

氮肥供应对辣椒营养品质的影响及评价

吴 玥^{1,2}, 寇智瑞¹, 陈新平^{1,2}, 张育文^{1,2}, 张 伟^{1,2}

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 农业科学研究院, 重庆 400715

摘要: 采用盆栽试验, 研究氮肥供应对辣椒维生素 C、矿质元素质量分数的影响及营养评价. 试验设置 4 个氮肥水平(0, 60, 120, 240 mg/kg), 结果表明, 施氮处理对辣椒叶片和果实的维生素 C 质量分数具有显著影响, 随着施氮量的增加呈先增后降的趋势, 其中施氮 60 mg/kg 处理的维生素 C 质量分数最高, 显著高于其他处理, 且维生素 C 质量分数与 GaI LDH 活性之间存在极显著的正相关关系. 辣椒果实中不同矿质元素受氮肥的影响不一致; 适量施用氮肥显著增加了果实的锌质量分数, 其中施氮 120 mg/kg 处理的锌质量分数最高, 氮肥施用对果实的铁、锰质量分数无明显影响, 但过量施用氮肥(240 mg/kg)显著降低了果实的磷、钾、钙、镁、铜质量分数. 通过营养评价发现, 施用氮肥降低了果实磷、钾、钙和镁元素的营养质量指数(INQ)和风险指数, 提高了锌元素和维生素 C 的 INQ 值和风险指数. 辣椒果实中 9 种营养素(磷、钾、钙、镁、锌、铁、铜、锰、维生素 C)的 INQ 值远远大于 1, 且风险指数低于 100%. 综上所述, 合理施用氮肥有助于提高辣椒果实的维生素 C 质量分数, 并协调果实的其他矿质营养, 为消费者提供安全的辣椒产品.

关键词: 辣椒; 氮肥; 维生素 C; 矿质元素; 营养评价

中图分类号: S143.1; S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)01-0087-08

辣椒(*Capsicum frutescent* L.)属茄科辣椒属作物, 目前我国广泛种植, 其栽培面积已达 1 000 万 hm^2 以上, 仅次于白菜^[1]. 研究发现, 辣椒果实的维生素 C 质量分数居蔬菜之首^[2-4], 同时富含丰富的矿质营养元素如钙、镁、铁、锌等^[5]. 维生素 C 和矿质元素是人体正常生命活动所必需的营养物质. 其中维生素 C 作为一种抗氧化剂, 可以有效地维持人体血浆维生素 C 质量分数, 并降低心血管疾病和癌症的患病率^[6-8]; 另外, 适量摄入矿物质也可预防多种疾病的发生^[9]. 由于人类自身缺乏合成维生素 C 及矿物质的能力^[10], 因此, 提高辣椒等果实中的维生素 C 及矿质元素质量分数对补充人体营养具有重要意义.

氮是作物生长发育所必需的大量元素之一, 与作物产量和品质形成密不可分^[11-12]. 但在蔬菜生产中, 氮肥的不合理施用现象十分严重^[13], 对蔬菜品质造成潜在威胁. 苏苑君等^[14]的研究发现, 低氮条件下生菜对钾、钙、镁的吸收增加, 而高氮供应促进了生菜对氮、磷的吸收. 汤丽玲等^[15]发现适量施用氮肥能提高蔬菜的维生素 C 质量分数, 但过量施用通常会降低维生素 C 质量分数. 已有的研究表明, 高等植物体内主要存在 3 条维生素 C 合成途径, 即 L-半乳糖途径、肌醇途径和糖醛酸途径^[16-17], 其中 L-半乳糖内酯脱氢酶(GaI LDH)是维生素 C 生物合成的关键酶, 主要通过催化 L-半乳糖-1, 4-内酯形成维生素 C^[18-19]. 因此, 探究辣椒体内 GaI LDH 活性与维生素 C 积累水平之间的关系具有十分重要的意义.

氮肥施用显著影响辣椒果实的维生素 C 质量分数, 例如王沛^[20]和曾化伟等^[21]的研究表明施氮能够显著增加辣椒果实维生素 C 的质量分数, 施氮量过多时维生素 C 质量分数反而下降. 但过去的研究主要关注果实中的维生素 C, 针对其他组织(茎、叶片)中维生素 C 的动态变化仍需要进一步研究. 同时, 氮肥施用

收稿日期: 2019-10-14

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2019C062); 中国博士后科学基金会资助项目(2018M643394); 国家自然科学基金项目(31902117).

作者简介: 吴 玥, 硕士研究生, 主要从事植物营养学的研究.

通信作者: 张 伟, 博士, 副教授.

