

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19374

结果期短期低氮处理对辣椒植株生长、产量及果实品质的影响

罗建, 张国斌*, 魏建业, 车旭升, 秦启杰, 张辉, 侯兆辉

(甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用盆栽试验, 连续两年研究结果期短期(9 d)低氮(0.83 和 5.83 mmol/L)处理对辣椒生长发育、产量及果实品质的影响。结果表明, 适度低氮(5.83 mmol/L, T2)对辣椒净光合速率无显著影响; 低氮处理后各处理组辣椒株高较对照降低, 但在恢复正常供氮(即对照水平, 9.83 mmol/L)9 d 后, 适度低氮处理的株高较对照增加, 但无显著差异; 植株叶面积在处理期无显著差异, 恢复正常供氮 9 d 后, 适度低氮处理的植株叶面积较对照显著增加, 而其产量与对照无显著差异; 低氮处理后果实品质提高, 适度低氮处理植株果实中相比对照的 Vc、可溶性蛋白、可溶性糖、辣椒素、二氢辣椒素含量增加, 硝酸盐含量减少, 均差异显著; 低氮处理后植物生物量也有所提高, 适度低氮处理植株叶片干鲜重量显著高于对照水平。因此, 结果期短时期适度低氮处理(5.83 mmol/L)能够在保证植株生长和产量的基础上提高果实品质。

关键词: 辣椒; 低氮; 结果期; 生长; 品质

辣椒(*Capsicum frutescent* L.)系茄科辣椒属作物, 北方重要的设施栽培蔬菜^[1]。辣椒作为人们喜爱的调味品蔬菜之一^[2], 在全世界栽培范围比较广泛^[3-4]。已有研究表明, 保护地蔬菜栽培化肥施用量明显高于露地栽培化肥用量, 使得施肥量(尤其是氮肥)远远高于栽培作物生长所需求的养分量^[5-7]。过量施用化学肥料, 造成大量过剩的氮肥在土壤中逐年累积, 使蔬菜栽培用地质量退化, 经济效益降低, 环境污染等问题突出^[8-9]。近几年来, 国内外对蔬菜栽培的合理施肥以及施肥量对栽培作物经济产量、品质等方面的研究较多, 设施蔬菜对氮肥比较敏感, 氮肥施用量的增减会影响设施蔬菜的生长发育, 商品产量以及品质的改善。有研究表明, 辣椒前期营养生长旺盛, 株高显著增加, 是在一定范围内增施氮肥造成的^[10], 但是超过一定施用量限度后, 会导致辣椒的落花落果、诱发病害、产生徒长, 进而影响到经济产量^[11-12], 与此同时, 辣椒果实中一些有益物质如 Vc、辣椒素等含量下降, 而有害物质如硝酸盐的含量会急剧上升, 而影响到果实品质^[13], 进而对健康造成危害。

研究表明, 不同的氮素形态($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$)对比对蔬菜的商品产量和果实品质有显著影响, 而大部分蔬菜吸收和利用 NO_3^- 的速率较高。Muller 等^[14] 和 Mozafar 等^[15] 已证实蔬菜体内的抗坏血酸含量在一定程度上受氮肥供应水平和不同氮素形态比例等因素的影响。Britto 等^[16] 研究表明以铵态氮作为唯一氮源时会诱发铵毒害而抑制栽培作物生长, 而适当的铵硝配比比较单一铵态氮源更利于植株生长发育。Sun 等^[17] 研究表明氮素的不同配比形态对温度的敏感程度也有不同, 一般来说秋冬季节时, 低温作用于作物, 会造成作物对硝态氮的吸收缓慢, 而当炎热的夏季时, 高温强光会造成植物体内铵态氮的转运受阻而造成累积, 这不但影响植株的正常生长, 还会导致作物对钙离子的正常吸收, 使钙离子吸收受阻, 形成铵盐毒害造成膜脂过氧化加剧, 如番茄果实中钙离子无法运转, 出现果实的较早脱落和果实无法食用的脐腐病等^[18-19]。

在提高蔬菜食用品质的同时, 能够减少化肥的大量施用和对环境的污染, 变成了提高商品产量之外的另一个重要课题, 研究表明, 改变氮肥用量, 适度低氮肥施用可以在一定程度上提高果实品质, 刘啸然^[20] 研究发现, 黄瓜短时期适度低硝态氮处理与对照相比果实抗坏血酸含量增加, 硝酸盐含量减少。孙娜等^[21] 研究发现, 结果期适度低硝态氮营养液处理黄瓜后, 与对照组相比, 在保证经济产量的情况下显著提高了黄瓜果实中抗坏血酸和

