第 38 卷第 1 期
2020 年 01 月

干 旱 地 区 农 业 研 究
Agricultural Research in the Arid Areas

Vol.38 No.1
Jan. 2020

文章编号:1000-7601(2020)01-0074-05　　doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.01.10

减氮控水对日光温室番茄-小型西瓜产量、品质及氮素利用的影响

程于真[1,2], 罗　伟[1,2], 陈竹君[1,2], 周建斌[1,2]

(1.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2.农业部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘　要:研究日光温室滴灌施肥条件下,不同水肥组合对作物产量、品质和氮素利用的影响,综合评价优化水肥和常规水肥管理的调控效应。田间试验设置 4 个水氮处理,包括不施氮+常规灌溉(N_0+FI)、常规施氮+常规灌溉(FT+FI)、优化施氮+常规灌溉(OPT+FI)、优化施氮+优化灌溉(OPT+OI)。测定不同处理下秋冬茬番茄-春茬小型西瓜的产量、品质以及根、茎、叶、果实氮素吸收量。结果表明:优化水氮处理(OPT+OI)番茄产量和果实可溶性糖、可滴定酸和 Vc 含量与农户常规水氮处理(FT+FI)无显著差异,但番茄果实的硝酸盐含量降低了 66.3%($P<0.05$);灌溉量相同时,减氮 40%处理(OPT+FI)的小型西瓜产量相比常规施氮处理(FT+FI)提高了 13.1%;OPT+OI 处理果实的可溶性糖、可滴定酸和 Vc 含量较对照处理(N_0+FI)均显著提高。不同水肥处理下,两季作物氮在各器官的累积量均表现为果实>叶>茎>根。随着番茄的生长,果实和茎的氮素携出量占总携出量的比例分别由 62.4%和5.9%增加至 67.1%和 6.3%,而根和叶中氮素携出量降低,OPT+OI 处理果实氮素携出所占比例增量最大,促进了营养器官中的氮素向果实中转运。在当前日光温室栽培条件下,适当优化施氮量和灌溉量既可以保证作物产量和氮素吸收,同时提高果实的品质。

关键词:日光温室;减氮控水;番茄;小型西瓜;产量;品质;氮素利用

中图分类号:S143.1;S275.6;S641.2;S651　　**文献标志码**:A

Effects of reducing water and fertilizer rates on yield, quality and nitrogen utilization of tomato and mini-watermelon in solar greenhouse

CHENG Yuzhen[1,2], LUO Wei[1,2], CHEN Zhujun[1,2], ZHOU Jianbin[1,2]

(1. *College of Natural Resources and Environment*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100. *China*;
2. *Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-Environment in Northwest China*,
Ministry of Agriculture, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: This study was aimed to investigate the effect of different combinations of irrigation and fertilizer on yield, quality, and nitrogen (N) utilization of crops in drip fertigated solar greenhouse.The experiment included four treatments including no N input+common irrigation (N_0+FI), farmers' N input+common irrigation (FT+FI), optimum N input+common irrigation (OPT+FI), and optimum N input+optimum irrigation (OPT+OI).The nutrient absorption, yield, quality of autumn-winter tomato and spring mini-watermelon in different treatments were determined.Compared with the practical methods of using fertilizer and water by farmers in the region, the combination of optimum N and optimum irrigation did not cause reduction of the yield, content of soluble sugar, titratable acids, and Vitamin C (Vc) of tomato, but the treatments decreased the nitrate content in fruit by 66.3%.When the irrigation amount was similar, the yield of mini-watermelon with 40% reduction in N fertilizer input was 13.1% higher than that of farmers' N input. The content of soluble sugar, titratable acid, and Vc in fruit of OPT+OI treatment were significantly higher than that of the control.The nitrogen distribution proportion illustrated as fruit >leaf >

收稿日期:2019-03-21　　**修回日期**:2019-04-24
基金项目:国家"十三五"国家重点研发计划课题(2017YFD0200106;2018YFD0201302)
作者简介:程于真(1993-),女,山西省晋城市人,硕士研究生,研究方向为日光温室养分管理与调控。E-mail:790992070@qq.com
通信作者:周建斌(1964-),男,陕西大荔人,博士,教授,主要从事土壤-植物系统氮素循环及调控方面的研究。E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

stem>root. With the growth of tomato, the nitrogen distribution proportion in fruit and stem increased from 62.4 and 5.9% to 67.1 and 6.3%, respectively, while that in root and leaf decreased, OPT+OI treatment promoted the transport of N from vegetative organs to fruit (the nitrogen distribution proportion in fruit of this treatment increased the most). It is concluded that under current cultivation conditions, yields and N uptake of crop could be obtained at optimum N and irrigation, which also have promoted the fruit quality.

