

绿肥秸秆替代部分化肥对辣椒产量和品质的影响

刘晓阳^{1,2}, 陈检锋¹, 付利波¹, 王志远¹, 陈 华¹, 王 伟¹,

杨艳鲜¹, 张 庆¹, 杨济达¹, 尹 梅¹

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所 昆明 650205; 2. 东北农业大学 哈尔滨 150030)

摘 要:本研究聚焦云南辣椒产业中化肥过量施用引发的作物品质下降问题, 致力于探寻科学合理的化肥配施方案以提高辣椒产量与品质。以云南市场中常见的二荆条辣椒为试验对象, 设置化肥配施不同比例绿肥秸秆处理以及100%施加化肥的对照处理(CK), 确保各处理小区氮、磷、钾养分总量恒定。在辣椒成熟期与关键生长阶段, 测定辣椒产量、叶绿素含量、果实形态、营养成分及硝酸盐含量等关键指标。结果表明, 与CK相比, 化肥配施30%的绿肥秸秆后辣椒产量显著提升了22.29%, 辣椒结果期的叶绿素相对含量显著提升了7.47%, 辣椒果实形态更符合市场需求; 果实品质方面, 氮、磷、蛋白质和维生素C等营养物质含量分别显著提升了5.63%、9.48%、9.96%和25.96%, 有害物质硝酸盐含量也显著降低了20.5%。化肥配施绿肥秸秆不仅能显著提高辣椒产量, 还能改善果实形态指标、提高营养成分含量并降低有害物质含量。其中, 70%化肥+30%绿肥(SF3处理)的效果最佳, 为云南辣椒种植的化肥减施提供了科学依据, 有助于推动辣椒产业的可持续发展。

关键词:辣椒; 化肥减量; 绿肥秸秆; 配施方案; 产量; 品质

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)09-142-07

Effects of replacing partial chemical fertilizers with green manure straw on the yield and quality of pepper

LIU Xiaoyang^{1,2}, CHEN Jianfeng¹, FU Libo¹, WANG Zhiyuan¹, CHEN Hua¹, WANG Wei¹, YANG Yanxian¹, ZHANG Qing¹, YANG Jida¹, YIN Mei¹

(1. Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China; 2. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: This study focuses on the issue of decreased crop quality caused by excessive application of chemical fertilizers in the chili pepper industry in Yunnan, and is committed to exploring a scientific and reasonable combined application scheme of chemical fertilizers to enhance the yield and quality of chili pepper. Taking the commonly used Erjingtiao chili pepper in the Yunnan market as the test object, different proportions of green manure straw treatment with chemical fertilizer application and a control treatment (CK) with 100% chemical fertilizer were set up to ensure a constant total amount of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in each treatment plot. During the maturity and critical growth stages of chili pepper, key indicators such as yield, chlorophyll content, fruit morphology, nutrient components, and nitrate content were measured. The results showed that compared with the control treatment (CK), combining chemical fertilizer with 30% green manure straws significantly increased pepper yield by 22.29%, significantly increased chlorophyll content during the fruiting period by 7.47%, and improved pepper fruit morphology to better meet market demands. In terms of fruit quality, the content of nutrients such as nitrogen, phosphorus, protein and vitamin C significantly increased by 5.63%, 9.48%, 9.96% and 25.96%, respectively, while the harmful substance nitrate significantly decreased by 20.5%. The combined application of chemical fertilizers and green manure straws can not only significantly increase the yield of chili pepper, but also improve fruit morphology, enhance nutrient composition and reduce the content of harmful substances. Among them, 70% chemical fertilizers+30% green manure (SF3 treatment) has the best effects, providing a scientific ba-

收稿日期: 2024-12-10; 修回日期: 2025-02-16

基金项目: 云南创新引导与科技型企业培育计划(202504BI090005); 云南省重大科技专项计划项目(202202AE090029, 202002AE320005); 云南省曹卫东专家工作站(202305AF150016)

作者简介: 刘晓阳, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为农业资源利用。E-mail: 1721476036@qq.com

通信作者: 尹 梅, 女, 研究员, 研究方向为农业环境与植物营养。E-mail: ymmay@163.com

sis for the reduction of chemical fertilizer application in chili pepper cultivation in Yunnan and helping to promote the sustainable development of the chili pepper industry.