对果实矿质元素质量分数的影响也有一些报道,何志学^[22]的研究发现施氮有利于磷、钾在辣椒果实中的积累。但是,目前针对辣椒不同矿质元素的综合营养评价仍不清楚。为此,本试验探究氮肥供应对辣椒生长、不同组织维生素 C 质量分数、GaI LDH 活性及果实矿质元素(磷、钾、钙、镁、锌、铁、铜、锰)质量分数的影响,并对辣椒果实进行综合营养评价,以期为辣椒生产中合理施肥提供科学依据,为提高辣椒品质、保障膳食营养提供指导。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2018 年 4—7 月在西南大学资源环境学院日光温室内进行。供试辣椒品种为“线椒王”。供试土壤为西南地区代表性紫色土,取自西南大学“紫色土肥力与肥料效益监测基地”。其土壤基本理化性质:pH 值为 8.50,有机质质量分数为 21.2 g/kg,碱解氮为 52 mg/kg,速效磷为 13.3 mg/kg,速效钾为 156 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设计 4 个供氮水平,分别为 0(N0), 60(N1), 120(N2), 240(N3)mg/kg。磷肥和钾肥用量分别为 P_2O_5 824 mg/kg 和 K_2O 120 mg/kg。试验所用氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 16%),钾肥为硫酸钾(含 K_2O 50%)。氮、磷、钾肥施用均为一次性基施,每个处理重复 4 次,试验采用完全随机排列。

试验所用塑料盆口径为 22 cm、高 18 cm。定植前,按不同处理将肥料溶解于去离子水,将溶液均匀地喷到土壤中,放置待其干燥后把结块捏碎,充分混匀后一次性装入塑料盆内,每盆装风干土 4 kg。选择 8 叶 1 心期的辣椒幼苗进行移栽,每盆植入 1 株。植株样品于盛果期收获,分为根、茎、叶和果实 4 个部分,同时将盆内土壤充分混匀后取一定量土壤样品,装入自封袋保存待测。取根时,先用小土铲在根系附近松土,再将整个根系取出,以减少根的损失。取出后用清水冲洗干净,并借助土筛,收集全部根系。植株样品一部分按根、茎、叶、果分别放入烘箱内,于 65 °C 下烘干,粉碎混合均匀后用于植株养分的测定;一部分茎、叶、果实鲜样用于维生素 C 质量分数的测定;另一部分用液氮处理后,立即放入 -80 °C 的超低温冰箱中,用于酶活性的测定。土壤样品风干并过筛,用于土壤养分的测定。

1.3 测定指标与方法

土壤碱解氮质量分数的测定:土壤碱解氮质量分数的测定采用扩散法,方法参考《土壤农化分析》^[23]。维生素 C 质量分数的测定:维生素 C 质量分数的测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[24]。维生素 C 积累量的计算:维生素 C 积累量为维生素 C 质量分数与干物质量的乘积。L-半乳糖内酯脱氢酶(GaI LDH)活性的测定:GaI LDH 活性的测定参考 Tabata 等^[25]和安华明等^[26]的方法。酶活力单位定义为:25 °C 中每克样品每分钟还原 1 nmol 细胞色素 c(Cyt c)为 1 个单位 GaI LDH 活性。还原型 Cyt c 摩尔消光系数为 $17.3 \text{ L}/(\text{mmol} \cdot \text{cm})^{-1}$,反应时间为 1.5 min,用于酶活性计算。因本试验中辣椒茎的 GaI LDH 活性极低(范围为 $0.08 \sim 0.15 \text{ nmol}/(\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$),故未在结果中展示该部分数据。

养分质量分数的测定:植物样品采用 $HNO_3-H_2O_2$ 消煮,果实磷、钾、钙、镁、铁、锌、铜、锰质量分数用电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 Thermo 6300 series)测定。

成分营养质量及风险指数的计算:用公式(1)计算辣椒果实各营养元素营养质量指数(index of nutrition quality, INQ)。用公式(2)计算辣椒果实各营养元素质量分数与可耐受最高摄入量(upper levels, UL)的比值,即 %UL。

$$INQ = (100 \text{ g 辣椒果实某营养素质量分数} / NRV) / (100 \text{ g 辣椒果实热量} / \text{推荐摄入热量}) \quad (1)$$

式中:NRV(营养素参考值)和推荐摄入量参考《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》(GB 28050-2011)。

$$\%UL = C \times IR / UL \times 100\% \quad (2)$$

式中:%UL 代表风险指数,单位%;C 代表辣椒果实营养素质量分数,单位 mg/kg;IR 代表辣椒日均消费量,单位 kg/d;UL 代表可耐受最高摄入量,单位 mg/d。其中,IR 参考马恋等^[27]的研究;UL 参考 2013

版《中国居民膳食营养素参考摄入量》。因中国尚未制定钾、镁相应的可耐受最高摄入量(UL)^[28], 所以本文仅对磷、钙、锌、铁、铜、锰和维生素 C 等 7 种营养素进行风险评估。不同年龄人群的营养素 UL 值不同, 其中 0~5 岁年龄段人群的 UL 值较小, 本文根据不同人群的 UL 值, 运用公式(2)计算辣椒果实中 7 种营养素的平均风险和最大风险。

1.4 数据分析

文中图表绘制采用 Excel(2016 版)软件, 统计分析用 SPSS 13.0 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥水平对土壤碱解氮和辣椒生长的影响

