

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0481

矿物质调理剂对坡耕地辣椒农艺性状、产量及品质的影响

张裕如^{1,2,3}, 周旋^{1,2}, 罗湘洪⁴, 张杰⁵, 刘路⁵,
唐熙雯⁵, 褚飞^{1,2}, 罗卓^{1,2}, 彭志红^{1,2}

(1. 湖南省耕地与农业环境生态研究所 长沙 410125; 2. 岳麓山实验室 长沙 410128; 3. 湖南科技大学生命科学与健康学院 湖南湘潭 411201; 4. 湘潭市农业综合服务中心 湖南湘潭 411104;
5. 湘潭县农业农村局 湖南湘潭 411228)

摘要:为探明矿物质调理剂改良坡耕辣椒地的最佳施用量,选择湖南湘潭坡耕地开展田间小区试验,设置不施肥(CK)、常规施肥(CF)和常规施肥配施不同用量矿物质调理剂 750 kg·hm⁻²(50SC)、1500 kg·hm⁻²(100SC)、2250 kg·hm⁻²(150SC)、3000 kg·hm⁻²(200SC)共 6 个处理,研究不同用量矿物质调理剂对坡耕地种植辣椒生长、产量、效益及品质的影响。结果表明,与 CF 处理相比,增施矿物质调理剂处理辣椒产量显著提高 30.72%~51.72%,其中 150SC 处理产量最高(8 957.11 kg·hm⁻²),其净增收收益达 58 639.32 Yuan·hm⁻²。150SC 处理辣椒单果质量、果实横径和纵径分别较 CF 处理增加 29.04%、26.63%和 19.86%;增施矿物质调理剂处理的辣椒株高较 CF 处理提高 13.24%~18.90%,叶片 SPAD 值提高 4.27%~12.29%;增施矿物质调理剂处理的果实维生素 C 与可溶性糖含量较 CF 处理分别提高 0.75%~5.00%和 5.00%~24.55%,硝酸盐含量降低 10.27%~32.04%,果实全氮含量增幅为 6.94%~8.55%。相关性分析表明,增施矿物质调理剂后辣椒植株农艺性状的变化对可食部分产量和品质的提高具有显著影响。综上所述,适量增施矿物质调理剂能有效促进坡耕地辣椒的生长发育,显著提高果实产量与品质,提升经济效益,尤以增施 2250 kg·hm⁻²矿物质调理剂效果较好。

关键词:矿物质调理剂;坡耕地;辣椒;产量;农艺性状;品质

中图分类号:S641.3 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2026)05-138-08

Effects of mineral conditioner on agronomic traits, yield and quality of pepper in sloping farmland

ZHANG Yuru^{1,2,3}, ZHOU Xuan^{1,2}, LUO Xianghong⁴, ZHANG Jie⁵, LIU Lu⁵, TANG Xiwen⁵, CHU Fei^{1,2}, LUO Zhuo^{1,2}, PENG Zhihong^{1,2}

(1. Hunan Cultivated Land and Agricultural Eco-Environment Institute, Changsha 410125, Hunan, China; 2. Yuelushan Laboratory, Changsha 410128, Hunan, China; 3. School of Life and Health Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China; 4. Xiangtan Agricultural Comprehensive Service Center, Xiangtan 411104, Hunan, China; 5. Xiangtan County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Xiangtan 411228, Hunan, China)

Abstract: To determine the optimal application amount of mineral conditioner for improving pepper cultivation on sloping farmland, A field plot experiment was conducted at a sloping farmland site in Xiangtan, Hunan province. Six treatments were established: No fertilizer(CK), conventional fertilization(CF), and conventional fertilization combined with different application rates of mineral conditioner(750 kg·hm⁻², 50SC; 1500 kg·hm⁻², 100SC; 2250 kg·hm⁻², 150SC; 3000 kg·hm⁻², 200SC). The effects of mineral conditioner application on the growth, yield, economic benefits, and quality of pepper on sloping farmland were evaluated. The results showed that compared with the CF treatment, the application of mineral conditioner significantly increased pepper yield by 30.72%-51.72%. Among all treatments, the 150SC treatment achieved the highest yield(8 957.11 kg·hm⁻²), and generated a net increased benefit of 58 639.32 Yuan·hm⁻². Compared with the CF treatment, the 150SC treatment increased single fruit mass, fruit transverse diameter, and fruit vertical diameter by

