

# 不同铵硝比对辣椒产量、养分积累和氮肥利用率的影响

袁嫋嫋, 邬刚, 王家宝, 井玉丹, 张祥明, 王文军, 陈俊阳, 孙义祥

(养分循环与资源环境安徽省重点实验室·安徽省农业科学院土壤肥料研究所 合肥 230031)

**摘要:** 通过设施大棚辣椒盆栽试验, 设置不施氮肥(CK)、铵态氮与硝态氮的氮质量比分别为 0:100(A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>)、25:75(A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>)、50:50(A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>)、100:0(A<sub>100</sub>N<sub>0</sub>) 5 个处理, 研究不同铵硝态氮对比对辣椒产量、养分积累和氮肥利用率的影响。结果表明, 与 CK 相比, 不同铵硝配比处理增加了辣椒的果实数、鲜果质量、干物质质量和氮、磷、钾积累。在所有处理中, A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 辣椒鲜果质量、干物质积累和果实养分积累均最高。A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 总鲜果质量比其他铵硝配比处理增加 20.95%~38.43%。第 3 次采摘时, A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 干物质高于其他铵硝配比处理, A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 氮和磷收获指数高于 A<sub>0</sub>N<sub>100</sub> 和 A<sub>50</sub>N<sub>50</sub> 处理; A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 钾收获指数高于 A<sub>0</sub>N<sub>100</sub> 和 A<sub>100</sub>N<sub>0</sub>。A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 辣椒氮肥利用率最高, 为 73.50%。辣椒初果期和采摘期养分积累比例不同。综上所述, 铵态氮与硝态氮配比为 25:75 时可保障辣椒高产, 又可降低环境风险。

**关键词:** 辣椒; 铵硝比; 产量; 养分积累; 氮肥利用率

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)02-043-06

## Yield, nutrient accumulation and nitrogen use efficiency of pepper under different ammonium/nitrate ratios

YUAN Manman, WU Gang, WANG Jiabao, JING Yudan, ZHANG Xiangming, WANG Wenjun, CHEN Junyang, SUN Yixiang

(Anhui Key Laboratory of Nutrient Cycling, Resources and Environment/Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, Anhui, China)

**Abstract:** A pot experiment with five treatments no nitrogen (CK), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 0% +NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 100% (A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 25% +NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 75% (A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 50% +NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 50% (A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>) and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 100% +NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 0% (A<sub>100</sub>N<sub>0</sub>) was carried out in the greenhouse to investigate the influence different ammonium/nitrate (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) ratios on yield, nutrient accumulation and nitrogen (N) use efficiency of pepper. The results showed that applying N fertilizer with different NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ratios significantly increased pepper fruit number, fresh fruit weight and dry matter weight and N, P and K accumulation compared with CK. A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> treatment had the highest fresh fruit weight, above ground dry matter weight and N, P and K accumulation in fruit. Total fresh fruit under A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> was 20.95%~38.43% higher than those under A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>, A<sub>0</sub>N<sub>100</sub> and A<sub>100</sub>N<sub>0</sub> treatment. At the third picking period, the dry matter, N and P use index under A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> were the highest. K use index under A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> was significantly higher than those under A<sub>0</sub>N<sub>100</sub> and A<sub>100</sub>N<sub>0</sub>. A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> had the highest nitrogen use efficiency of 73.5%. Therefore, the treatment of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 25% +NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 75% not only improved pepper yield, but also reduced environment impact.

**Key words:** Pepper; Ammonium/nitrate ratio; Yield; Nutrient accumulation; Nitrogen use efficiency

辣椒作为重要的茄果类蔬菜, 具有较高的经济价值, 是我国主栽设施蔬菜作物之一。“十三五”以来, 辣椒种植面积和产值均居全国首位<sup>[1]</sup>。氮素是植物必需的大量元素之一, 为了提高农作物产量,

生产者常施用大量氮肥, 尤其是设施蔬菜, 但氮肥只能部分被作物利用<sup>[2]</sup>, 过量施用氮肥一方面造成经济损失和资源浪费, 另一方面导致空气、水的污染, 造成土壤肥力退化、生物多样性损失等问题<sup>[3-4]</sup>。

收稿日期: 2020-12-22; 修回日期: 2021-04-07

基金项目: 安徽省重点研发计划(201904a06020035); 安徽省农业科学院科技创新团队(2020YL065)