试验结果看出, 土壤碱解氮质量分数随施氮量增加而显著递增, 与不施氮处理相比, N1, N2 和 N3 碱解氮质量分数分别增加 10.6%, 46.2%, 67.4%; N1, N2 和 N3 处理的地上部鲜质量分别增加 145.5%, 194.2%, 90.9%, 根鲜质量分别增加 90.7%, 93.6%, 33.8%; 地上部干质量分别增加 217.7%, 227.4%, 194.9%, 根干质量分别增加 85.0%, 90.0%, 40.0%。氮肥施用显著降低了辣椒根冠比值(表 1)。

表 1 不同氮肥水平对土壤碱解氮及辣椒地上部、根系生物量的影响

处理	土壤碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	地上部鲜质量/ g	地上部干质量/ g	根鲜质量/ g	根干质量/ g	根冠比
N0	49.01±2.15c	18.12±0.74b	2.77±0.31b	2.04±0.10b	0.20±0.02b	0.07±0.00a
N1	54.22±3.50c	44.49±2.65a	8.80±0.40a	3.89±0.32a	0.37±0.06a	0.04±0.01b
N2	71.66±2.99b	53.30±1.89a	9.07±0.88a	3.95±0.47a	0.38±0.06a	0.04±0.01b
N3	82.06±2.54a	34.60±5.06ab	8.17±0.87a	2.73±0.26a	0.28±0.06ab	0.03±0.01b

注: N0, N1, N2, N3 分别代表 4 个供氮水平处理, 分别为 0, 60, 120, 240 mg/kg。鲜质量和干质量均以单株计。不同小写字母表示差异在 0.05 水平上具有统计学意义。表 2、表 3 同。

2.2 不同氮肥水平对辣椒各组织中维生素 C 及 Gal LDH 活性的影响

试验结果看出, 辣椒不同组织的维生素 C 质量分数和积累量差异较大, 从多到少依次为果实、叶片、茎。其中辣椒果实维生素 C 质量分数是叶片的 3.95~6.99 倍, 是茎的 13.97~15.58 倍; 辣椒果实维生素 C 积累量是叶片的 3.89~11.07 倍, 是茎的 13.21~25.54 倍。辣椒茎、叶片和果实的维生素 C 质量分数和积累量均随施氮量的增加呈先增后降的趋势, 在 60 mg/kg(N1)施氮水平下达到最大。其中茎和果实的维生素 C 质量分数在 N1 与 N0, N2, N3 处理间的差异具有统计学意义; 茎的维生素 C 积累量在 N0 与 N1 处理间的差异具有统计学意义, 但与其他处理间的差异不具有统计学意义; 叶片的维生素 C 质量分数和积累量在 N1 与 N0, N2 处理间的差异具有统计学意义; 果实的维生素 C 积累量在 N1 与 N0, N2, N3 处理间的差异具有统计学意义, 但 N0 和 N3 处理无明显差异。与不施氮处理相比, 施用氮肥提高了辣椒叶片和果实中 Gal LDH 活性, N1, N2, N3 处理叶片的 Gal LDH 活性分别是 N0 处理的 5.98, 2.64, 3.24 倍; N1, N2, N3 处理果实的 Gal LDH 活性分别是 N0 处理的 1.91, 1.07, 1.32 倍, 其中叶片的 Gal LDH 活性在 N1 与 N0, N2, N3 处理间的差异具有统计学意义; 果实的 Gal LDH 活性在 N1 与 N0, N2 处理间的差异不具有统计学意义(表 2)。

表 2 不同氮肥水平对辣椒各部位维生素 C 及 Gal LDH 活性的影响

处理	维生素 C/ (mg · kg ⁻¹)			单株维生素 C 积累量/ mg			Gal LDH 活性/ (nmol · min ⁻¹ · g ⁻¹)	
	茎	叶	果	茎	叶	果	叶	果
N0	2.80±0.16b	57.0±4.8b	39.82±0.64b	0.13±0.01b	0.30±0.03b	3.32±0.39c	3.26±0.53c	26.23±0.14b
N1	5.57±1.25a	196.9±48.6a	77.79±6.96a	0.64±0.13a	2.25±0.48a	15.36±0.91a	19.49±1.55a	50.15±4.75a
N2	2.64±0.74b	78.3±21.2b	41.14±6.73b	0.42±0.12ab	1.00±0.33b	9.96±2.13b	8.62±2.51bc	28.17±4.39b
N3	3.36±1.14b	126.9±43.4ab	51.36±7.49b	0.38±0.13ab	1.29±0.42ab	5.02±1.45c	10.55±3.07b	34.73±8.60ab

同时发现,无论是在辣椒叶片还是果实中,不同处理间 L-半乳糖内酯脱氢酶(Gal LDH)活性与维生素 C 质量分数的变化趋势都是一致的($N_0 > N_1 > N_2 > N_3$).在辣椒叶片(图 1a)和果实(图 1b)中 Gal LDH 活性与维生素 C 质量分数均存在显著正相关关系($p < 0.05$), R^2 值分别为 0.877 2 和 0.874 3.