收稿日期: 2019-08-17; 录用日期: 2019-09-07

基金项目: 甘肃省科技重大专项计划(17ZD2NA015-02); 甘肃省自然科学基金(17JR5RA156)。

作者简介: 罗建(1994-), 男, 甘肃高台人, 硕士研究生, 主要从事设施蔬菜栽培。E-mail: 1143688036@qq.com。

通讯作者: 张国斌, E-mail: zhanggb@gsau.edu.cn。

可溶性固形物的含量。Benard 等^[22]研究发现, 结果期短期低硝态氮营养液处理番茄可显著降低果实中硝酸盐含量, 增加抗坏血酸含量, 但长时期对作物进行低氮处理在一定程度上限制了植株正常生长发育, 造成经济产量一定幅度的下降。硝态氮对蔬菜品质形成具有重要作用。目前研究多集中于水肥耦合对蔬菜品质的影响。辣椒是人类日常的调味品, 其品质中 Vc、辣椒素含量是衡量辣椒品质的重要指标。然而, 关于不同时期短期低硝态氮处理对辣椒品质、产量等方面的影响研究较少。

本文采用盆栽试验, 在辣椒结果期初期对植株进行短期低氮处理, 通过对植株的生长发育、产量与果实品质指标的测定, 研究短时期的低氮处理是否可以在不显著影响植株生长和经济产量的情况下, 提高果实品质, 降低对人体有害物质硝酸盐的含量, 为温室辣椒氮肥管理及果实品质改善的研究提供一定的技术指导和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用辣椒品种为“陇椒 5 号”, 是甘肃省当地日光温室主栽辣椒品种之一, 该品种具有熟性早, 抗病疫等特点, 适宜在北方地区保护地和露地栽培^[23-24]。

1.2 试验方法

试验于 2018 和 2019 年 1 ~ 7 月在甘肃农业大学玻璃温室内进行。采用盆栽方法, 盆栽基质为珍珠岩: 蛭石 = 2 : 1 (体积比) 配制而成, 试验所用盆为口径 (30 cm) × 高 (25 cm) 的塑料花盆, 每盆装入混合的培养基质 0.01 m³, 装盆时用水冲洗基质减少杂质。1 月 15 日育苗, 4 月 7 日定植, 定植后每 9 d 浇灌一次 500 mL 营养液, 炎热季节每 3 d 浇灌 300 mL 水, 浇灌用营养液为日本山崎营养液 (对照), 除硝态氮外其它成分及浓度如下: Ca²⁺4 mmol/L, NH₄⁺0.83 mmol/L, K⁺6 mmol/L, Mg²⁺0.75 mmol/L, Fe³⁺74.6 μmol/L, PO₄³⁻1.0 μmol/L, SO₄²⁻3.5 μmol/L, Mo⁶⁺0.1 μmol/L, Cu²⁺0.3 μmol/L, Zn²⁺0.8 μmol/L, Mn²⁺9.6 μmol/L, B³⁺46.3 μmol/L。

试验共设 3 个处理, 各处理总氮浓度分别为: T1, 0.83 mmol/L; T2, 5.83 mmol/L; CK, 9.83 mmol/L; 其中硝态氮 (NO₃⁻) 浓度分别为 0、5、9 mmol/L, 每个处理固定含有 0.83 mmol/L 的铵态氮 (NH₄⁺)。

每个处理 40 盆, 4 次重复, 随机区组排列。在辣椒结果初期既第二朵花开花后第二天开始进行为期 9 d 的低氮处理, 即为处理期, 处理 9 d 后恢复正常供氮, 即对照水平的氮供应量, 此阶段为恢复期。植株生长期, 每 9 d 浇灌营养液 500 mL 一次。其它栽培管理各处理保持一致。

1.3 测定项目及方法

光合参数: 分别在处理期的第 3、6、9 d 和恢复期的第 3、6、9 d 晴天 9:00 ~ 11:00 采用 CIRAS-2 型光合仪 (PP-System), 测定辣椒植株生长点下数第 4 片完全展开功能叶的气孔导度 (Gs)、净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr) 及胞间 CO₂ 浓度 (Ci)。光合仪器参数设定: 光强为 1 000 μmol/(m² · s), CO₂ 浓度为 380 μmol/mol, 温度为 25℃, 相对湿度为 75%。每处理测定 12 株, 取平均值。

生长指标: 处理前 1 d, 处理第 9 d, 恢复第 9 d 测量植株株高、茎粗及叶面积, 每个处理测定 12 株。其中茎粗测量点为距茎基部 1 cm 处。叶面积通过剪纸称重法^[25]来计算。

果实品质: 在恢复后第 18 d 对 2、3、4 穗果进行果实品质指标的测定, 每个处理测定 12 株, 取平均值。用蒽酮比色法^[26]测定可溶性糖含量, 考马斯亮蓝法^[27]测定可溶性蛋白量, 水杨酸—硫酸比色法^[28]测定硝酸盐含量, 2, 6—二氯靛酚法^[26]测定 Vc 含量, 高效液相色谱法^[29]测定辣椒素及二氢辣椒素。