Keywords: solar greenhouse; water and fertilizer saving; tomato; mini-watermelon yield; quality; nitrogen utilization

近年来我国设施农业发展迅速,至 2015 年,设施蔬菜种植面积达 400×10^4 hm^2 以上[1],在我国蔬菜生产中占有极其重要的地位。日光温室是北方地区重要的栽培方式,具有高投入、高产出和较高的复种指数等特点,但由于农民生产中缺乏养分管理知识,过量水肥投入问题十分严重。刘苹等[2]研究发现,寿光市设施大棚周年平均肥料养分投入为 N 3 338、P_2O_5 1 710、K_2O 3 446 kg·hm^{-2},是当地小麦-玉米轮作种植模式的 6~14 倍。周婷等[3]对陕西日光温室施肥调查表明,单季化肥养分 N 投入是作物携出量的 1.2~2.7 倍,氮素平均盈余量高达 1 023 kg·hm^{-2},唐珧等[4]在山西南部地区设施栽培的研究也得到类似结果。可见我国当前日光温室栽培下过量施肥问题突出。

日光温室系统过量施肥,导致土壤中氮、磷、钾养分大量累积。在我国日光温室集中地区山东寿光的研究表明,温室土壤有机质、全氮、硝态氮、速效磷、速效钾的含量均显著高于露地土壤[5]。随着种植年限的增加,土壤剖面硝态氮累积量显著增加,陕西新建日光温室种植 3 a 后,0~200 cm 土层硝态氮累积量增加到 1 380 kg·hm^{-2}[6]。土壤硝态氮可通过淋洗、径流和硝化、反硝化等途径进入水体和大气,污染环境,导致农田面源污染风险增加[7]。菜田土壤盐分与土壤硝态氮含量之间呈极显著正相关关系,表明土壤硝酸根的积累是引起土壤次生盐渍化的重要原因之一,也是造成设施蔬菜生理障碍的主要土壤因子[8]。同时过量氮肥投入不仅没有增产效果,反而导致蔬菜、果实硝酸盐含量升高、品质下降[9-10]。因此,日光温室持续、高效、安全生产是需要进一步研究的问题。

近年来,不少学者开展了灌溉和施肥对日光温室作物生长发育、产量品质和水氮利用效率等方面的研究,但多集中在肥料用量、水分管理及施用方式等某一方面[11-14],综合考虑氮肥与灌溉的协同作用对日光温室作物生长的研究相对较少。因此,本试验设置不同的水氮调控措施,对两茬作物产量、品质、氮素吸收进行研究,旨在为日光温室高产、优质蔬菜生产,控制氮素损失提供理论与实践依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

研究区位于黄土高原南部的陕西省杨凌示范区大寨乡设施蔬菜栽培基地。当地属大陆性季风气候,海拔 520 m 左右,年均降水量约 630 mm,主要集中于 7—9 月,年均温度为 12.9℃。研究区日光温室多建于 2009—2010 年,采用新型钢梁结构,单个温室面积约为 700 m^2。试验温室土壤为褐土类塿土亚类红油土属,试验前 0~1 m 土层硝态氮累积量为 2 881 kg·hm^{-2}。其他基本理化性质见表 1。

1.2　试验设计

田间试验于 2017 年 7 月—2018 年 7 月进行,供试作物为秋冬季番茄(金鹏 14-6)-春季小型西瓜(千鼎 1 号)。试验共设 4 个处理,分别为:不施氮+常规灌溉(N_0+FI)、常规施氮+常规灌溉(FT+FI)、优化施氮+常规灌溉(OPT+FI)、优化施氮+优化灌溉(OPT+OI)。其中常规施氮量及常规灌溉量根据当地日光温室设施蔬菜施肥状况调查和已有文献的调查结果确定,优化施氮量根据在当地已进行的研究确定,优化灌溉量依据作物不同生长期需水规律进行灌溉至田间持水量的 70%~75%,具体施氮量及灌水量见表 2。各处理有机肥和磷、钾肥用量均相同,番茄季施入有机肥 36 000、P_2O_5 150、K_2O 225 kg·hm^{-2},有机肥和磷肥全部作基肥,氮、钾肥作追肥分 3 次施用。小型西瓜季施入有机肥 3 000、P_2O_5 100、K_2O 100 kg·hm^{-2},有机肥作底肥一次施入,氮、磷、钾肥均作为追肥分 2 次施用。供试有机肥为商品有机肥,其碳氮比(C/N)为 11.0、含全氮 11.9 g·kg^{-1}、全磷 21.2 g·kg^{-1}、全钾 13.6 g·kg^{-1}。化肥采用尿素(46% N)、重过磷酸钙(46% P_2O_5)和硫酸钾(50% K_2O)。