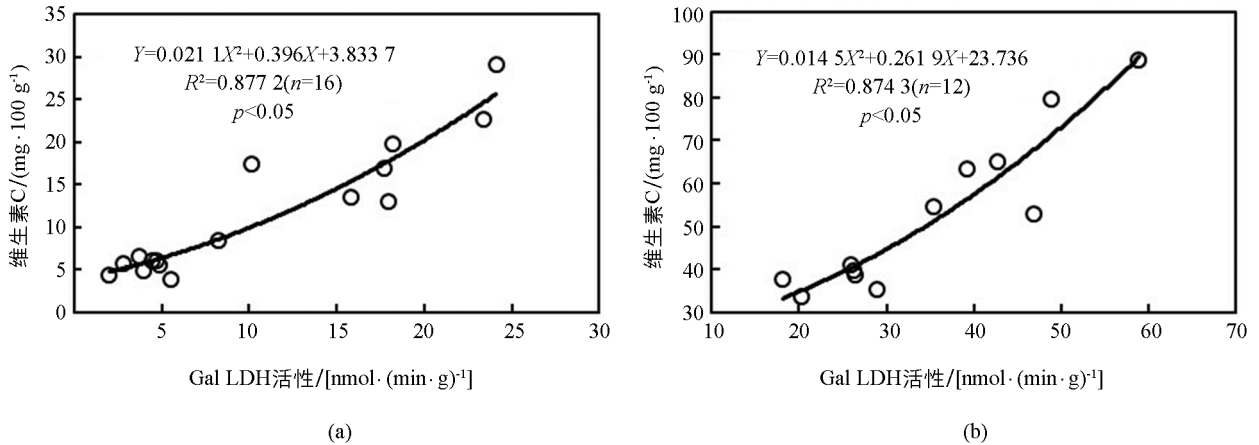


图 1 辣椒叶片(a)和果实(b)中 Gal LDH 活性与维生素 C 质量分数间的关系

2.3 不同氮肥水平对辣椒果实矿质元素的影响

试验结果看出,辣椒果实中钾元素的质量分数最高,随着施氮量的增加大致表现为下降的趋势,与不施氮处理相比,辣椒果实中钾质量分数分别降低 19.5%,12.5%,18.6%;氮肥用量为 60,120 mg/kg 时,辣椒果实中磷和铜质量分数无明显差异;氮肥用量为 240 mg/kg 时,辣椒果实中磷和铜质量分数分别降低 27.9%,29.1%,差异具有统计学意义.辣椒果实中钙和镁质量分数随施氮量的增加呈现下降的趋势.其中辣椒果实中铁和锰质量分数在各处理间的差异不具有统计学意义.而辣椒果实中锌质量分数随着氮肥用量的增加呈先增后降的趋势,在氮肥用量为 120 mg/kg 时达到最大值(23.19 mg/kg),为不施氮处理的 1.32 倍,差异具有统计学意义(表 3).

表 3 不同氮肥水平对辣椒果实矿质元素质量分数的影响

处理	磷/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	钾/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	钙/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	镁/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	锌/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	铁/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	铜/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	锰/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
N0	4.94±0.15a	31.09±0.97a	2.02±0.32a	2.40±0.09a	17.54±1.14b	126.72±17.07a	7.74±0.70a	15.43±0.72a
N1	4.64±0.06a	25.02±0.64b	1.44±0.10ab	2.14±0.04bc	21.97±2.05ab	136.14±20.11a	7.55±0.52a	16.47±1.30a
N2	4.46±0.24a	27.20±1.21b	1.56±0.17ab	2.35±0.06ab	23.19±1.02a	103.76±26.98a	7.82±0.26a	18.29±0.55a
N3	3.56±0.32b	25.30±1.02b	1.39±0.15b	2.11±0.09c	21.47±1.34ab	131.36±11.69a	5.49±0.61b	16.45±1.01a

试验结果看出,土壤碱解氮质量分数与辣椒果实中钙质量分数存在统计学意义上的负相关关系($p < 0.001$);土壤碱解氮质量分数与辣椒果实中钾、镁、锌质量分数之间的关系式分别为: $Y = -0.003X^2 + 0.337X + 18.963$, $Y = -0.0002X^2 + 0.026X + 1.5093$ 和 $Y = -0.0052X^2 + 0.8076X - 8.9893$.当土壤碱解氮质量分数为 56 mg/kg 时,辣椒果实中钾质量分数最高;土壤碱解氮质量分数为 65 mg/kg 时,辣椒果实中镁质量分数最高;土壤碱解氮质量分数为 78 mg/kg 时,辣椒果实中锌质量分数最高(图 2).