果实产量: 在恢复后第 18 d 开始测定产量, 每个处理测定 30 株, 取平均值。

生物量测定: 在恢复第 18 d 测定各处理植株根茎叶的干鲜重, 鲜样测完鲜重后放入编号的纸袋, 在烘箱中 150℃杀青 15 min 后, 在 80℃下烘至恒重后测干重。每个处理测 12 株, 取平均值。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据处理和 Origin 9.5 作图, 测定结果利用 SPSS 22 Duncan 多重比较法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 结果期短期低氮处理对辣椒植株生物量的影响

由图 1 可知, 结果期短时期低氮处理在恢复正常供氮水平 18 d 后, 各处理的干、鲜重各部分依

然存在差异。2018年度,在恢复正常供氮18 d后,过度低氮处理的T1植株的叶片、茎和根部分鲜重相对于CK降低了9.4%、15.5%和16.6%,且都达到显著差异。T2植株的叶片鲜重高于CK 15.4%,达到显著差异,而根、茎部分鲜重与CK保持相同水平。2019年各处理的茎、根部分鲜重与2018年表现一致,叶片鲜重有所不同,T1植株的叶片鲜重相对于CK显著降低了13.9%。T2植株的叶片鲜重高于CK

11.1%,达到显著差异。可见,适度低氮处理(T2)在一定程度上有助于提高叶片的鲜物质量。

在干重方面两年的试验结果均表现为T1处理的叶、茎、根都显著低于CK处理。T2处理的叶在2018和2019年相比对照分别升高了4.3%和6.05%,且都达到显著差异。茎、根部干重与CK保持在同一水平。这说明适度低氮处理(T2)有助于叶片干物质量增加。

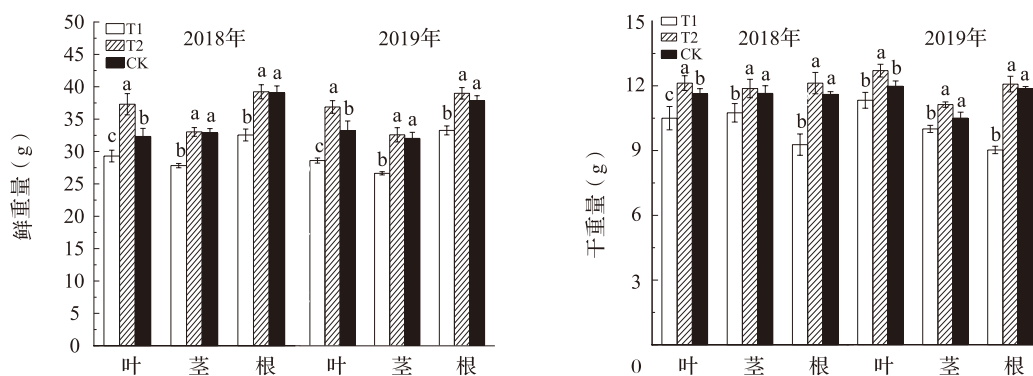


图1 恢复后第18 d植株干、鲜重

2.2 结果期短期低氮处理对辣椒光合特性的影响

从图2中可以看出,结果期短时期低氮处理对辣椒光合特性的影响不同年份表现一致,在对结果期辣椒植株进行短时期低氮处理期间,植株的各项光合指标都有不同程度的变化,其中植株的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度受到影响,短暂上升后下降,且T1植株光合特性指标变化幅度大于T2。以2018年为例,在处理第9 d,T1和T2的净光合速率分别比CK低48.5%和15.4%。T1达到显著水平。低氮处理降低了叶片蒸腾速率,T1和T2相比对照降低了25%和14.5%,T1达到显著差异。T1和T2的叶片气孔导度较CK也有所降低,T1比CK降低了27.8%,达到显著差异,而T2相比对照降低5.12%,但无显著差异。在低氮处理后叶片胞间CO₂浓度发生了不同程度的上升,这与其他3项指标不同,在处理第9 d,T1和T2相比对照分别显著提高了15.1%和11.6%。这说明虽然适度低氮(T2)处理在处理阶段对植株光合有影响,但影响不显著。