作者简介: 袁嫋嫋, 女, 助理研究员, 从事生态环境与农业资源研究。E-mail: mmyuan09@163.com

通信作者: 孙义祥, 男, 研究员, 从事植物营养与农业资源环境研究。E-mail: sunyixiang@126.com

不同作物对氮素形态的吸收存在偏向选择性<sup>[5]</sup>。适当的铵硝比能提高作物对非生物胁迫的耐受性<sup>[6]</sup>，当铵态氮为主要氮源时，作物生物量减少，导致叶片生理功能退化<sup>[7]</sup>。铵态氮和硝态氮比例影响辣椒的营养元素积累和果实品质，这与辣椒的生长环境密切相关。管西林等<sup>[8]</sup>在露天菜地的研究表明，单施酰胺态氮或硝态氮均不利于辣椒优质高产，则需要根据土壤 pH 优化酰胺态氮和硝态氮的比例去实现。Zhang 等<sup>[9]</sup>在气候箱砂培的研究认为，铵硝比为 25:75 对辣椒生长后期的生物量积累促进作用显著。而关于设施大棚的氮肥形态配比对辣椒生长影响的研究未见报道。

笔者选择长期种植辣椒的设施大棚土壤，在大棚内采用盆栽试验，研究不同铵态氮与硝态氮配比对辣椒收获期产量、养分积累和氮肥利用率的影响，以期为设施大棚辣椒生产提供合理的施肥理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验于 2019 年 4—7 月在安徽省农业科学院园艺所设施大棚开展。取大棚内 0~20 cm 耕层土壤，自然风干，过 2 mm 网筛，分别称取 5.0 kg，与 0.15 mm 的基肥混匀后，装入 8 L 塑料花盆。辣椒品种为安徽省农业科学院园艺所选育的螺丝椒皖椒 101，适合长江流域设施栽培。在温室大棚穴盘育苗，苗龄为 40 d，4 月 28 日移入盆中，每盆 1 株。供试土壤理化性质：pH 7.02，有机质含量(w, 后同) 54.12 g·kg<sup>-1</sup>，碱解氮含量 126.2 mg·kg<sup>-1</sup>，有效磷含量 135.0 mg·kg<sup>-1</sup>，速效钾含量 528.0 mg·kg<sup>-1</sup>。所用肥料均为分析纯试剂，铵态氮和硝态氮的氮肥分别为 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>，磷肥为 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>，钾肥为 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。

### 1.2 试验设计

试验设置 5 个处理，每个处理 12 盆，3 次重复，每次重复 4 盆，分别为：CK，不施氮肥处理；A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>，施用铵态氮和硝态氮的氮素质量比例为 0:100；A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>，施用铵态氮和硝态氮的氮素质量比例为 25:75；A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>，施用铵态氮和硝态氮的氮素质量比例为 50:50；A<sub>100</sub>N<sub>0</sub>，施用铵态氮和硝态氮的氮素质量比例为 100:0。不同铵硝态氮配比处理氮素用量相同，为 500 mg·kg<sup>-1</sup> 风干土，分 4 次施入，每次施肥铵态氮和硝态氮的氮素质量比例均分别为 0:100、25:75、50:50、100:0。5 个处理磷肥和钾肥用量相同，分别为 200 和 400 mg·kg<sup>-1</sup>，与氮肥施入方法相同，分

4 次施入，第 1 次基肥与土壤混匀，后 3 次用 1000 mL 去离子水溶解后，均匀浇灌施入。每次施肥量见表 1。基肥施肥时间为 4 月 28 日辣椒移栽前，3 次追肥时间分别为 5 月 18 日、6 月 5 日、6 月 30 日。根据辣椒生长情况，进行统一浇水和喷药。

表 1 不同处理的施肥量 (mg·kg<sup>-1</sup>)

肥料	基肥	第 1 次追肥	第 2 次追肥	第 3 次追肥
N	200	100	100	100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100	40	30	30
K <sub>2</sub> O	150	100	100	50