2.4 不同氮肥水平下辣椒的营养评价

运用公式(1)对辣椒果实中 9 种营养素的 INQ 值进行计算,根据试验结果可以发现,辣椒果实各营养素的 INQ 值从大到小依次为钾、铁、镁、磷、锰、维生素 C、铜、钙、锌.其中钾元素 INQ 值最高,范围为 63.29~78.65;锌元素 INQ 值最低,范围为 5.92~7.82.随着氮肥用量的增加,磷、钾、钙、镁和铜元素的 INQ 值大致呈下降的趋势;锌元素和维生素 C 的 INQ 值呈先增后降的趋势,其中锌元素的 INQ 值在 N2 处理达到最大,维生素 C 的 INQ 值在 N1 处理达到最大.辣椒果实中 9 种营养素的 INQ 值均大于 1,表明辣椒提供营养素的能力大于提供热量的能力,食用辣椒在达到人体热量需求时,营养素也满足人体需

求, 并有所盈余(表 4)。

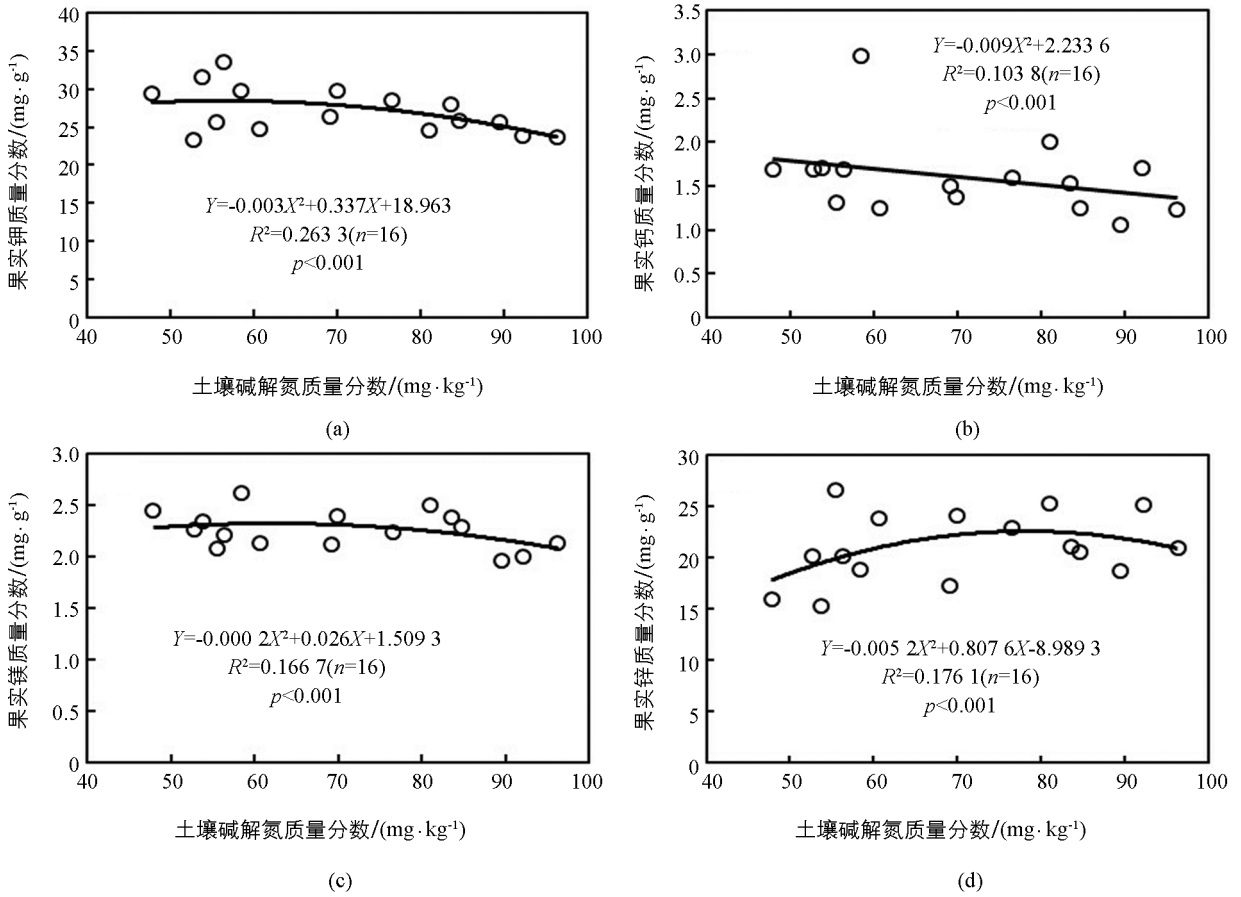


图 2 施用不同氮肥水平后土壤碱解氮质量分数与辣椒果实钾(a)、钙(b)、镁(c)、锌(d)质量分数之间的关系

表 4 不同氮肥水平下辣椒果实中 9 种营养素的 INQ 值

处理	磷	钾	钙	镁	锌	铁	铜	锰	维生素 C
N0	35.70	78.65	12.75	40.46	5.92	42.75	26.12	26.02	20.15
N1	33.53	63.29	9.10	36.18	7.41	45.93	25.47	27.78	39.36
N2	32.21	68.82	9.85	39.72	7.82	35.00	26.39	30.85	20.82
N3	25.73	64.01	8.76	35.62	7.24	44.32	18.51	27.74	25.99