试验采用随机区组设计,每个处理重复 3 次,小区面积为 16.8 m^2(7 m×2.4 m),相邻小区之间设置保护行。试验温室灌溉全部采用滴灌系统,所有追肥通过滴灌系统随水冲施,用 TRIME-PICO-IPH 管式土壤水分仪每隔 20 cm 测定土壤体积含水率,测至 80 cm 土层。番茄定植时间为 2017 年 9 月 6 日,

拉秧时间为2018年2月28日。田间采用宽窄行进行种植,大行间距70 cm,小行间距50 cm,株距30 cm。小型西瓜2018年2月28日定植,当年6月28日收获,种植宽窄行间距同番茄季,株距50 cm。作物生长期除草、打叶、病虫害防治等措施按照无公害蔬菜栽培技术规程进行管理。

1.3 样品采集与测定

番茄定植前在试验区采集4钻0~200 cm土层土壤样品(每20 cm为一层),剔除作物根系后带回实验室,测定土壤基础理化性质。

以小区为单位将果实鲜样全部收获测产,详细记录收获的果实鲜重。在果实成熟期,每小区选4株发育状况相对一致的植株,摘取每株的果实,立即带回实验室测定果实品质,测定指标包括果实Vc含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量及硝酸盐含量。作物生长期间及拉秧后将植株样品的根、茎、叶、果实分开采收,烘干后混合、粉碎,测定总干重及各部分全氮含量。

1.4 数据分析

数据处理采用Microsoft Office Excel 2016进行数据统计和图表制作,SPSS 21.0进行单因素方差分析,用Duncan检验($\alpha=0.05$)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理秋冬季番茄和春季小型西瓜的产量

由图1A可知,不同处理下秋冬茬番茄产量在67.7~72.3 t·hm^{-2}之间,优化施氮+优化灌溉处理将施氮量和灌溉量分别由常规用量的450 kg·hm^{-2}和1 618 m^3·hm^{-2}降至225 kg·hm^{-2}和1 316 m^3·hm^{-2},番茄产量差异均未达显著水平。由图1B可知,与FT+FI处理相比,OPT+OI处理的施氮量和灌溉量分别减少40%和15%,对小型西瓜果实产量无显著影响;在相同灌溉量条件下,优化施氮处理显著增加了果实产量。可知与当前农户常规施氮和灌溉量相比,优化施氮和优化灌溉减量潜力较大。

2.2 不同处理番茄-小型西瓜果实品质

由表3可以看出,与对照处理(N_0+FI)相比,3个施氮处理下秋冬茬番茄果实的可溶性糖、可滴定酸及Vc含量均有所增加,但差异未达显著水平。同时各品质指标的变化量随施氮量的增加呈先增加后减少的趋势,其中OPT+OI处理可溶性糖和Vc含量最高,分别为4.99%和13.19 mg·100g^{-1}。OPT+OI处理的番茄果实硝酸盐含量显著低于FT+FI和OPT+FI处理($P<0.05$),前者分别比后两者降低了66.3%和56.9%。

由表4可知,与对照处理相比,OPT+OI处理显著提高了小型西瓜的可溶性糖及可滴定酸及Vc含量,且优化施氮+优化灌溉与常规施氮+常规灌溉相比的果实品质无显著差异。以上结果说明,常规施肥存在过量现象,减少氮肥施用能够有效地提高果实品质,减少作物对硝酸盐的吸收和累积。