### 1.3 项目测定及方法

辣椒养分试验从初果期开始采样，后又进行 3 次采样，每次采样取 3 盆作为 3 个重复。5 月 28 日初果期以 H0 表示，此时刚挂果，果实较小，统计果实数，将果实质量并入茎质量中，然后将叶和茎区分开，分别称鲜质量。采摘期辣椒分别于 6 月 18 日、7 月 9 日、7 月 26 日共进行 3 次采样，对应以 H1、H2、H3 表示，每次采样统计鲜果数后，将同一株的叶、茎和果实分开，称鲜质量，在 105 °C 烘 30 min 杀青，后 75 °C 烘 72 h，称干质量。样品使用超高速粉碎机粉碎，经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮后，分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰分光光度计法测植株样品中的氮、磷和钾浓度<sup>[10]</sup>。

以氮为例，磷和钾计算方法与氮相同。

叶氮积累量 = 叶氮浓度 × 叶干物质量；

茎氮积累量 = 茎氮浓度 × 茎干物质量；

果实氮积累量 = 果实氮浓度 × 果实干物质量；

氮积累量 = (叶 + 茎 + 果实) 氮积累量；

氮收获指数 = 果实氮积累量 / (叶 + 茎 + 果实) 氮积累量；

收获指数 = 果实干物质量 / (叶 + 茎 + 果实) 干物质量；

氮肥利用率/% = (施氮处理氮积累量 - 无氮处理氮积累量) / 施氮量 × 100。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2010 对数据进行处理，采用 SPSS 20.0 的 Duncan 对数据进行显著性分析，采用 origin 8.0 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 辣椒果实数和鲜果质量

由表 2 可以看出，不同铵硝比对辣椒的果实数和鲜果质量影响因收获时期不同而异。在整个收获时期，H0 期仅 A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 处理与 CK 存在显著差

表2 不同铵硝配比下辣椒的果实数和鲜果质量

指标	处理	采样时期				总量
		H0	H1	H2	H3	
果实数/ 个	CK	1.33±0.67 bc	13.44±0.47 b	5.33±0.33 c	0.00±0.00 d	20.11±0.81 d
	A <sub>0</sub> N <sub>100</sub>	3.67±0.67 ab	18.57±0.97 a	13.67±0.67 a	6.67±0.33 b	40.91±1.38 b
	A <sub>25</sub> N <sub>75</sub>	4.33±0.33 a	19.00±1.73 a	14.33±0.33 a	8.33±0.64 a	46.00±2.31 a
	A <sub>50</sub> N <sub>50</sub>	1.00±0.58 c	18.53±0.46 a	10.33±0.88 b	6.67±0.33 b	38.19±0.78 bc
	A <sub>100</sub> N <sub>0</sub>	2.00±1.15 abc	17.41±0.55 a	10.67±1.20 b	5.67±0.33 b	35.74±0.66 c
鲜果质量/ g	CK		274.90±14.72 c	109.31±10.32 c	0.00±0.00 c	384.30±23.90 c
	A <sub>0</sub> N <sub>100</sub>		382.90±10.23 b	220.42±33.41 b	118.93±4.12 b	722.12±30.03 b
	A <sub>25</sub> N <sub>75</sub>		443.81±15.73 a	339.23±28.13 a	196.83±14.22 a	979.82±42.21 a
	A <sub>50</sub> N <sub>50</sub>		390.82±24.32 b	281.71±15.74 ab	137.42±3.94 b	810.14±24.42 b
	A <sub>100</sub> N <sub>0</sub>		353.73±2.01 b	218.11±24.33 b	136.14±10.72 b	707.83±37.41 b

注:同列同指标数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

异,其他处理与 CK 差异不显著,且仅 A<sub>50</sub>N<sub>50</sub> 处理果实数低于 CK,其他处理果实数均高于 CK;在 H1、H2 和 H3 期及整个收获期各处理果实数均显著高于 CK,整个收获期果实总数比对照提高 77.72%~128.74%。在 H1 期,不同铵硝配比对辣椒果实数影响差异不显著;在 H2 期,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 和 A<sub>0</sub>N<sub>100</sub> 处理之间果实数差异不明显,但均显著高于其他处理;在 H3 期,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 果实数显著高于其他 3 个铵硝配比处理,但其他 3 个铵硝配比处理之间差异不显著。在各收获期,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 处理果实数和鲜果质量均最高。