2.5 不同氮肥水平下辣椒果实中营养素的风险评估

辣椒果实中 7 种营养素的危险指数均远小于 100%，表明人体从辣椒中摄入磷、钙、锌、铁、铜、锰和维生素 C 的量是安全的，在可以接受的范围内。值得重点关注的是铁元素，其在不同氮肥处理下的平均危险指数和最大危险指数均大于其他营养素。氮肥用量为 240 mg/kg 时，磷、钙、铜元素的危险指数最小；氮肥用量为 120 mg/kg 时，铁元素的危险指数最小；不施氮肥时，锌、锰和维生素 C 的危险指数最小(表 5)。

表 5 不同氮肥水平下辣椒果实中 7 种营养素的危险指数

处理	磷		钙		锌		铁		铜		锰		维生素 C	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
N0	5.62	6.09	4.97	7.46	2.74	8.11	15.00	23.44	5.73	14.33	7.61	16.31	1.23	3.68
N1	5.28	5.72	3.55	5.32	3.43	10.16	16.12	25.19	5.59	13.97	8.12	17.41	2.40	7.20
N2	5.07	5.49	3.84	5.76	3.63	10.73	12.28	19.19	5.79	14.47	9.02	19.33	1.27	3.81
N3	4.05	4.39	3.42	5.13	3.36	9.93	15.55	24.30	4.06	10.15	8.11	17.39	1.58	4.75

3 讨 论

本试验结果表明,辣椒生物量受氮肥施用量的影响显著,当氮肥施用量从 0 mg/kg 增加至 120 mg/kg 时,辣椒地上部和根系的生物量均随施氮水平的增加而显著增加,但当氮肥用量为 240 mg/kg 时,辣椒地上部和根系的生物量出现下降趋势.这与何志学等^[29]在氮素对辣椒生长生理影响的研究结果一致.说明适量施用氮肥能促进辣椒植株的生理代谢,促进辣椒各器官生长.但过量施用氮肥,会造成根系环境盐胁迫,根系活力降低^[30],植株根冠比下降,抑制其根系及地上部生长.

在一定施氮范围内,辣椒维生素 C 质量分数随施氮量的增加而增加,当超过一定量时,施氮降低了辣椒维生素 C 的质量分数.这与曾化伟等^[21]在施氮量对辣椒品质影响的研究结果一致,施氮能够显著增加辣椒果实维生素 C 质量分数,但施氮量过多时维生素 C 质量分数反而下降.但也有不同的报道,徐晓燕等^[31]在对青椒的研究中发现,氮肥对青椒维生素 C 质量分数的影响不明显;孙彭寿等^[32]研究发现,芹菜在高氮水平下维生素 C 质量分数随着氮水平的增加而增加.本试验结果与其有一定差异,原因可能是试验所用土壤基础肥力和施氮水平不同,且不同蔬菜对氮肥的需求量也不同.有些试验的施氮量在最佳施用量以下,有些则在最佳施用量以上,而维生素 C 质量分数可能在最佳施氮量范围以内随施氮量的增加而增加,超过最佳施氮量后便随施氮量的增加而降低^[15].除此之外,本试验发现, Gal LDH 在辣椒果实和叶片中均表现出较高的活性,且相关分析表明, Gal LDH 活性与维生素 C 质量分数之间存在统计学意义上的正相关关系($p < 0.001$).伍翔等^[33]在辣椒不同生育期的研究中也得到同样结果.张书轩等^[34]发现 Gal LDH 在刺梨的不同部位中差异性表达,在果实中的表达水平高,在叶内较低,在茎和根内也有微弱的表达,这种差异与维生素 C 质量分数一致,这些充分证明 Gal LDH 能显著调节辣椒体内维生素 C 的合成.总体而言,辣椒能积累较高水平的维生素 C 受到许多内在和外在的影响因素调节,与品种差异、遗传基因表达、环境条件、以及维生素 C 在辣椒体内的合成和运输机制等各个方面都密切相关,是一个复杂的生理过程.目前国内外关于辣椒维生素 C 积累方面的相关研究较少,维生素 C 在植株体内的合成与分配机制还需进一步深入探究.

氮肥对辣椒果实中不同矿质元素的影响不一致,施用氮肥显著增加了果实中锌质量分数,当氮肥用量为 120 mg/kg 时果实中锌质量分数最高,相较不施氮处理增加了 32.2%;过量施用氮肥(240 mg/kg)显著降低了果实中磷、钾、钙、镁、铜质量分数,但施氮量对果实中铁、锰质量分数无明显影响.目前关于蔬菜中氮和锌关系的研究较少,但在小麦上的研究已经很全面,赵德勇^[35]发现,增施氮肥显著提高了小麦籽粒锌质量分数,与本文结果一致,说明氮和锌在植株体内存在协同作用.苏苑君等^[14]在氮对生菜品质影响的研究中发现,随着氮素水平的降低,生菜对钾的吸收量显著提高.李彩虹等^[36]发现植株缺氮时,钙、镁元素在草莓叶片中的积累量增加,即低氮环境能促进钙、镁元素向地上部的转运.但汤明尧等^[37]在番茄上的研究发现,增施氮肥能显著促进番茄对氮、磷、钾的吸收,本试验结果与其有一定差异,可能因为蔬菜品质不同导致,另外氮肥的施用量不同也可能会造成不同元素吸收顺序有差别^[14].