表1 供试土壤基本理化性质

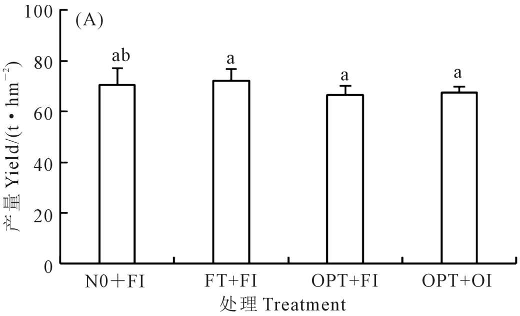
Table 1 Basic physical and chemical properties of soil used

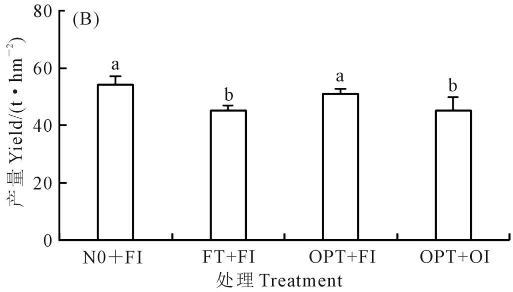
土层 Soil layer /cm	容重 Bulk density /(g·cm^{-3})	电导率 Electrical conductivity /(μS·cm^{-1})	pH	有机质 Organic matter /(g·kg^{-1})	全氮 Total nitrogen /(g·kg^{-1})	矿质态氮 Mineral N /(mg·kg^{-1})	速效磷 Available P /(mg·kg^{-1})	速效钾 Available K /(mg·kg^{-1})
0~20	1.28	485	7.86	14.84	1.46	327	212	774
20~40	1.43	469	8.01	9.16	0.95	280	84	398

表2 秋冬季番茄-春季小型西瓜各处理施氮及灌溉量

Table 2 The N application rates and irrigation amount in different treatments

种植作物 Crop	处理 Treatment	处理代码 Treatment code	施氮总量 N fertilizer rate/(kg·hm^{-2})	灌溉总量 Irrigation/(m^3·hm^{-2})
番茄 Tomato	不施氮+常规灌溉(CK) No nitrogen input+common irrigation	N_0+FI	-	1618
	常规施氮+常规灌溉 Farmer nitrogen input+common irrigation	FT+FI	450	1618
	优化施氮+常规灌溉 Optimum nitrogen input+common irrigation	OPT+FI	225	1618
	优化施氮+优化灌溉 Optimum nitrogen input+optimum irrigation	OPT+OI	225	1316
小型西瓜 Mini-watermelon	不施氮+常规灌溉(CK) No nitrogen input+common irrigation	N_0+FI	-	900
	常规施氮+常规灌溉 Farmer nitrogen input+common irrigation	FT+FI	250	900
	优化施氮+常规灌溉 Optimum nitrogen input+common irrigation	OPT+FI	150	900
	优化施氮+优化灌溉 Optimum nitrogen input+optimum irrigation	OPT+OI	150	765





注:不同字母表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平。

Note: Different letters indicate significant difference among different treatments at $P<0.05$ level.

图 1　不同处理对两季作物产量的影响(A.秋冬茬番茄;B.春茬小型西瓜)

Fig.1　Effects of different treatments on crops yield.(A: autumn-winter tomato; B:spring mini-watermelon)

2.3　不同处理番茄-小型西瓜氮素携出量

由不同处理番茄-小型西瓜氮素携出量结果(表 5、6)可知,两季作物氮素吸收均以叶片和果实为主,氮在各器官的累积量为果实>叶>茎>根。对比秋冬茬番茄不同时期氮素携出量,在番茄结果初期,果实氮素携出量占到了总氮素携出量的 60%以上,根部氮素携出量占植株总氮素携出量的 1.53%~1.94%;茎部氮素携出量占 5.55%~6.36%;叶片的氮素携出量占 28.3%~32.3%。在番茄拉秧后,根、茎、叶各部分的氮素携出量分别占植株的 1.18%~1.47%、5.96%~6.68%和 24.1%~26.5%。果实氮素携出量占到了氮素总累积量的 65%以上,其中第一和第二穗果占果实总氮素携出量的一半以上。比较两个时期发现,随着番茄的生长,各处理中根和叶片的养分氮素携出比例相比结果初期均不同程度地减少,而第 1~5 穗果的氮素携出量和比例均有所增加,这是果实对氮素吸收和干物质累积量共同增加的结果。OPT+OI 处理的果实氮素携出比例变化最大,由 60.6%增至 68.8%,说明 OPT+OI 处理促进了氮素从营养器官向果实中的转运,有助于氮素在植株中的合理分配。