收稿日期:2025-07-04;修回日期:2025-11-25

基金项目:湖南省重点研发计划(2023NK2028);泸溪县矿物质农用产业研发合作项目

作者简介:张裕如,男,在读硕士研究生,研究方向为农业资源高效利用。E-mail:yuru_zhang9272@163.com

通信作者:周旋,男,副研究员,主要从事肥料与养分资源管理研究。E-mail:zhouxuan_123@126.com

彭志红,男,研究员,主要从事作物施肥和农业废弃物资源化利用研究。E-mail:xingxiang98@126.com

29.04%, 26.63%, and 19.86%, respectively. The plant height of pepper in the mineral conditioner treatments increased by 13.24% to 18.90%, and the leaf SPAD value increased by 4.27% to 12.29% related to the CF treatment. Additionally, compared with the CF treatment, the application of mineral conditioner increased fruit vitamin C and soluble sugar content by 0.75% to 5.00% and 5.00% to 24.55%, respectively, while reducing nitrate content by 10.27% to 32.04% and increasing fruit total nitrogen content by 6.94% to 8.55%. Correlation analysis indicated that the improvement in pepper agronomic traits following conditioner application significantly influenced the yield and quality of the edible fruit parts. In conclusion, the appropriate application of mineral conditioner can effectively promote the growth and development of pepper on sloping farmland, significantly enhancing fruit yield, quality, and economic benefits. Among all treatments, the application rate of 2250 kg·hm⁻²(150SC) demonstrated the best overall performance.

Key words: Mineral conditioner; Sloping farmland; Pepper; Yield; Agronomic trait; Quality

辣椒(*Capsicum annuum* L.)为茄科辣椒属一年生或有限多年生草本植物^[1]。近年来,我国辣椒种植面积稳定在 210 万 hm² 以上,占全国蔬菜总面积的 9.28%,平均年产量约 6400 万 t,均位居世界第一^[2-3]。辣椒中含有丰富的维生素、辣椒素、可溶性糖等营养物质,已成为大众日常生活中不可或缺的蔬菜之一^[4]。生产者追求高产,长期不合理的施肥结构与集约化生产造成土壤板结、肥力下降、土壤酸化、土传病害增加、中微量元素缺乏等问题^[5-6]。而土壤退化会对辣椒生长产生极大影响,如病虫害加剧、产量降低、硝酸盐含量超标、营养元素缺失等^[7-9]。因此,改善土壤环境、提高产量品质对促进辣椒产业持续高质量发展具有重要意义。

矿物质调理剂富含钾、钙、镁、硅等矿质元素和少量营养元素,能改善土壤团粒结构,降低土壤容重,调节土壤 pH 值,提升作物抗逆能力,促进植株对营养元素的吸收与利用^[10-12]。坡耕地占我国耕地面积的 17.5%,在我国蔬菜与粮食生产中起到不可或缺

的作用^[13]。坡耕地的地形独特,导致水土流失问题严重,生产力持续下降,同时农户生产常不合理施用化肥,进而加剧坡耕地的土壤退化^[14-16]。目前,关于矿物质调理剂在设施辣椒生产中的应用较多,而针对露天坡耕地的研究鲜有报道。因此,笔者开展坡耕地田间小区试验,研究增施不同用量矿物质调理剂对坡耕地辣椒农艺性状、产量、效益和品质的影响,以期筛选出最佳添加量,优化施肥方案,为辣椒产业绿色健康发展提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2024 年 4—9 月在湖南省湘潭县排头乡双联村王家组湘潭县七兴生态蔬菜种植专业合作社种植基地进行。该地属亚热带季风湿润气候,年均气温 17.5 °C,年均降水量 1300 mm,年均日照时长 1 734.5 h,无霜期 273 d。试验土壤类型为红壤,基本理化性质见表 1。

表 1 试验地土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soil

| 指标 Index | pH | w(有机质) OM content/ (g·kg ⁻¹) | 阳离子交换量 CEC/(cmol·kg ⁻¹) | w(全氮) TN content/ (g·kg ⁻¹) | w(全磷) TP content/ (g·kg ⁻¹) | w(全钾) TK content/ (g·kg ⁻¹) | w(碱解氮) AN content/ (mg·kg ⁻¹) | w(有效磷) AP content/ (mg·kg ⁻¹) | w(速效钾) AK content/ (mg·kg ⁻¹) |
|-------------|------|--|--|---|---|---|---|---|---|
| 数值 Value | 5.18 | 34.40 | 13.00 | 2.27 | 1.23 | 17.10 | 177.00 | 38.80 | 189.00 |