在整个辣椒采摘期,各处理鲜果质量均显著高于 CK,鲜果总质量比对照提高 84.18%~154.96%。在所有处理中,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 辣椒鲜果总质量显著高于其他处理,各处理辣椒总鲜质量表现为 A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>>A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>>A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>>A<sub>100</sub>N<sub>0</sub>>CK,而 A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>、A<sub>0</sub>N<sub>100</sub> 和 A<sub>100</sub>N<sub>0</sub> 三者之间总鲜质量差异不显著。A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 处理 3 次采摘总鲜质量分别比 A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>、A<sub>50</sub>N<sub>50</sub> 和 A<sub>100</sub>N<sub>0</sub> 分别提高 35.69%、20.95%和 38.43%。

## 2.2 辣椒干物质积累

由图 1 可以看出,不同铵硝配比对辣椒叶、茎和果实干物质积累的影响不同。在 H0 期,即辣椒初果期,辣椒的各部分干物质质量较小,不同处理下叶和茎干物质质量差异不明显,表明设施大棚的土壤肥力水平高,地力贡献大,施用氮肥对辣椒营养生长期促进效果不明显。CK 处理叶和茎干物质质量呈现出随生长时间先上升后下降趋势,在 H2 期达到峰值,在 H3 期下降,此时果实干物质积累则为 0 g,表明在不提供外源氮肥的条件下,设施大棚的土壤氮素不足以满足辣椒经历 2 次果实采摘后的营养和生殖生长需求。

不同铵硝配比处理中,3 次采摘辣椒叶和茎干物质积累差异不大,但 A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 果实干物质质量均明显高于其他 3 个处理。

由表 3 可以看出,3 次采摘期 A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 的干物质收获指数均最高,且在 H3 期,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 与其他 3 个铵硝配比处理相比达到差异显著水平,表明 A<sub>25</sub>N<sub>75</sub> 更