表 3　不同处理对秋冬茬番茄品质的影响

Table 3　Effects of different treatments on quality of autumn-winter tomato

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar/%	可滴定酸 Titratable acids/%	Vc /(mg·100g^{-1})	硝酸盐 Nitrate content /(mg·kg^{-1})
N_0+FI	4.06±0.61a	0.39±0.03a	11.24±0.91a	140±50.33bc
FT+FI	4.45±1.19a	0.43±0.09a	12.63±2.52a	230±44.42a
OPT+FI	4.71±0.39a	0.49±0.06a	13.11±3.42a	180±56.51ab
OPT+OI	4.99±0.72a	0.49±0.00a	13.19±1.55a	77.5±24.91c

注:结果为平均值±标准差,不同字母表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平。下同。

Note: Data in the table are mean ± SD. Different letters are significantly different among treatments at the $P<0.05$ level. The same below.

表 4　不同处理对春茬小型西瓜品质的影响

Table 4　Effects of different treatments on quality of spring mini-watermelon

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar/%	可滴定酸 Titratable acid/%	Vc /(mg·100g^{-1})	可溶性固形物 Soluble solid/%
N_0+FI	9.24±0.23b	0.058±0.002b	4.16±0.26b	8.93±0.55a
FT+FI	9.39±0.15ab	0.063±0.005ab	5.55±0.25a	8.77±0.42a
OPT+FI	9.46±0.04ab	0.065±0.008ab	5.78±0.88a	8.8±0.79a
OPT+OI	9.65±0.28a	0.070±0.004a	5.46±0.19a	8.8±0.53a

表 5　不同处理对秋冬茬番茄不同时期氮素携出量的影响

Table 5　Effects of different treatments on nitrogen uptake of tomato in different periods

时期 Period	处理 Treatment	氮素携出量 N uptake/(kg·hm^{-2}) 根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	第一穗果 Fruit 1	第二穗果 Fruit 2	第三穗果 Fruit 3	第四穗果 Fruit 4	第五穗果 Fruit 5	总量 Total
结果初期 The first cluster fruit ripening stage	N_0+FI	1.35	5.26	24.32	21.66	15.13ab	8.60	5.55	4.04a	85.91
	FT+FI	1.35	4.91	26.11	24.42	18.56a	8.56	3.32	1.07b	88.30
	OPT+FI	1.50	4.56	26.58	20.69	17.79ab	6.42	3.44	1.41b	82.39
	OPT+OI	1.64	5.38	26.27	20.82	12.25b	10.30	4.37	3.48a	84.50
拉秧 Harvest	N_0+FI	1.51b	7.83	33.45	26.89	21.52a	15.23	13.79	6.83	127.04
	FT+FI	1.88a	8.51	33.70	26.95	16.54ab	19.35	13.62	6.76	127.32
	OPT+FI	1.51b	7.89	30.92	28.56	19.12ab	12.47	14.30	6.27	120.97
	OPT+OI	1.25b	6.06	24.48	24.13	15.35b	15.18	10.03	5.24	106.26

由表 6 可以看出,不同处理下小型西瓜各部分的氮素携出量有所差异,但差异均未达显著水平。西瓜营养器官中氮积累量较少,果实较多,根、茎、叶氮素携出量分别约占西瓜总氮素携出量的 0.45% ~0.8%、9.5%~10%、23%~29%,而果实氮积累量约占西瓜总氮素携出量的 61%~67%。

综合两季结果来看,各处理间氮素携出总量均无显著差异,这主要是由于不同处理土壤水分的供应均较为充足,同时温室土壤养分量高,施用有机肥及化肥提供的养分量已高于作物养分的携出量,优化水肥在减氮控水的同时,不会对作物养分吸收造成显著影响。

表 6 不同处理对春茬小型西瓜氮素携出量的影响

Table 6 Effects of different treatments on nitrogen uptake of mini-watermelon

处理 Treatment	氮素携出量 N uptake/($kg \cdot hm^{-2}$)				
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit	总量 Total
N_0+FI	0.43	8.76	23.38	54.22	86.80
FT+FI	0.41	8.67	20.77	61.58	91.43
OPT+FI	0.42	8.44	25.61	56.43	90.91
OPT+OI	0.61	7.25	21.44	43.95	73.26