Key words: Pepper; Chemical fertilizers reduction; Green manure straw; Combined application scheme; Yield; Quality

辣椒为茄科辣椒属植物,是一种在全球范围内广泛种植和消费的重要农作物。我国辣椒种植历史悠久,品种较多,在全国各地都有分布,形成了较大的种植规模^[1-2]。在云南地区,辣椒种植已经成为支柱产业之一,年产量不仅能够满足本地消费需求,而且有相当数量用于加工和外销,为种植户带来可观的经济效益。然而,长期过量施用化肥给云南辣椒产业带来一系列负面影响。例如,长期使用化肥会使土壤中的有机质含量降低,破坏土壤结构,导致土壤板结酸化,影响辣椒根系生长和呼吸^[3-4]。同时,化肥中的盐分在土壤中积累会造成土壤盐渍化,尤其在云南的干旱和半干旱地区更为明显,盐渍化土壤抑制辣椒生长,降低辣椒的产量和品质^[5-6]。此外,大量施用化肥还会改变土壤微生物的生存环境,使有益微生物数量减少,影响土壤养分的转化和循环,增加辣椒病虫害发生的风险^[7-8]。祝海燕^[9]的研究表明,连年大量施化肥使土壤盐分升高,根际环境恶化,蔬菜生理障碍频发,植株矮小、生长不良,口感品质恶化。吴桐^[10]的研究表明,过量使用化肥显著改变番茄根际代谢,干扰多条代谢途径,影响次生代谢产物与化感物质积累,抑制番茄植株生长及产量。因此,寻求科学合理的化肥配施方案,提升辣椒的产量和品质对提高云南辣椒的市场竞争力具有重要意义。

绿肥作为一种天然、环保的肥料来源,符合绿色农业发展要求,在农业生产中占据着重要地位^[11-12]。种植绿肥有助于减少化肥和农药的使用,降低农业生产对环境的污染,有利于生产出更符合市场需求的绿色农产品。光叶苕子等绿肥作物根部的固氮根瘤菌可以固定空气中的氮素,转化为氨态氮并储存在植株体内,通过翻压还田可以大幅增加土壤中的氮含量,还能吸收土壤深层的磷、钾等养分,分解后重新分布在土壤耕层,提高土壤养分有效性^[13-14]。同时,绿肥还田后能疏松土

壤,增加孔隙度,增强土壤保水保肥能力,有利于土壤微生物活动和作物根系生长发育。管彤彤等^[15]的研究表明,绿肥翻压还田效果优于覆盖还田,绿肥还田量影响土壤有机碳积累和土壤肥力,还田方式影响土壤碳转化酶活性。张铁毅等^[16]的研究表明,种植翻压绿肥可降低土壤盐碱性,提高土壤养分含量和酶活性,特别是碱性磷酸酶和脲酶活性提升明显。路静等^[17]的研究表明,单施化肥降低了土壤微生物多样性,单施绿肥或绿肥替代高量化肥可维持较高水平的真菌多样性,绿肥替代部分化肥可改变真菌群落结构,绿肥引起的土壤有机碳变化是土壤微生物变化的主要影响因素。虽然绿肥在农业生产领域存在诸多优势,但是目前的研究方向主要集中在化肥与有机肥和微生物肥的配施^[18-19],通过配施绿肥以实现减肥增效的研究相对较少。因此,本研究以辣椒为试验材料,在保证总养分量不变的情况下寻求最佳的化肥+绿肥配比,为减肥增效和科学利用绿肥资源提供理论依据,最终促进云南地区辣椒产业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2024年5月在云南省昆明市嵩明县小街镇云南省农业科学院嵩明科研基地开展。该地属亚热带季风气候,平均海拔2840 m,年平均气温14℃,年降水量993 mm左右,日照时间长,光能资源丰富,有利于辣椒的生长和发育。供试土壤类型为红壤,详细土壤理化性质见表1。

1.2 材料

供试的绿肥秸秆为光叶苕子,光叶苕子每667 m²的干产量为250 kg[氮含量(w,后同)3.38%,磷含量0.25%,钾含量2.24%],辣椒品种为二荆条,购自湖南省衡阳市德丰源种业有限责任公司。供试肥料

表1 供试土壤基础理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of the tested soil

指标 Index	w(有机质) Organic matter content/(g·kg ⁻¹)	w(全氮) Total nitrogen content/(g·kg ⁻¹)	w(全磷) Total phosphorus content/(g·kg ⁻¹)	w(全钾) Total potassium content/(g·kg ⁻¹)	w(碱解氮) Alkaline hydrolyzable nitrogen content/ (mg·kg ⁻¹)	w(有效磷) Available phosphorus content/(mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Available potassium content/(mg·kg ⁻¹)	pH
数值 Value	25.9	1.65	1.47	9.3	234	55.1	416	7.96

均为单质肥料:尿素由云南云天化股份有限公司提供(纯 N 含量 46%),普钙由云南明诚化肥有限公司提供(P_2O_5 含量 12%),硫酸钾由云南云天化股份有限公司提供(K_2O 含量 50%)。