在恢复期,两年的试验结果基本一致,在恢复正常供氮的第9 d,处理组的各项光合指标均恢复到CK水平,无显著差异。这说明虽然低氮,尤其

是过度低氮(T1)处理,在处理期间对植株光合作用影响显著,但恢复正常供氮浓度9 d后,其光合指标是可以恢复到CK水平的。

2.3 结果期短期低氮处理对辣椒生长发育的影响

结果初期辣椒的生长发育还在不断进行,其低氮处理期间植株的株高、茎粗和叶面积仍是不断变化的。由表1得知,两年的试验结果基本一致,在处理期第9 d,处理组与对照组株高差异显著,茎粗和叶面积则无显著差异,在恢复期9 d后,T1的株高由于过度低氮抑制了生长,降低幅度比较大,差异显著,进而无法恢复到CK水平。相反,适度低氮处理的T2高于CK,但差异不显著。各处理之间茎粗没有受到低氮处理的影响,无显著差异。但值得关注的是,T2的叶面积在恢复期间有所增加,且差异显著。T1叶面积由于受到过度低氮的影响,没有恢复到CK水平,且差异显著。

以上结果表明,结果期实施短期低氮处理对植株茎粗影响不显著。而短时期的适度低氮(T2)可以促进植株叶面积的增长,有利于其在生长后期保持一定高的水平。

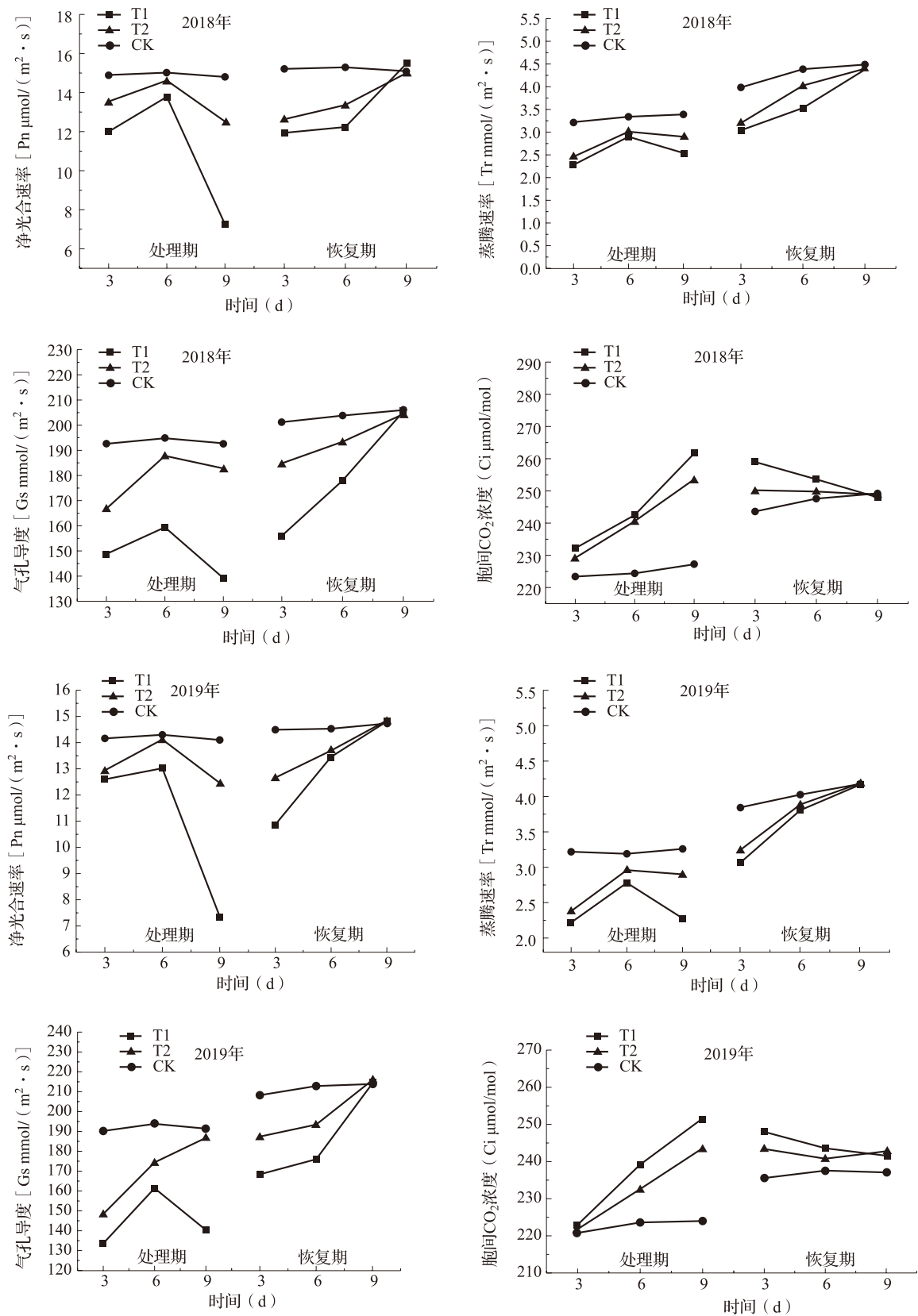


图2 处理期和恢复期植株光合特性

表 1 结果期短期低氮处理对辣椒株高、茎粗及叶面积的影响

处理	株高 (cm)			茎粗 (mm)			叶面积 (cm ²)		
	处理前 1 d	处理第 9 d	恢复第 9 d	处理前 1 d	处理第 9 d	恢复第 9 d	处理前 1 d	处理第 9 d	恢复第 9 d
2018 年									
T1	47.60 ± 0.83a	49.70 ± 1.63c	56.30 ± 1.43b	4.41 ± 0.05a	5.33 ± 0.30a	6.01 ± 0.23a	13.11 ± 0.20a	14.38 ± 0.23a	14.67 ± 0.07c
T2	48.30 ± 0.85a	54.00 ± 1.06b	65.30 ± 1.76a	4.64 ± 0.07a	5.55 ± 0.35a	5.94 ± 0.28a	13.30 ± 0.16a	15.31 ± 0.19a	17.93 ± 0.14a
CK	48.80 ± 0.04a	58.80 ± 1.36a	63.80 ± 1.35a	4.41 ± 0.07a	5.03 ± 0.21a	5.52 ± 0.23a	13.88 ± 0.11a	15.10 ± 0.09a	15.75 ± 0.12b
2019 年									
T1	47.60 ± 2.12a	49.86 ± 2.12b	55.67 ± 1.95b	3.90 ± 0.12a	4.53 ± 0.13a	5.05 ± 0.19a	10.13 ± 0.06a	11.54 ± 0.23b	11.85 ± 0.04c
T2	47.70 ± 1.05a	56.62 ± 1.37a	63.01 ± 1.00a	4.08 ± 0.04a	4.92 ± 0.08a	5.36 ± 0.08a	10.18 ± 0.06a	12.08 ± 0.13a	14.01 ± 0.13a