通过 INQ 法对辣椒中维生素 C 及矿质元素(磷、钾、钙、镁、锌、铁、铜、锰)进行营养评价,发现 9 种营养素的 INQ 值均远远大于 1,说明食用辣椒在达到人体热量需求时,均能满足人体营养需求,并有所盈余;通过对其进行风险评估,发现来自辣椒的维生素 C 和矿质元素摄入风险均低于 100%,表明人体从辣椒中摄入维生素 C 及矿质元素的量是安全的.因此,辣椒可作为人体获取营养素丰富的、安全的来源,这为居民膳食选择提供一定程度的指导性意见.

4 结 论

施用氮肥显著增加了辣椒地上部及根系的生物量,N2 处理(120 mg/kg)的辣椒地上部及根系生物量最高;施用氮肥促进了维生素 C 在辣椒茎、叶片和果实中积累,其中以 N1 处理(60 mg/kg)的维生素 C 质量分数增加最为明显,且维生素 C 在辣椒体内的积累显著受到 Gal LDH 活性的调节;施用氮肥提高了辣椒果实中锌质量分数,N2 处理的果实中锌质量分数最高,降低了果实磷、钾、钙、镁、铜质量分数,对果实铁、锰质量分数无明显影响;辣椒中维生素 C 及矿质元素(磷、钾、钙、镁、锌、铁、铜、锰)的 INQ 值远远大于 1,且风险指数低于 100%.综上所述,在该栽培条件下,N2 处理(120 mg/kg)为辣椒适宜的施氮量.

参考文献:

- [1] 石 娜, 胡春华. 现阶段我国辣椒栽培现状和育种趋势 [J]. 安徽农学通报, 2017, 23(22): 61-62, 115.
- [2] JIA X F, WANG Z H, ZHANG B, et al. Food Sources and Potential Determinants of Dietary Vitamin C Intake in Chinese Adults: a Cross-Sectional Study [J]. *Nutrients*, 2018, 10(3): 320.
- [3] NAIDU K A. Vitamin C in Human Health and Disease is still a Mystery? an Overview [J]. *Nutrition Journal*, 2003, 2(1): 1-10.
- [4] TATA S, KUMAR A. Ascorbic Acid Heterosis in Chili Peppers (*Capsicum L.*) [J]. *Journal of Phytology*, 2009, 1(2): 50-52.
- [5] 郭 杰, 任 瑾, 张 继. 原子吸收光谱法测定辣椒中的矿质元素 [J]. 北京联合大学学报, 2018, 32(4): 88-92.
- [6] LEVINE M, WANG Y, PADAYATTY S J, et al. A New Recommended Dietary Allowance of Vitamin C for Healthy Young Women [J]. *PNAS*, 2001, 98(17): 9842-9846.
- [7] CARR A C, FREI B. Toward a New Recommended Dietary Allowance for Vitamin C Based on Antioxidant and Health Effects in Humans [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1999, 69(6): 1086-1107.
- [8] LEVINE M, RUMSEY S C, DARUWALA R, et al. Criteria and Recommendations for Vitamin C Intake [J]. *Nutrition Reviews*, 1999, 57(7): 222.
- [9] 刘 哲. 不同柑橘果实可食部矿质元素分析及膳食营养评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [10] WATANABE K, SUZUKI K, KITAMURA S. Characterization of a GDP-D-mannose 3', 5'-epimerase from Rice [J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(4): 338-346.
- [11] 甄安忠, 何文高, 陈 懿, 等. 施氮量和留叶数对烤烟 K326 碳代谢和品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(9): 20-25.
- [12] 余顺慧, 蒙明珠, 潘 杰. 氮肥和钾肥对铬污染土壤延胡索幼苗生长及品质的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(10): 61-68.
- [13] 李彦华, 孙立飞, 徐卫红, 等. 专用缓释肥料对黄瓜产量品质及 N, P, K 养分吸收利用的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(7): 1-10.
- [14] 苏苑君, 王文娥, 胡笑涛, 等. 氮对水培生菜营养液元素动态变化及产量与品质的影响 [J]. 华北农学报, 2016, 31(3): 198-204.
- [15] 汤丽玲, 张晓晟, 陈 清, 等. 蔬菜氮素营养与品质 [J]. 北方园艺, 2002(3): 6-7.
- [16] CONKLIN P L, NORRIS S R, WHEELER G L, et al. Genetic Evidence for the Role of GDP-mannose in Plant Ascorbic Acid (Vitamin C) Biosynthesis [J]. *PNAS*, 1999, 96(7): 4198-4203.
- [17] DAVEY M W, GILOT C, PERSIAU G, et al. Ascorbate Biosynthesis in Arabidopsis Cell Suspension Culture [J]. *Plant Physiology*, 1999, 121(2): 535-543.
- [18] KIM S, PARK M, YEOM S I, et al. Genome Sequence of the Hot Pepper Provides Insights into the Evolution of Pungency in Capsicum Species [J]. *Nature Genetics*, 2014, 46(3): 270-278.
- [19] QIN C, YU C S, SHEN Y, et al. Whole-Genome Sequencing of Cultivated and Wild Peppers Provides Insights into Capsicum Domestication and Specialization [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(14): 5135-5140.
- [20] 王 沛. 水氮耦合对线辣椒产量和品质形成的影响研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2015.
- [21] 曾化伟, 张恩让, 谭亮萍, 等. 土壤水分含量与施氮量对辣椒产量与品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(12): 3614, 3617.
- [22] 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.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [24] 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, 2000.
- [25] TABATA K, TAKAOKA T, ESAKA M. Gene Expression of Ascorbic Acid-related Enzymes in Tobacco [J]. *Phytochemistry*, 2002, 61(6): 631-635.
- [26] 安华明, 陈力耕, 樊卫国, 等. 刺梨叶衰老过程中维生素 C 质量分数和部分抗氧化酶活性的变化 [J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 994-997.
- [27] 马 恋, 陆智明, 宋乃庆. 中国居民果蔬消费与营养发展的趋势预测及战略思考 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(4): 68-75.
- [28] 邓梦雅, 朱 丽, 吴东慧, 等. 蔬菜中矿物质质量分数测定、营养评价及风险评估 [J]. 食品研究与开发, 2018,