1.3 设计

试验共设 6 个处理,分别为 100%化肥(CK),90%化肥+10%绿肥(SF1),80%化肥+20%绿肥(SF2),70%化肥+30%绿肥(SF3),60%化肥+40%绿肥(SF4),50%化肥+50%绿肥(SF5)。施肥时保证每个小区的氮养分总量为 $330\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷养分总量为 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,钾养分总量为 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。配施绿肥秸秆时以氮养分总量为基准,由于绿肥秸秆中氮素含量占比为 3.38%,所以每减少 10%质量的养分,对应补充 295.86%质量的绿肥秸秆。详细的施肥方案见表 2。

表 2 不同处理的施肥量

Table 2 Fertilization amount in different treatments ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	基肥 Base fertilizer				追肥 Topdressing
	N	P_2O_5	K_2O	绿肥秸秆 Green manure chaff	N
CK	165.0	240	450	0.00	165.0
SF1	148.5	216	405	976.33	148.5
SF2	132.0	192	360	1 952.66	132.0
SF3	115.5	168	315	2 928.99	115.5
SF4	99.0	144	270	3 905.33	99.0
SF5	82.5	120	225	4 881.66	82.5

辣椒种植小区面积为 24 m^2 ,每个处理设置 3 次重复,共 18 个小区,小区采用完全随机区组设计。辣椒种植时采用打塘种植法,按照株行距 $30\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ 在小区内挖好塘后在塘底施入基肥,覆土后栽种辣椒苗,随着幼苗的生长,根系逐渐吸收塘内肥料,能够为辣椒提供充足的养分^[20-21]。为保证辣椒顺利结果,在辣椒现蕾期追加氮肥。为保证试验的严谨性,处理小区随机排列,辣椒生长过程中所有处理采用相同的管理方式。

1.4 测定指标及方法

在辣椒成熟期,每个小区分 5 次采收辣椒果实,将收获的辣椒称重后记录每个小区的产量。测定叶绿素相对含量时,在辣椒现蕾期和结果期每个小区随机选取长势良好的 5 株辣椒,从每株辣椒上选取中部叶片,用干净的纸巾轻轻把叶片表面的水分和灰尘擦掉。随后将叶片放入叶绿素测定仪中,让叶片均匀覆盖测量区域,等待仪器完成叶绿素相

对含量测定后记录数值。测量辣椒长度时,每个小区随机选取 5 个长势良好的辣椒果实,测量辣椒果柄端到尖端长度。辣椒长度测量完成后,用游标卡尺准确测量辣椒果径。此外,每个小区随机选取 10 个成熟的辣椒果实测定果实品质,测定方法如下:蛋白质含量测定参考食品安全国家标准食品中蛋白质的测定方法(GB 5009.5—2016);维生素 C 含量测定参考食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定方法(GB 5009.86—2016);可溶性糖含量测定参考蔬菜及其制品中可溶性糖的测定方法(NY/T 1278—2007);氮、磷、钾含量测定参考植物中氮、磷、钾的测定方法(NY/T 2017—2011);硝酸盐含量测定参考食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定方法(GB 5009.33—2016)。

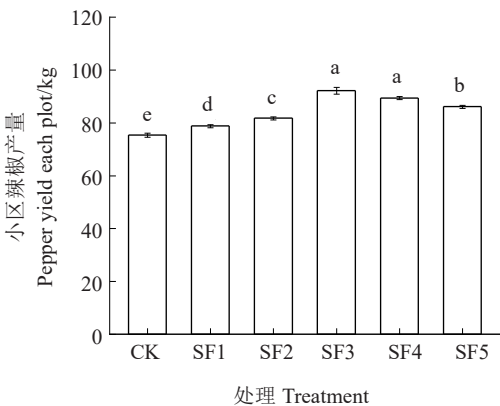
1.5 统计分析

采用 SPSS 27.0 分析不同处理之间数据差异的显著性,采用 Excel 2010 进行数据统计分析,采用 Origin 2021 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒产量的影响

如图 1 所示,化肥配施绿肥秸秆后不同处理的辣椒产量都有显著提升。其中,SF3 处理的提升效果最明显,与 CK 相比,SF3 处理的辣椒产量提高达 22.29%。此外,SF1、SF2、SF4、SF5 与 CK 相比也分别提高了 4.55%、8.40%、18.57%和 14.24%,均达到差异显著水平。



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

图 1 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒产量的影响
Fig. 1 Influence of different application ratios of fertilizer and green manure on pepper yield