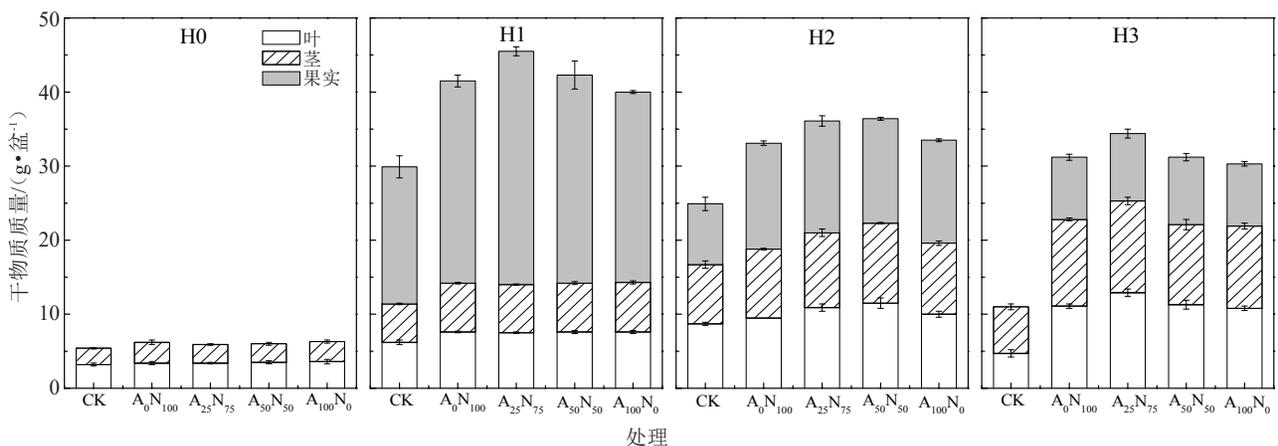


图1 不同铵硝态氮配比下辣椒的干物质质量

表3 不同铵硝配比下辣椒的收获指数

指标	处理	采样时期			指标	处理	采样时期		
		H1	H2	H3			H1	H2	H3
干物质	CK	0.62±0.02 b	0.39±0.01 b	0.00±0.00 c	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CK	0.72±0.03 c	0.52±0.03 c	0.00±0.00 c
	A <sub>0</sub> N <sub>100</sub>	0.73±0.00 a	0.53±0.04 a	0.34±0.01 b		A <sub>0</sub> N <sub>100</sub>	0.81±0.01 ab	0.67±0.01 ab	0.53±0.01 b
	A <sub>25</sub> N <sub>75</sub>	0.76±0.01 a	0.62±0.03 a	0.44±0.02 a		A <sub>25</sub> N <sub>75</sub>	0.82±0.01 a	0.71±0.02 a	0.60±0.02 a
	A <sub>50</sub> N <sub>50</sub>	0.73±0.02 a	0.56±0.01 a	0.38±0.01 b		A <sub>50</sub> N <sub>50</sub>	0.80±0.01 ab	0.66±0.03 ab	0.53±0.02 b
	A <sub>100</sub> N <sub>0</sub>	0.71±0.00 a	0.52±0.04 a	0.38±0.03 b		A <sub>100</sub> N <sub>0</sub>	0.78±0.01 b	0.60±0.01 b	0.54±0.04 ab
N	CK	0.59±0.03 b	0.37±0.03 b	0.00±0.00 c	K <sub>2</sub> O	CK	0.63±0.03 b	0.39±0.01 d	0.00±0.00 d
	A <sub>0</sub> N <sub>100</sub>	0.68±0.01 a	0.51±0.02 a	0.33±0.01 b		A <sub>0</sub> N <sub>100</sub>	0.74±0.00 a	0.52±0.01 bc	0.34±0.01 bc
	A <sub>25</sub> N <sub>75</sub>	0.70±0.01 a	0.56±0.00 a	0.41±0.02 a		A <sub>25</sub> N <sub>75</sub>	0.76±0.01 a	0.61±0.00 a	0.45±0.01 a
	A <sub>50</sub> N <sub>50</sub>	0.70±0.03 a	0.52±0.03 a	0.35±0.01 b		A <sub>50</sub> N <sub>50</sub>	0.73±0.01 a	0.54±0.02 ab	0.39±0.01 ab
	A <sub>100</sub> N <sub>0</sub>	0.67±0.00 a	0.48±0.03 a	0.36±0.01 ab		A <sub>100</sub> N <sub>0</sub>	0.71±0.01 a	0.48±0.02 c	0.37±0.03 c

有利于辣椒叶和茎的物质转运到果实。

### 2.3 辣椒养分积累

由图2可以看出,不同铵硝配比处理总氮和果实氮积累量明显高于CK。由表3可知,采摘期,氮收获指数平均比CK增加了13.00%~54.90%。在采摘期,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>总氮和果实氮积累量最高。其中,果实氮明显高于其他铵硝配比处理,增加范围为5.00%~

64.60%。在H3期与A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>和A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>比较,A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>显著增加了氮素收获指数。

由图3可以看出,在H0期,不同处理辣椒叶和茎磷积累量差异不大,但进入辣椒采摘期后,不同铵硝配比处理叶、茎和果实磷积累量明显高于CK。在采摘期,不同铵硝配比处理叶和茎磷积累量差异不明显,总体表现为A<sub>25</sub>N<sub>75</sub>和A<sub>50</sub>N<sub>50</sub>高于A<sub>0</sub>N<sub>100</sub>