39(9): 97-102.

- [29] 何志学, 颜建明, 卢家柱, 等. 氮肥水平对辣椒产量和品质的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(1): 51-56.
- [30] 陈雄伟, 郑春梅, 李晓丹, 等. 不同氮营养水平对水葫芦根系活力的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(3): 1657-1659.
- [31] 徐晓燕, 赵红军, 王 刚, 等. 石灰性土壤上钾氮营养对青椒养分吸收及光合作用的影响 [J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 1998, 18(1): 42-45.
- [32] 孙彭寿, 李会合, 戴亨林. 氮钾肥对叶菜产量和品质的效应 [J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26(6): 710-714.
- [33] 伍 翔. 辣椒果实与叶片 Vc、糖含量变化及相关酶活性的初步研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- [34] 张书轩, 李良良, 鲁 敏, 等. 三种植物生长调节剂对刺梨果实维生素 C 积累及其代谢基因表达的影响 [J]. 农业生物技术学报, 2018, 26(4): 606-615.
- [35] 赵德勇. 氮供应量对小麦农艺性状及锌、铁利用影响的研究初报 [J]. 中国土壤与肥料, 2018(5): 52-56.
- [36] 李彩虹, 王纪忠, 侯艳霞. 低氮营养对草莓苗矿质元素吸收的影响 [J]. 安徽农学通报, 2014, 20(24): 54-57, 67.
- [37] 汤明尧, 张 炎, 胡 伟, 等. 不同施氮水平对加工番茄养分吸收、分配及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1238-1245.

Effects of Nitrogen Supply on the Nutritional Quality in Pepper and Its Evaluation

WU Yue^{1,2}, KOU Zhi-rui¹, CHEN Xin-ping^{1,2},
ZHANG Yu-wen^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Academy of Agricultural Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: A pot experiment, in which nitrogen (N) was applied to pepper plants at 0, 60, 120 or 240 mg/kg, was conducted to study the effects of nitrogen (N) supply on the content (mass factor) of Vc and mineral elements in pepper, and nutritional evaluation was made. The results showed that the content of Vc in the leaves and fruit of pepper was significantly affected by N application. With increasing N rate, the content of Vc tended to increase first and then decrease. The N 60 mg/kg treatment gave the highest Vc content, significantly higher than the other treatments. A highly significant positive correlation was found between the content of Vc and GaI LDH activity. The mineral elements in pepper fruit were differently affected by N fertilizer application. Increasing application of N fertilizer at a proper rate significantly increased the zinc content in the fruit, and the highest zinc content was observed in the treatment of N 120 mg/kg. The application of N fertilizer had no great effect on the iron and manganese content in the fruit, whereas excessive application of N fertilizer (240 mg/kg) significantly reduced the content of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and copper in the fruit. N fertilizer application reduced the index of nutrition quality (INQ) and risk index of P, K, Ca and Mg, and increased the INQ and risk index of zinc and Vc in the fruit. The INQ values of P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn and Vc in pepper fruit were much greater than 1, and their risk indexes were less than 100%. In conclusion, reasonable application of N fertilizer will increase the content of Vc, and help to coordinate the other mineral nutrients of pepper fruit to provide safe pepper products for consumers.

Key words: pepper; nitrogen fertilizer; vitamin C; mineral element; nutritional value evaluation