2.2 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒叶绿素相对含量的影响

在辣椒现蕾期, SF2、SF3、SF4、SF5 处理与 CK 相比叶绿素相对含量均无显著变化(图 2); 在辣椒结果期, SF3、SF4 和 SF5 处理叶绿素相对含量均有明显提升; 其中 SF3 和 SF5 处理达到显著差异水平, 较 CK 叶绿素相对含量分别提高了 7.47% 和 6.75%。

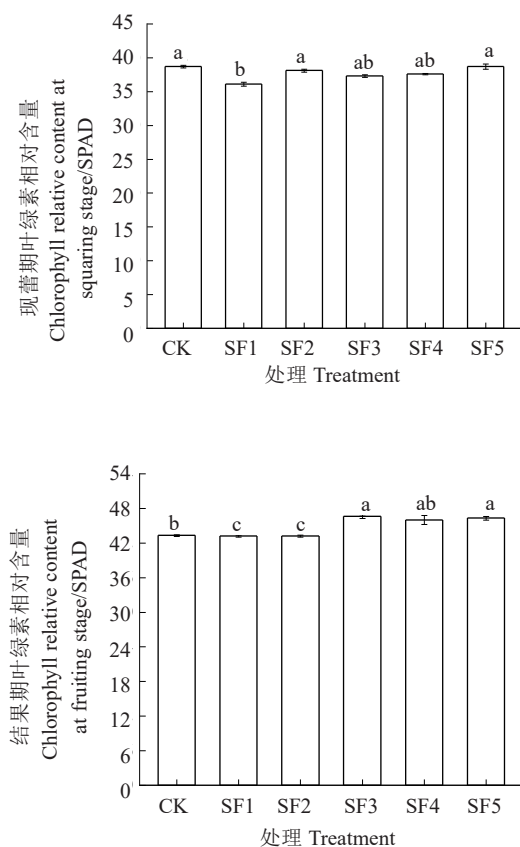


图 2 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒叶绿素相对含量的影响

Fig. 2 Influence of different application ratios of fertilizer and green manure on pepper chlorophyll relative content

2.3 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒形态的影响

如图 3 所示, SF1、SF2、SF3、SF4 和 SF5 处理与 CK 相比, 果实长度分别显著提升了 5.68%、10.10%、23.84%、20.79% 和 11.11%, 均达到显著差异水平。然而, 不同处理的辣椒果径较 CK 无显著变化。此外, SF3 处理辣椒果形指数最高, SF2、SF4、SF5 与 CK 相比也均达到显著差异水平。与果形指数相同, SF3 处理的单果质量最高, 与 CK 相比显著提升了 13.33%, 其他处理与 CK 相比也

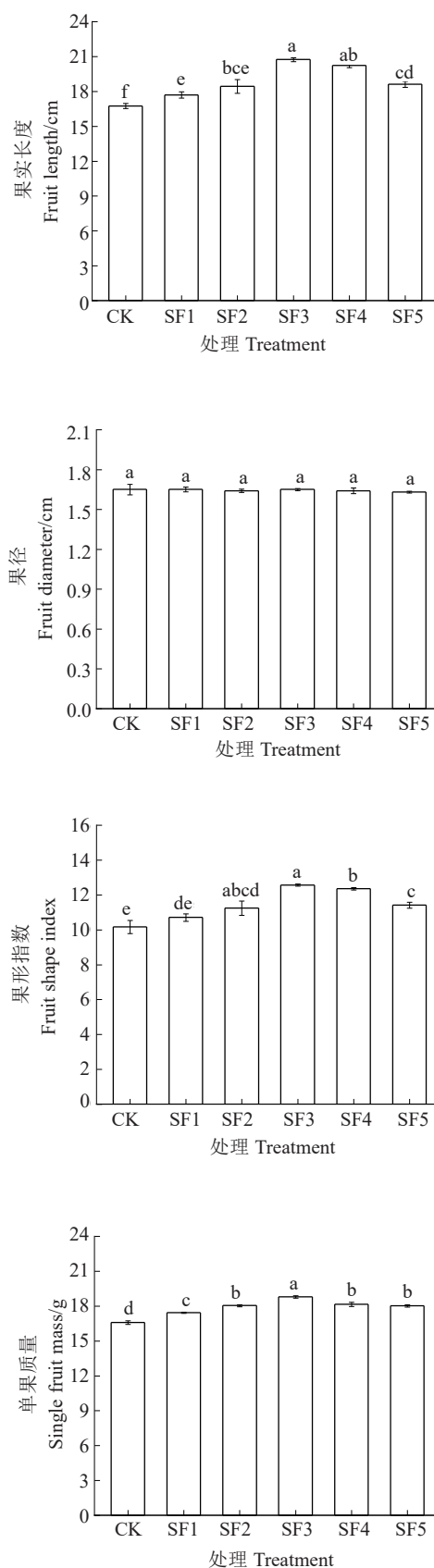


图 3 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒形态的影响
Fig. 3 Influence of different application ratios of fertilizer and green manure on pepper morphology