CK	47.18 ± 1.02a	58.43 ± 1.29a	62.39 ± 0.74a	3.93 ± 0.11a	4.74 ± 0.14a	5.13 ± 0.17a	10.25 ± 0.04a	11.85 ± 0.05a	12.73 ± 0.23b

注：表中同列不同字母表示处理之间差异显著（*P*<0.05），下同。

2.4 结果期短期低氮处理对辣椒品质及产量的影响

由表 2 可以看出，2018 与 2019 年在结果期对辣椒植株进行短期低氮处理后对品质及产量的影响，不同年份之间变化表现一致。以 2018 年为例，T1 处理果实 Vc 含量低于 CK 15.9%，而处理 T2 的果实 Vc 含量比 CK 增加 17.05%，差异显著。T1 和 T2 果实的硝酸盐含量比 CK 分别降低 15.4% 和 6.8%，差异显著。T1 和 T2 果实的可溶性蛋白和可

溶性糖含量高于 CK 水平。T1 的单株产量相比 CK 显著降低 21%，处理 T2 的单株产量和对照 CK 之间无显著差异。T1 的辣椒素和二氢辣椒素含量分别显著低于 CK 18% 和 43%。T2 的辣椒素和二氢辣椒素含量分别显著高于 CK 12% 和 20.4%。

两年试验结果可表明，在结果初期对辣椒进行短期低氮处理，适度低氮（T2）处理有利于果实品质的提高，且对辣椒产量无显著影响。

表 2 结果期短期低氮处理对辣椒品质及产量的影响

处理	Vc (mg/100 g)	硝酸盐 (mg/kg)	可溶性蛋白 (mg/100 g)	可溶性糖 (%)	辣椒素 (g/kg)	二氢辣椒素 (g/kg)	单株产量 (g)
2018 年							
T1	61.66 ± 0.63c	132.44 ± 1.26c	3.98 ± 0.01b	7.11 ± 0.02b	0.680 ± 0.17c	0.244 ± 0.01c	91.77 ± 0.81b
T2	85.83 ± 1.63a	145.93 ± 1.04b	4.94 ± 0.11a	13.13 ± 0.25a	0.950 ± 0.03a	0.519 ± 0.02a	111.30 ± 4.48a
CK	73.33 ± 0.37b	156.62 ± 1.12a	3.69 ± 0.01c	6.78 ± 0.07b	0.830 ± 0.03b	0.431 ± 0.18b	112.72 ± 3.93a
2019 年							
T1	64.33 ± 1.62c	133.45 ± 1.55c	4.01 ± 0.14b	7.94 ± 0.31b	0.685 ± 0.02c	0.303 ± 0.02c	88.77 ± 2.36b
T2	87.50 ± 1.04a	147.93 ± 0.13b	4.77 ± 0.25a	12.39 ± 0.48a	0.929 ± 0.03a	0.511 ± 0.01a	118.05 ± 3.10a
CK	75.90 ± 1.18b	159.12 ± 1.32a	3.20 ± 0.03c	6.84 ± 0.07b	0.801 ± 0.05b	0.407 ± 0.04b	121.97 ± 2.08a

