the Quality of Greenhouse Tomato under Furrow Irrigation

WANG Xuemei¹, CAO Hongxia² and HAN Hongliang¹

(1. College of Water Resources Engineering, Yangling Vocational & Technical College, Yangling Shaanxi 712100, China;
2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract The study was to explore the coupling effect of water and nitrogen on the quality of green-
house tomato, eight treatments of three factors including irrigation methods, irrigation volume, and
nitrogen application were set. The results showed that, under the fixed furrow irrigation, reducing
the irrigation water could significantly improve the soluble solids, organic acid, soluble sugar mass
fraction and vitamin C mass fraction of tomato; increasing nitrogen application could significantly im-
prove the organic acid mass fraction of tomato. Under the alternate furrow irrigation, increasing irri-
gation water could significantly increase the organic acid mass fraction and vitamin C mass fraction of
tomato. Reducing nitrogen or increasing irrigation water could significantly reduce the nitrate mass
fraction of tomato. The alternate furrow irrigation was more advantageous to improve soluble sugar
mass fraction, and to reduce nitrate mass fraction was more advantageous, and then improved fruit
quality.

Key words Separate furrow irrigation; Water-nitrogen coupling; Quality; Greenhouse tomato

Received 2016-02-28 **Returned** 2016-05-17

Foundation item Fundamental Research Funds for the Central Universities(No. QN2011022); Natu-
ral Science in Shaanxi Providence of China(No. 2012JM3004); Scientific Research Projects of Public
Welfare Industry of the Ministry of Water Resources(No. 201001061) .

First author WANG Xuemei, female, lecturer. Research area; theoretical study and teaching work of
water saving irrigation. Email; xuemei0921@163. com

(责任编辑:潘学燕 **Responsible editor**; PAN Xueyan)