均达到显著差异水平。

2.4 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒营养成分含量的影响

如图4所示, SF1、SF2、SF3和SF4处理与CK相比辣椒果实氮含量分别显著提升了17.71%、15.25%、5.63%和5.48%。配施绿肥秸秆后不同处理辣椒果实磷含量均有一定程度提高, 其中SF3和SF5与CK相比达到了显著差异水平, 分别提升了9.48%和8.82%。此外, SF1和SF5的辣椒果实钾含量与CK相比也显著提升。配施绿肥秸秆后所有处理的蛋白质和维生素C含量均有显著提升, SF1、

SF2、SF3、SF4和SF5处理与CK相比蛋白质含量分别显著提升了12.85%、10.12%、9.96%、17.41%和12.31%, 维生素C含量显著提升了37.04%、55.58%、25.96%、25.65%和15.45%。然而, 绿肥秸秆对辣椒果实可溶性糖含量的影响较小, 虽然SF1、SF2、SF3、SF4处理与CK相比均有提升, 但提升效果不显著。

2.5 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒硝酸盐含量的影响

如图5所示, 配施绿肥秸秆后, 所有处理辣椒果实的硝酸盐含量与CK相比均有显著下降, SF1、

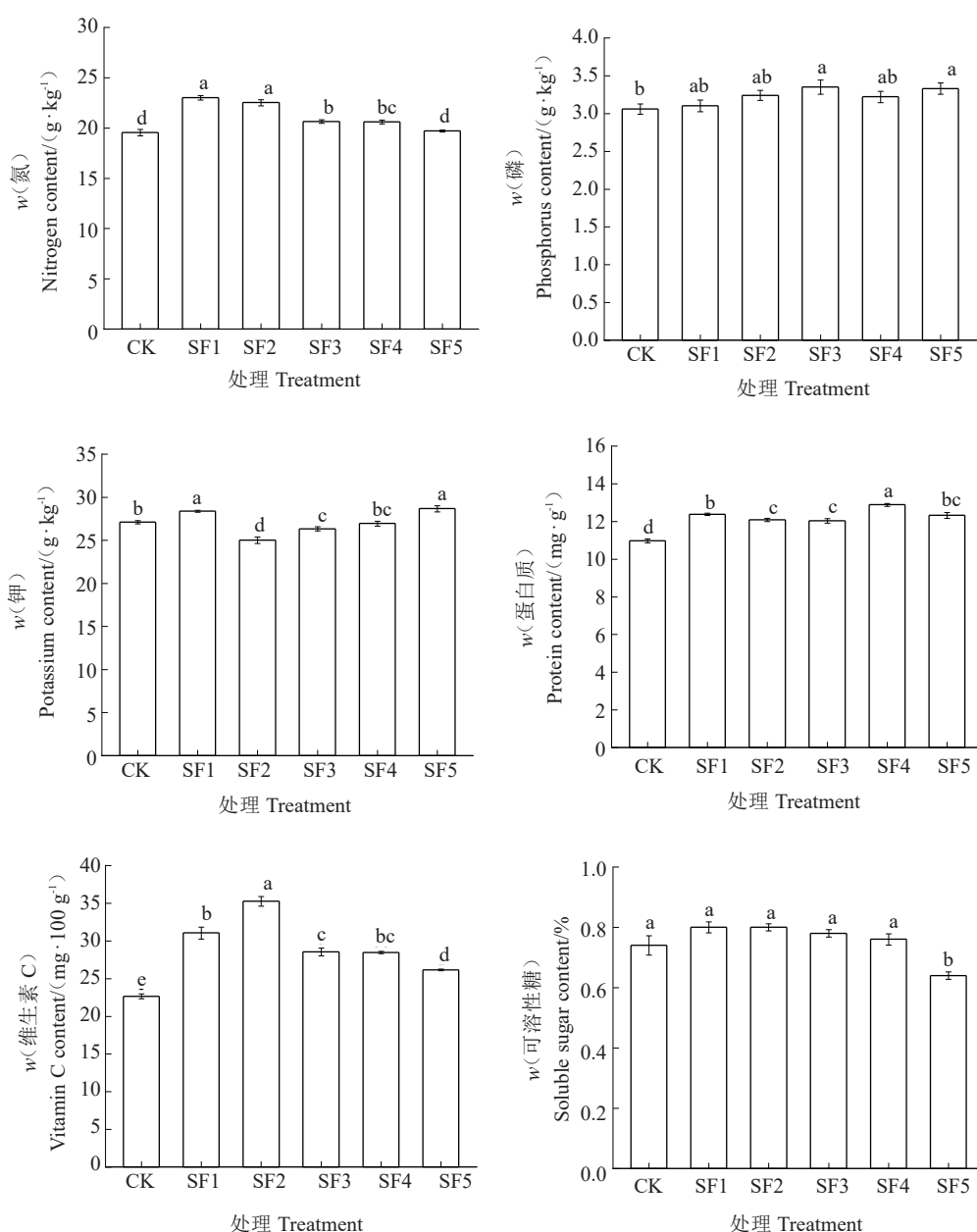


图4 化肥+绿肥不同配施比例对辣椒营养成分含量的影响

Fig. 4 Influence of different application ratios of fertilizer and green manure on pepper nutritional components

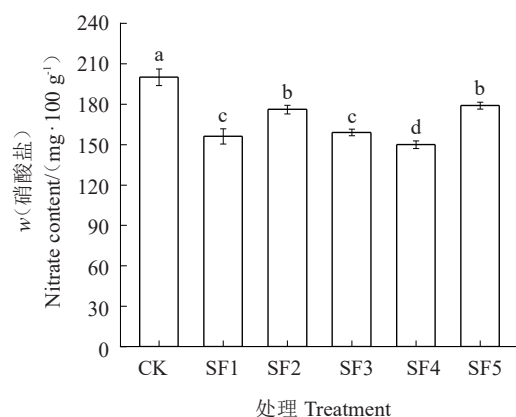