3 结论与讨论

蔬菜栽培中为了追求高产使用“大水大肥”模式，造成蔬菜生产中氮肥用量过高，利用率过低，经济效益降低，还导致严重的环境问题。长期的低氮处理虽然可以减少氮肥的用量和提高利用率，但蔬菜产量明显降低^[30-33]。因此本试验选择在辣椒第二朵花开时期对辣椒植株进行为期 9 d 的低氮处理，随即恢复正常供氮水平，一是研究短时间低氮处理对辣椒植株生长发育的抑制程度，二是验证低氮处理是否可以在不影响产量的情况下改善果实品质。

在恢复正常供氮水平后的生物量测定中，连续两年适度低氮处理 T2 植株的叶片干重和鲜重相比对照 CK 显著提高。马国礼^[34]在对辣椒进行低氮处理时发现，随着施氮量的适度降低辣椒叶片的生物积累量有小幅提高。Camille 等^[35]研究认为，适度低氮处理可以使得番茄植株干物质含量有效增加。王春萍等^[36]研究发现，用氮浓度为 20% 的山崎营养液浇灌辣椒后，叶片和茎的干物质含量增加。

在结果期对辣椒进行短时期低氮处理中，植株的光合特性受到一定的影响，其中适度低氮处理（T2）叶片净光合速率与 CK 之间差异不显著。孙

娜^[37]发现,短期适度低氮处理(6 mmol/L)对黄瓜植株净光合速率抑制不显著。刘啸然^[20]对黄瓜幼苗进行短期低氮处理时发现,适度低氮(5 mmol/L)相比CK(11 mmol/L)处理可以使植株净光合速率提高。魏峭嵘等^[38]研究认为,在马铃薯块茎膨大期,中氮处理更有利于维持植株较高的净光合速率。

连续两年在辣椒植株生长发育指标值测定中,各处理株高在处理期表现出显著差异,T1、T2株高在处理期都低于CK;茎粗从处理到恢复期结束始终没有显著差异。在恢复正常氮浓度18 d后,发现T2在两年的低氮处理中生长情况良好且叶片面积相比CK分别增加了13.8%和10.5%,差异显著,结果表明,结果期短时期低氮处理有利于辣椒植株后期的生长发育。王晓伟等^[39]在不同氮水平处理中发现,低浓度氮(45 mg/L)处理相比高浓度氮(135 mg/L)处理容易让大豆在后期生长发育中维持较高的叶片面积。苏欣^[40]发现低施氮肥下辣椒叶片叶绿素含量增加,延长了叶片的功能时间,有利于后期植株叶面积增加。

两年的试验中,结果期短时期低氮处理T2果实的Vc含量在收获后都显著高出CK水平。T2果实的硝酸盐含量比CK显著降低了6.8%~7.03%,蛋白质含量、可溶性糖、辣椒素和二氢辣椒素显著高于CK水平。说明短时期的低氮处理提高了辣椒果实品质。氮肥水平的不同对果实品质的影响有许多报道:吕长山等^[41]研究表明在一定条件下,施用氮肥量的增加会导致辣椒果实中AsA含量和可溶性糖含量的减少。Ruiz等^[42]对温室黄瓜进行不同水平氮肥处理时发现,适度低氮(10 g/m²)处理的植株果实相比高氮(40 g/m²)处理不但硝酸盐含量降低,同时果实中含有的抗坏血酸、可溶性固形物及可溶性糖含量均保持在较高水平。吴春燕等^[43]对盆栽辣椒进行不同氮水平处理时,研究发现低氮(1.52 g)相比于高氮(2.28 g)处理,果实中硝酸盐含量减少,整体果实品质最佳。王春萍等^[44]研究发现,适度低氮(82.68 mg/L)处理下相比正常施氮(137.8 mg/L)辣椒果实中辣椒素含量显著增加。王淑杰等^[45]和陈俊琴等^[46]发现,低氮处理促进了辣椒果肉中辣椒素的合成积累,使得辣椒素含量增加。

本试验对结果期辣椒进行短期低氮处理,发现适度低氮处理(T2)的植株单株产量与CK之间无

显著差异。王彦波等^[47]在对甜椒进行不同氮浓度处理时发现,低氮(15 μmol/L)相比于高氮(20 μmol/L)处理,植株单株产量增加明显。万涛^[48]发现,低氮处理可以增加大豆植株体内干物质积累,提高大豆的产量。张志华等^[49]研究表明,低施氮肥可以增加辣椒植株单果果重,有利于产量增加。袁祖华等^[50]发现,纯氮施用量增加后,辣椒营养生长期增加,影响开花与结实,导致产量下降。