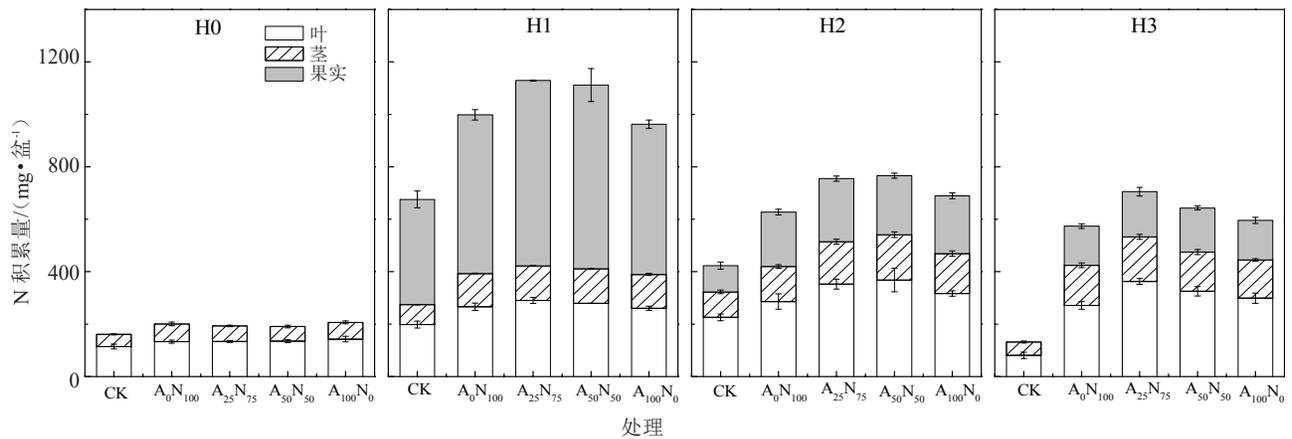


图2 不同铵硝配比下辣椒的氮积累量

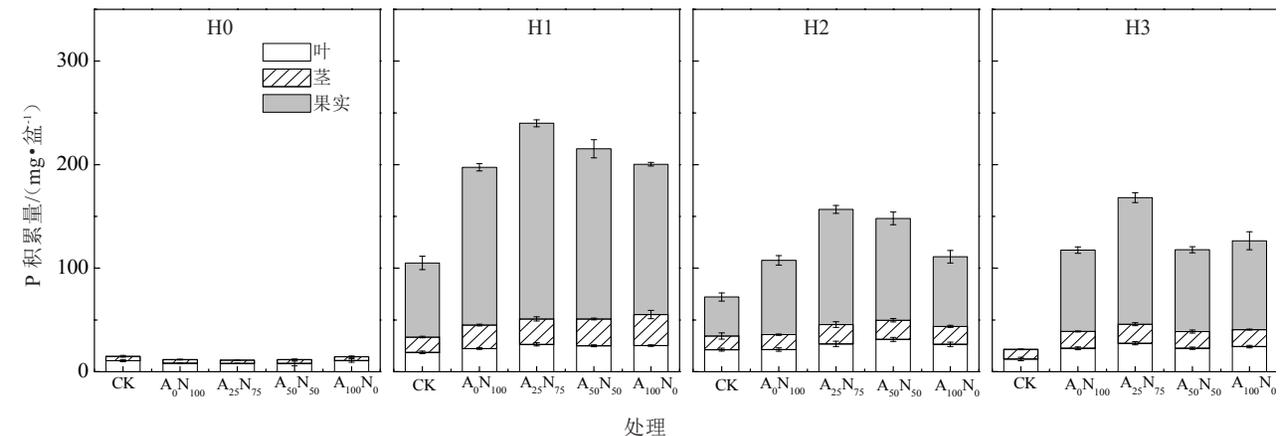


图3 不同铵硝配比下辣椒的磷积累量

和  $A_{100}N_0$ , 且  $A_{25}N_{75}$  叶磷积累量高于其他处理。由表 3 可知, 不同铵硝配比处理磷收获指数均显著高于 CK, 采摘期磷收获指数平均表现为  $A_{25}N_{75} > A_{50}N_{50} > A_0N_{100} > A_{100}N_0$ 。

由图 4 可以看出, 与辣椒磷积累量相似, 在 H0

期, 不同处理叶和茎钾积累量差异不明显, 采摘期不同铵硝配比处理叶、茎和果实钾积累量均高于 CK,  $A_{25}N_{75}$  果实钾积累量和钾高于其他处理。由表 3 可知,  $A_{25}N_{75}$  果实钾收获指数明显高于  $A_0N_{100}$  和  $A_{100}N_0$ 。