图5 化肥+绿肥不同配比比例对辣椒硝酸盐含量的影响

Fig. 5 Influence of different application ratios of fertilizer and green manure on pepper nitrate content

SF2、SF3、SF4 和 SF5 处理分别下降了 22%、12%、20.5%、25%和 10.5%。在化肥配施绿肥秸秆处理中 SF4 处理降低硝酸盐含量的效果最好。

3 讨论与结论

本研究结果表明,与 100%化肥处理相比,化肥与绿肥秸秆配施后可显著提高辣椒产量。随着绿肥秸秆比例增加,辣椒产量呈上升趋势,当施入 70%化肥+30%绿肥后(SF3 处理),辣椒产量达到最高值,继续增加绿肥秸秆比例,辣椒产量无明显变化,当绿肥秸秆比例增加至 50%时,辣椒产量比 SF3 处理显著下降。这说明在合理的肥料比例下,化肥和绿肥秸秆之间能产生协同作用,在辣椒生长前期,化肥能够快速为辣椒生长提供大量的速效养分,满足辣椒前期对养分的迫切需求。辣椒生长中后期,绿肥秸秆中丰富的有机营养物质在腐化分解的过程中被缓慢释放,为辣椒生长提供长效养分^[22-24]。化肥与绿肥配合,使得辣椒在整个生长周期内都能获得相对稳定且充足的养分供应,从而提高产量。辣椒现蕾期化肥+绿肥不同配比比例对叶绿素相对含量基本无显著影响,然而在结果期,辣椒叶绿素相对含量产生明显变化。当施入 70%化肥+30%绿肥后(SF3 处理),辣椒叶绿素相对含量达到最高值,继续增加绿肥秸秆施入量,辣椒的叶绿素相对含量较 CK 也有明显提升。说明施入绿肥秸秆后,绿肥的根瘤在分解过程中释放了氮素,氮素在叶绿素合成过程中参与构成叶绿素的卟啉环结构^[25],充足的氮素供应为叶绿素的合成提供了必要的原料,有助于提高叶绿素含量^[26-27]。