综上所述,本试验只在结果初期对辣椒植株进行单次短时间低氮处理,之后恢复正常水平供氮量,发现植株恢复正常供氮水平18 d后,适度短时期低氮处理的T2不但植株叶片生物量积累增加,植株叶面积较对照有显著增加,生长情况良好,且收获后果实抗坏血酸含量提高,硝酸盐含量降低,辣椒素含量增加,总体产量与对照无显著差异。此外,对辣椒植株进行低氮处理浓度的大小,处理时间的长短,处理的次数以及低氮处理施用在不同生育期是否会有其他更好的效果,这些都有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李婷,周超凡,王硕,等.日光温室嫁接辣椒氮钾优化施肥方案的研究[J].华北农学报,2016,31(S1):369-374.
- [2] 马文娟,同延安,高义民,等.平衡施肥对线辣椒产量、品质及养分累积的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(1):161-166.
- [3] 马艳青.我国辣椒产业形势分析[J].辣椒杂志,2011,9(1):1-5.
- [4] Cao S F, Yang Z F, Zheng Y H. Effect of 1-methylcyclopene on senescence and quality maintenance of green bell pepper fruit during storage at 20°C [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 70: 1-6.
- [5] 王孝忠.我国蔬菜生产的环境代价、减排潜力与调控途径[D].北京:中国农业大学,2018.
- [6] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等.山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J].土壤通报,2002,33(2):126-128.
- [7] Thompson R B, Martinez-Gaitan C, Gallardo M, et al. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey [J]. Agricultural Water Management, 2007, 89(3): 261-274.
- [8] 余海英,李廷轩,周健民.典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J].土壤学报,2006,43(4):571-576.
- [9] 杜连凤,张维理,武淑霞,等.长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探[J].植物营养与肥料学报,

- 2006, 12 (1): 133–137.
- [10] 徐晓燕. 钾氮肥配施对青椒效应的研究 [J]. 土壤通报, 1998, (03): 28–30.
- [11] 邱治龙, 杨小刚. 氮磷钾肥不同配施量对辣椒产量的影响 [J]. 耕作与栽培, 2002, (5): 45–46.
- [12] 李士敏. 氮、磷、钾肥料施用对辣椒产量和经济效益的影响 [J]. 土壤肥料, 2005, (1): 14–16.
- [13] 黄科, 刘明月, 蔡雁平, 等. 氮磷钾施用量与辣椒品质的相关性研究 [J]. 江西农业大学学报 (自然科学版), 2002, 24 (3): 363–368.
- [14] Muller K, Hippe J. Influence of differences in nutritional important quality characteristics of some agricultural crops [J]. Plant and Soil, 1987, 100: 35–45.
- [15] Mozafar A. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review [J]. Journal of plant Nutrition, 1993, 16 (12): 2479–2506.
- [16] Britto D T, Kronzucker H J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review [J]. Journal of Plant Physiology, 2002, 159: 567–584.
- [17] Sun C H, Cheng F, Li S J. NH_4^+ -N accelerated liquid peroxidation materials in tomato leaves in nutrient solution cultivation [J]. Acta Horticulture Sinica, 2002, 29 (10): 4–5.
- [18] Bar T A, Aloni B. Effects of nitrogen concentration and NO_3^- : NH_4^+ ratios on yield, fruit shape, and the incidence of blossom-end rot in relation to plant mineral composition [J]. Hort Science, 2001, 36 (7): 14–15.
- [19] 李美宁. 加工番茄膜下滴灌综合施肥技术研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2013.
- [20] 刘啸然. 苗期低氮处理对水培黄瓜生长及 AsA 代谢相关酶活性的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [21] 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.
- [22] Benard C, Gautier H, Bourgaud F, et al. Effects of low nitrogen supply on tomato (*solanum lycopersicum*) fruit yield quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids and phenolic compounds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57: 4112–4123.
- [23] 王兰兰, 陈灵芝, 程鸿, 等. 辣椒新品种陇椒 5 号的选育 [J]. 中国蔬菜, 2011, (10): 92–93.
- [24] 何志学. 氮素水平对辣椒生长生理和养分利用的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [25] 李治中, 谢菲, 刘小梅, 等. 2 种常用叶面积测量方法准确性的比较研究 [J]. 中国农学通报, 2013, 29 (19): 193–197.
- [26] Fairbairn N J. A modified anthrone reagent [J]. Chem and Ind, 1953, 4: 86.
- [27] 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, 2006. 182–248.
- [28] GB/T 15401–1994. 水果、蔬菜及其制品 亚硝酸盐和硝酸盐含量的测定 [S].
- [29] 厉志伟, 王盛莉. 高效液相色谱法测定辣椒中辣椒素、二氢辣椒素 [J]. 中国调味品, 2017, 42 (11): 123–126.
- [30] 武良, 张卫峰, 陈新平, 等. 中国农田氮肥投入和生产效率 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, (4): 76–83.
- [31] Ti C, Luo Y, Yan X. Characteristics of nitrogen balance in open-air and greenhouse vegetable cropping of china [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22: 18508–18518.
- [32] Chang J, Wu X, Wang Y, et al. Does growing vegetables in plastic greenhouses enhance regional services beyond the food supply [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2013, 11: 43–49.
- [33] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327: 1008–1018.
- [34] 马国礼. 不同水氮处理对日光温室基质栽培辣椒生长生理及养分吸收分配的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [35] Camille Be' Nard, Hélène G, Frédéric B, et al. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 57: 4112–4123.
- [36] 王春萍, 张世才, 黄任中, 等. 低氮胁迫对无土栽培辣椒形态、物质积累及氮吸收利用效率的影响 [J]. 辣椒杂志, 2018, 16 (1): 22–28.
- [37] 孙娜. 结果期短时期低氮处理对黄瓜生长、AsA 含量及代谢相关酶的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [38] 魏峭嵘, 曹敏建, 石瑛, 等. 氮素水平对马铃薯全生育期光合特性及产量的影响 [J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36 (1): 324–330.
- [39] 王晓伟, 闫超, 万涛, 等. 施氮水平对大豆光合作用及产量的影响 [J]. 作物杂志, 2011, (2): 49–52.
- [40] 苏欣. 氮肥水平对几种蔬菜产量、品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [41] 吕长山, 王金玲, 于广建, 等. 氮肥对辣椒果实品质及产量的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2005, 36 (4): 448–450.
- [42] Ruiz J M, Romero L. Commercial yield and quality of fruits of cucumber plants cultivated under greenhouse conditions: response to increases in nitrogen fertilization [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46: 4171–4173.
- [43] 吴春燕, 宋廷宇, 韩玉珠, 等. 氮肥对辣椒品质的影响 [J]. 北方园艺, 2016, (2): 162–165.
- [44] 王春萍, 张世才, 黄任中, 等. 不同氮素水平下加工型辣椒生长、产量和品质特性 [J]. 分子植物育种, 2020, 18 (4): 1379–1384.
- [45] 王淑杰, 何莉莉, 陈俊琴, 等. 氮素对辣椒果实中辣椒素及相关酶的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18 (3): 218–221.
- [46] 陈俊琴, 何莉莉, 王淑杰. 不同氮水平对辣椒果实中辣椒素