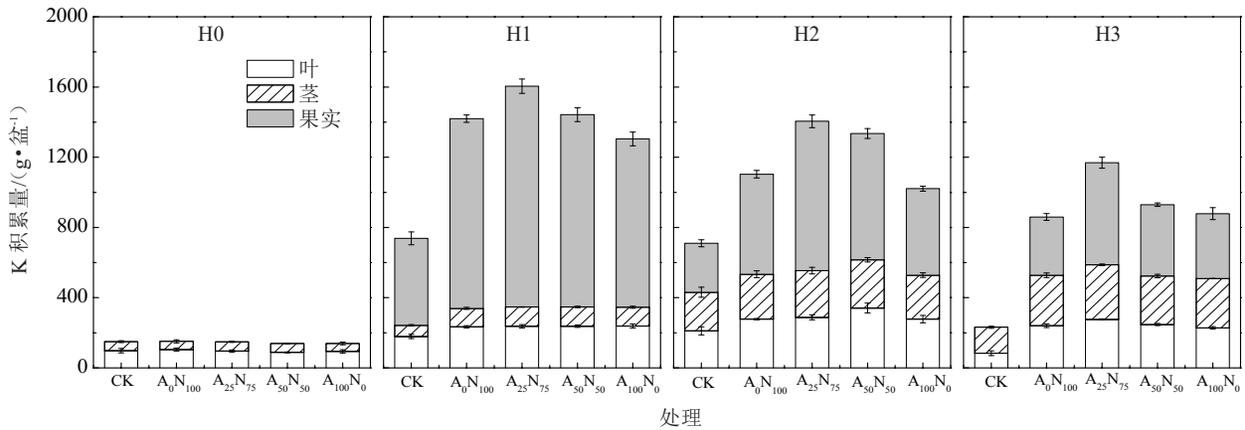


图 4 不同铵硝配比下辣椒的钾积累量

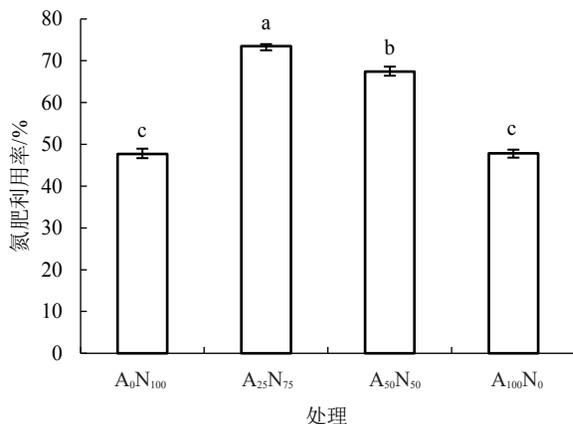
由表 4 可知, 相对于氮积累量, 辣椒磷、钾积累比例随辣椒成熟进程先增加后降低再增加趋势。按照生育期可大致分为 H0 与 H1、H2、H3 两个阶段, 表明辣椒在成熟采收过程中, 尽管氮肥需求量增加, 而磷、钾肥需求量增加更多。

表 4 不同铵硝配比下辣椒的氮、磷、钾比例

处理	采样时期			
	H0	H1	H2	H3
CK	1:0.09:0.93	1:0.28:1.24	1:0.14:1.38	1:0.16:1.76
$A_0N_{100}$	1:0.06:0.75	1:0.25:1.14	1:0.13:1.29	1:0.18:1.35
$A_{25}N_{75}$	1:0.06:0.77	1:0.25:1.13	1:0.13:1.19	1:0.19:1.29
$A_{50}N_{50}$	1:0.06:0.73	1:0.23:1.09	1:0.13:1.19	1:0.16:1.28
$A_{100}N_0$	1:0.07:0.67	1:0.26:1.11	1:0.12:1.13	1:0.18:1.27

### 2.4 氮肥利用率

由图 5 可知,  $A_{25}N_{75}$  辣椒氮肥利用率达到了



注: 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

图 5 不同铵硝配比下辣椒的氮肥利用率

73.50%, 且显著高于其他铵硝配比处理, 分别比  $A_0N_{100}$ 、 $A_{50}N_{50}$  和  $A_{100}N_0$  增加 54.09%、9.0% 和 53.77%。 $A_0N_{100}$  和  $A_{100}N_0$  氮肥利用率分别为 47.70% 和 47.80%, 二者之间差异不显著。这表明单施铵态氮肥或硝态氮肥均不利于辣椒氮肥利用率提高, 铵硝配比则有利于氮肥利用率的提高, 但提高的幅度与配比的比例有关。

### 3 讨论与结论

本试验表明, 施氮肥增加了辣椒的鲜果质量, 究其原因是施氮肥提高了单株果数, 且铵硝比为 25:75 的增产效果最好, 与 Zhang 等<sup>[9]</sup>研究结果一致。铵硝比为 25:75 处理在第 3 次采摘期, 叶干物质和干物质收获指数均高于其他处理。可能是因为单一形态氮源不利于蔬菜产量的形成甚至可能造成毒害<sup>[11]</sup>, 而辣椒生长后期大量铵态氮会拮抗钾钙镁等阳离子的吸收<sup>[12]</sup>, 但适量的铵态氮的添加能够诱导叶片氮代谢中的谷氨酰胺合成酶、谷氨酸合成酶、谷氨酸脱氢酶的表达并提高酶活性<sup>[9]</sup>, 增加了辣椒物质的代谢与运转。