化肥配施绿肥秸秆后对辣椒果实形态也有显著影响,与 100%化肥处理相比,绿肥秸秆的加入均可以显著增大辣椒果实长度,其中 70%化肥+30%绿肥处理(SF3)对辣椒果实长度增大效果最好。绿肥秸秆的加入对辣椒果径没有明显影响,这说明绿肥秸秆所提供的养分和对土壤环境的改善可能更有利于促进辣椒果实纵向生长,而对横向生长的促进作用不明显^[28-29]。辣椒果形指数也是衡量辣椒果实形状的一个重要指标。在本研究中,CK 处理的果形指数最低,说明果实相对短粗,然而 70%化肥+30%绿肥处理(SF3)的果形指数最高,说明果实相对细长。由于二荆条辣椒是比较细长的品种,所以 SF3 处理的果形指数更符合品种特点和市场需求^[30]。此外,化肥配施绿肥秸秆后也可以显著增加辣椒单果质量,70%化肥+30%绿肥处理(SF3)的辣椒单果质量最大,说明绿肥腐化分解产生的营养物质能促进辣椒果实的生长发育,提高单果质量^[31]。一般来说,单果质量较大的二荆条辣椒更受欢迎,所以, SF3 处理的辣椒在市场上更具优势^[32]。施加绿肥秸秆使辣椒多种营养成分含量上升,说明绿肥秸秆可作为有机肥料,通过改善土壤结构和释放养分促进辣椒对氮、磷、钾的吸收,还能强化辣椒蛋白质和维生素 C 的合成,有效提升辣椒品质与营养价值,这与张睿桐等^[33]的研究结果一致。氮、磷、钾含量上升可促进果实风味物质形成,使辣椒颜色鲜艳、口感更佳^[34]。蛋白质和维生素 C 含量的增加提升了辣椒的营养价值和抗氧化能力^[35]。此外,辣椒中的硝酸盐会在腌制过程中转化为亚硝酸盐,消费者食用后存在亚硝酸盐中毒的风险^[36-37]。化肥配施不同比例的绿肥秸秆后辣椒果实硝酸盐含量均显著下降,说明绿肥秸秆在土壤中分解时改变了土壤中铵态氮和硝态氮比例,有助于辣椒根系更好地吸收铵态氮,从而抑制硝酸盐的积累^[38]。

综上所述,化肥配施绿肥秸秆在提高辣椒产量和品质的同时抑制了硝酸盐的积累,其中以 70%化肥+30%绿肥(SF3 处理)的效果最好,可作为云南地区辣椒种植化肥减施新模式,从而提高辣椒产品的市场竞争力,推动产业可持续发展。

参考文献

- [1] 李圆,李世成,孔融,等.辣椒新品种绿螺 1 号的选育[J].中国瓜菜,2025,38(1):164-169.
- [2] 李红岗,张舜,刘晗乔,等.辣椒新品种牟椒六号的选育[J].中国瓜菜,2024,38(1):159-163.
- [3] 吴东阳,吴家欢,李伟志,等.蚓粪、猪粪配施化肥对土壤质量、辣椒生长及品质的影响[J].生态环境学报,2024,33(9):