- 及其代谢物质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44 (5): 645-649.
- [47] 王彦波, 江伟, 刘惠英. 不同氮素浓度处理对彩椒生长及几项生理指标的影响[J]. 北方园艺, 2007, (7): 4-7.
- [48] 万涛. 氮素水平对大豆光合速率及产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [49] 张志华, 周军, 张海清, 等. 不同施氮量对辣椒产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55 (16): 4110-4112, 4116.
- [50] 袁祖华, 丁茁萸, 蔡雁平. 氮素对辣椒产量和硝酸盐积累的影响[J]. 辣椒杂志, 2006, (2): 22-23, 28.

Effects of short-term low nitrogen supply on growth, yield and quality of pepper during fruit stag

LUO Jian, ZHANG Guo-bin*, WEI Jian-ye, CHE Xu-sheng, QIN Qi-jie, ZHANG Hui, GOU Zhao-hui (College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract: The experiment was carried out to evaluate the effects of short-term (9 days) low nitrogen supply on growth, yield and quality of pepper grown in nutrient solution with potted cultivation during fruit stage, in 2018 ~ 2019. Three treatments were set up, including low nitrogen supply (0.83 mmol/L, T1), moderately low nitrogen supply (5.83 mmol/L, T2) and the control (9.83 mmol/L, CK). The results showed that T2 had no significant effect on net photosynthetic rate of pepper plant. The plant height of T1 and T2 treatments decreased compared with the control. However, after returning to normal nitrogen supply (9.83 mmol/L) for 9 days, the plant height of T2 increased compared with the control, but there was no significant difference. The leaf area of the plants was not significantly different during the treatment period. After recovering to normal nitrogen supply for 9 days, the leaf area of the plants treated with moderately low nitrogen treatment significantly increased compared with the control, while the yield was not significantly different from the control. Low nitrogen treatment improved the fruit quality. Compared with the control, the level of Vc, soluble protein, soluble sugar, capsaicin and dihydrocapsaicin in the fruits of moderately low nitrogen treatment significantly increased, and the nitrate level decreased significantly. Low nitrogen treatment increased plant biomass, and both the dry and fresh weight of plants leaves supplied with moderately low nitrogen treatment were higher than the control. Consequently, moderately low nitrogen treatment (5.83 mmol/L) in a short period during fruit stage improved fruit quality on the basis of ensuring plant growth and yield.

Key words: pepper; low nitrogen supply; fruit stage; growth; quality