氮素供应形态影响作物氮肥利用率。本研究结果表明, 铵硝比为 25:75 处理氮肥利用率最高。管西林等<sup>[8]</sup>研究认为菜园土壤中的硝态氮占氮肥的 25%~50% 时辣椒产量最高, 土壤淋洗液氮素最少, 氮肥利用率最高, 与本研究结果不尽一致。这可能与不同品种辣椒自身对不同形态氮素形态吸收的偏好有关。同时, 本试验设施大棚和菜地的土壤

pH 相近,但本试验设施大棚土壤有机质含量比菜地增加了 86.60%,土壤氮素含量亦比菜地土壤显著增加,这可能会使土壤中微生物和脲酶活性、氨氧化酶活性、亚硝酸盐氧化活性和异化硝酸还原酶活性不同,影响土壤硝态氮和铵态氮的转化和供应<sup>[13]</sup>。

不同生育期辣椒氮、磷、钾积累量有所差异,以氮肥利用率最高的  $A_{25}N_{75}$  为例,从苗期到初果期,氮:磷:钾为 1:0.06:0.77,采摘期平均为 1:0.19:1.20。磷肥需求量增加,钾肥需求量增加更加明显,增施磷、钾肥可以明显提高辣椒磷、钾含量和产量<sup>[14]</sup>,这可作为供试土壤下辣椒平衡施肥的参数和研制辣椒专用配方肥的依据。在辣椒生产中,单一配方难以实现养分供应匹配辣椒养分需求,以套餐肥的形式将辣椒施肥配方设计为基肥和追肥两个配方则能更好地满足辣椒养分需求。这是进一步提高设施大棚辣椒产量、提升肥料利用率的关键。

综上所述,铵硝配比显著增加了采收期辣椒的鲜果质量和果实数,铵硝比为 25:75 处理辣椒的鲜果质量和氮肥利用率显著高于其他处理,且与单施硝态氮或铵态氮处理相比,增加了辣椒氮、磷、钾积累量及前两次采摘时氮积累比例。

#### 参考文献

- [1] 邹学校,马艳青,戴熊泽,等.辣椒在中国的传播与产业发展[J].园艺学报,2020,47(9):1715-1726.
- [2] 黄梓翀,刘善江,孙昊,等.我国蔬菜肥料利用率现状与提高对策[J].蔬菜,2021(7):43-50.
- [3] LU W W, ZHANG H L, MIN J, et al. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium in a soil under greenhouse vegetable cultivation as affected by organic amendments[J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(5): 1169-1177.
- [4] KALCSITS L A, Guy R D. Variation in fluxes estimated from nitrogen isotope discrimination corresponds with independent measures of nitrogen flux in *Populus balsamifera* L.[J]. Plant, Cell & Environment, 2016, 39(2): 310-319.
- [5] 曹超群.<sup>15</sup>N 示踪法研究不同灌水下限下辣椒器官氮素分配特性与基质氮素运移规律[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
- [6] HU L L, YU J H, LIAO W B, et al. Moderate ammonium:nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 186: 143-153.
- [7] LIU G Y, DU Q J, LI J M. Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 214: 41-50.
- [8] 管西林,王孝忠,刘彬,等.三类土壤不同硝硝比供应下的辣椒产量、品质和氮素损失[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3): 730-739.
- [9] ZHAGN J, LÜ J, XIE J M, et al. Nitrogen source affects the composition of metabolites in pepper (*Capsicum annuum* L.) and regulates the synthesis of capsaicinoids through the GO-GAT-GS Pathway[J]. Foods, 2020, 9(2): 150.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [11] ROOSTA H R, SCHJOERRING J K. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants[J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(11): 1933-1951.
- [12] 徐坤,赵青春.甜椒对不同形态氮素的吸收和分配[J].核农学报,1999,13(6):339-342.
- [13] JARVIS S C, STOCKDALE E A, SHEPHERD M A, et al. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement[J]. Advances in Agronomy, 1996, 57(8): 187-235.
- [14] 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.