3 讨 论

本试验中 OPT+OI 处理两季作物种植的施氮水平由 700 $kg \cdot hm^{-2}$减少到 375 $kg \cdot hm^{-2}$,灌溉量从 2 518 $m^3 \cdot hm^{-2}$减少到 2 081 $m^3 \cdot hm^{-2}$,相当于施氮量和灌溉量分别降低了 46%和 15%,而番茄和小型西瓜果实产量均与 FT+FI 处理的产量无显著差异,说明在当地施氮及灌溉存在过量问题。不施氮处理与施氮处理间相比,番茄果实产量间也无显著差异,西瓜果实产量在常规施氮条件下还有所降低,一部分是因为多年来当地蔬菜生产中不断大量投入化学肥料及有机肥,从而造成养分在土壤中大量累积,作物可以从底层土壤中吸收累积的矿质氮;另一部分来源于施用有机肥中易降解有机氮的矿化。已有研究表明,山东寿光设施土壤每年表观氮矿化量约 200 $kg \cdot hm^{-2}$[15],且土壤氮素矿化量随其日光温室栽培年限的增加显著增加[16],在不考虑氮素利用的情况下,每年通过土壤矿化、有机肥和灌溉水带入的氮素量约为植株氮素吸收量的 2~3 倍[17]。本试验中不施氮处理与施氮处理相比,番茄果实品质和两季作物的氮素携出量均无显著差异,也进一步说明了当地日光温室栽培农户常规施氮与灌水问题突出,减氮控水具有较大潜力。为进一步明确减氮控水的田间效果,有必要进行长期的田间试验。

氮肥供应与作物品质之间存在一定的关系,果实品质的优劣也是评价施氮量适当与否的标准。与不施氮处理相比,3 个施肥处理随着施肥量的增多,番茄和小型西瓜果实的可溶性糖含量、Vc、可滴定酸含量总体上呈先上升后下降趋势,OPT+OI 处理的小型西瓜品质显著高于对照处理,适量施用氮肥有利于提高果实的品质,此结果与闵炬等[18]的研究结果一致。一般认为,氮素营养参与果实中糖类和氨基酸的形成过程,氮肥施用过少则导致果实芳香物质的合成减少,影响其风味;但过量施肥却会降低其非氮源营养成分如 Vc、总糖等的含量,还会引起作物营养生长与生殖生长失调,同时造成果实中硝酸盐含量上升[19]。范庆峰等[20]研究认为,蔬菜硝酸盐含量与土壤中氮素含量、形态、灌水量密切相关,土壤硝态氮含量较高时亦可引起茄果类蔬菜果实中硝酸盐的大量累积,试验各处理番茄果实的硝酸盐含量虽然没有超过我国对无公害蔬菜安全要求——瓜果类蔬菜硝酸盐限量标准($NO_3^- \leq 600$ $mg \cdot kg^{-1}$,GB 18406.1-2001)[7],但农户常规施肥处理已显著高于减施氮肥处理,若继续长期大量施用氮肥,可能造成番茄果实硝酸盐超标。有关灌水量与日光温室果蔬品质的关系研究少有报道,从本试验结果看,在施氮量相同的情况下,优化灌溉与常规灌溉相比,两季作物果实品质均无显著差异。因此,适当减施氮量和调控灌溉既能降低蔬菜中硝酸盐的含量且能保证果蔬营养品质。

设施生产存在品种单一化、土壤栽培和施肥位置相对固定的特点,随着栽培年限的延长,土壤连作障碍和病虫害问题加剧[21-22]。施肥量过大,导致土壤养分不均衡和盐分累积,是连作障碍产生的重要原因之一。陈志杰等[23]研究发现,设施黄瓜连作 2~4 a 后,土传病害和气传病害的发生随连作年限的延长明显加重。本试验所用温室种植时间已超过 9 a,栽培过程中发现作物灰霉病、青枯病严重,作物生长发育不良,干物质累积量减少,致使总养分携出量偏低,但未影响植株各部分氮素含量。因此,在适当减施氮量和调控灌溉的基础上,配合合理轮作、高温闷棚等措施[24],预防或减轻土壤连作引起的病害,有利于保证设施农业稳产高效。

4 结 论

对一年中日光温室两季作物番茄和小型西瓜轮作体系的研究结果表明,优化施氮+优化灌溉处理的施氮量和灌水量分别为 375 $kg \cdot hm^{-2}$和 2 518 $m^3 \cdot hm^{-2}$,虽较农户常规施氮和灌水量分别降低放

(下转第 85 页)