- 1416-1425.
- [4] 杨姣姣,魏百弘,陈文绪,等.化肥减量配施不同用量堆肥对娃娃菜产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(1):94-102.
- [5] 杨倩倩,江解增,吴桓锐,等.不同基肥、不同追肥施用量对设施叶菜产量和土壤盐渍化的影响试验初报[J].上海农业科技,2023(3):120-127.
- [6] 张作为,李宏宇,付强,等.化肥有机肥配施对河套灌区土壤盐分及玉米水肥利用的影响[J].应用基础与工程科学学报,2023,31(5):1170-1182.
- [7] 杜宏辉,贾学刚,杨涛.化肥减量及配施生物有机肥对马铃薯产量、矿质元素含量及土壤肥力的影响[J].中国瓜菜,2023,36(9):66-74.
- [8] 宋鉴恒,黄婧宇,郭欣玉,等.秸秆还田与化肥配施对冬小麦土壤微生物量及化学计量特征和微生物熵的影响[J].环境科学,1-12(2024-08-20).<https://doi.org/10.13227/j.hjxx.202405157>.
- [9] 祝海燕.过量施肥对设施果菜类蔬菜的影响:以山东省寿光市为例[J].中国瓜菜,2018,31(11):50-52.
- [10] 吴桐.连续过量施用化肥对日光温室番茄生长及其根际代谢物影响的分析[D].沈阳:沈阳农业大学,2024.
- [11] 李涵,曹钟洋,汤彬,等.湖南地区鲜食玉米-西瓜-绿肥油菜高效栽培技术[J].中国瓜菜,2019,32(11):101-103.
- [12] 刘建香,郭树芳,雷宝坤,等.绿肥生产利用方式对云南高原红壤理化性状及玉米产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2022,28(2):237-246.
- [13] 曹卫东,周国朋,高嵩涓.绿肥内源驱动土壤健康的作用与机制[J].植物营养与肥料学报,2024,30(7):1274-1283.
- [14] 翟敬华,马雪寒,张鸿,等.果园套种绿肥的品种选择及对土壤理化性质和果实品质的改善作用[J].中南农业科技,2024,45(10):236-238.
- [15] 管彤彤,张燕,陶海宁,等.绿肥还田对土壤有机碳组分及碳转化酶活性的影响[J].中国农业科学,2024,57(14):2791-2802.
- [16] 张铁毅,杨帆,王立春,等.绿肥作物种植翻压对苏打盐碱土壤改良效果的影响[J].干旱地区农业研究,2024,42(6):225-233.
- [17] 路静,项兴佳,康耘滔,等.绿肥替代不同比例化肥对红壤稻田土壤真菌群落的影响[J].微生物学报,2025,65(1):323-336.
- [18] 夏成明,史嘉莉,马栋,等.化肥减量配施有机肥和微生物菌剂对麦后复种娃娃菜产量与品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(10):132-140.
- [19] 郑剑超,李明,史芳芳,等.化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄光合特性和肥料利用率的影响[J].中国瓜菜,2024,37(2):74-79.
- [20] 杨云会,张信欢,秦艳梅,等.会泽县辣椒栽培技术[J].现代农业科技,2022(9):36-38.
- [21] 李志杨,李玉华,杨和团,等.保山市冬早大棚辣椒一茬双收高产高效栽培技术[J].农业科技通讯,2021(6):299-300.
- [22] ZHANG J L, NIE J, CAO W D, et al. Long-term green manuring to substitute partial chemical fertilizer simultaneously improving crop productivity and soil quality in a double-rice cropping system[J]. European Journal of Agronomy, 2023, 142: 126641.
- [23] XU P D, WU J, WANG H, et al. Long-term partial substitution of chemical fertilizer with green manure regulated organic matter mineralization in paddy soil dominantly by modulating organic carbon quality[J]. Plant and Soil, 2021, 468(1/2):459-473.
- [24] KIMANI S M, BIMANTARA P O, KAUTSAR V, et al. Poultry litter biochar application in combination with chemical fertilizer and *Azolla* green manure improves rice grain yield and nitrogen use efficiency in paddy soil[J]. Biochar, 2021, 3(4):591-602.
- [25] JAMA-RODZEŃSKA, CHOHURA P, GAŁKA B, et al. Effect of different doses of phosgreen fertilization on Chlorophyll, K, and Ca content in butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in peat substrate[J]. Agriculture, 2022, 12(6):788.
- [26] AHMAD I, ZHU G L, ZHOU G S, et al. Effect of N on growth, antioxidant capacity, and chlorophyll content of sorghum[J]. Agronomy, 2022, 12(2):501.
- [27] ZHAO L S, LI K, WANG Q M, et al. Nitrogen starvation impacts the photosynthetic performance of porphyridium cruentum as revealed by chlorophyll a fluorescence[J]. Scientific Reports, 2017, 7:8542.
- [28] SELVAKUMAR G, YI P H, LEE S E, et al. Hairy vetch, compost and chemical fertilizer management effects on red pepper yield, quality, and soil microbial population[J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2018, 59(5):607-614.
- [29] KIM R H, TAGELE S B, JEONG M, et al. Spinach (*Spinacia oleracea*) as green manure modifies the soil nutrients and microbiota structure for enhanced pepper productivity[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1):4140.
- [30] 许艺,巩雪峰,陈鑫,等.四川不同产区二荆条辣椒农艺性状及品质分析[J].广东农业科学,2023,50(11):66-77.
- [31] QU J H, LI Y H, BI F X, et al. Smooth vetch (*Vicia villosa* var.) coupled with ball-milled composite mineral derived from shell powder and phosphate rock for remediation of cadmium-polluted farmland: insights into synergetic mechanisms[J]. ACS ES and T Engineering, 2024, 4(8):2054-2067.
- [32] 沈芳芳,张锋,杜春苗,等.辣椒新品种比较试验[J].农业科技与信息,2024(4):12-15.
- [33] 张睿桐,车宗贤,古丽君,等.颗粒生物绿肥对辣椒生长及土壤理化性质的影响[J].国土与自然资源研究,2024(6):89-94.
- [34] 陈静茹,王晓巍,颜建明,等.甘谷辣椒产地环境及产品品质分析与评价[J].食品与发酵工业,2022,48(14):251-256.
- [35] 韩新奇,丛琳,解笑宇,等.不同微生物菌剂对辣椒生长、品质及产量的影响[J].蔬菜,2024(9):34-38.
- [36] 黄秋月,何建清,徐东,等.化肥减量配施园林废弃物堆肥对辣椒产量、品质及土壤肥力的影响[J].贵州农业科学,2024,52(7):21-30.
- [37] 李其勇,夏武奇,魏斌,等.微生物菌肥与复合肥配施对高山辣椒生长及土壤养分的影响[J].北方园艺,2024(19):1-8.
- [38] ZHANG X, LI X H, LUO L C, et al. Monitoring wheat nitrogen requirement and top soil nitrate for nitrate residue controlling in drylands[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 241:118372.