1.2 材料

供试蔬菜品种为竹根辣椒,由湘潭市农业科学研究所选育。供试肥料品种为沃地金牌复合肥料(N、P₂O₅、K₂O 质量比 15:15:15),由湖南沃地生态肥业有限公司生产;矿物质调理剂[CaO 含量(w,后同)≥25%,SiO₂ 含量≥20%,MgO 含量≥4%,Mn 含量≥0.1%,pH=9.0~11.0],以天然磷矿石、富钾硅酸盐岩石、锰渣为主要原料,富含钙、硅、锰、铁、硒、锌等中微量元素,由湖南省捷宸丰环保科技有限公司生产;尿素(N 含量≥46%)由华鲁恒升(荆州)有限公

司生产。

1.3 试验设计

试验共设置 6 个处理,分别为 CF:常规施肥,50SC:常规施肥增施矿物质调理剂(750 kg·hm⁻²),100SC:常规施肥增施矿物质调理剂(1500 kg·hm⁻²),150SC:常规施肥增施矿物质调理剂(2250 kg·hm⁻²),200SC:常规施肥增施矿物质调理剂(3000 kg·hm⁻²),以不施肥作为对照(CK)。矿物质调理剂随基肥一次性施入,第一次追施尿素 30 kg·hm⁻²+复合肥 60 kg·hm⁻²,第二次追施复合肥 60 kg·hm⁻²。具体肥

料用量如表2所示。

表2 肥料用量配方

| 处理 Treatment | 复合肥施用量 Compound fertilizer application amount | 尿素施用量 Urea applica- tion amount | 矿物质调理剂施用量 Mineral conditioner application amount |
|-----------------|---|---------------------------------------|--|
| CK | 0 | 0 | 0 |
| CF | 870 | 30 | 0 |
| 50SC | 870 | 30 | 750 |
| 100SC | 870 | 30 | 1500 |
| 150SC | 870 | 30 | 2250 |
| 200SC | 870 | 30 | 3000 |

小区面积为20 m²,各小区起3垄,每垄长约3 m,宽约2 m,高约0.3 m,垄沟宽约0.5 m,每垄移栽20株辣椒苗,行距约0.5 m,株距约0.3 m。随机区组排列,3次重复。试验地为梯田,各小区均匀分布在同一等高线。于2024年4月19日犁田起垄,4月22日施基肥、覆盖地膜,4月25日移栽,5月15日、7月6日施追肥。试验病虫害防治及除草等管理按照当地常规方式进行。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 植株生长指标 于辣椒结果期,用直尺测定株高,用便携式叶绿素测量仪测定叶片SPAD值,用游标卡尺测定果实横径与纵径,用电子天平称单果质量。

1.4.2 产量 分别于6月20日、7月11日、7月14日、7月22日、8月3日、8月14日、8月25日进行辣椒果实采收。对可食部分辣椒鲜样称质量,累加计产,根据总质量计算小区平均产量并折合单位面积产量。

1.4.3 植株样品指标 将采收的辣椒果实鲜样取一部分测定果实品质。依据《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》(GB 5009.86-2016)测定维

生素C含量,依据《食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》(GB 5009.8-2023)测定可溶性糖含量,依据《食品安全国家标准食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》(GB 5009.33-2016)测定硝酸盐含量。另一部分进行烘干粉碎,用H₂SO₄-H₂O₂消煮制备待测液测定果实养分含量,参照鲍士旦^[17]的方法测定全氮、全磷和全钾含量。

1.4.4 经济效益 采收期辣椒均价12元·kg⁻¹,肥料成本包括:复合肥2.4元·kg⁻¹、矿物质调理剂2.0元·kg⁻¹、尿素3.6元·kg⁻¹,其他成本包括:辣椒苗15000元·hm⁻²、农药2250元·hm⁻²、地膜1500元·hm⁻²、田租3900元·hm⁻²、人工水电19500元·hm⁻²。按下列公式计算总产值、净增收益和产投比^[18]。

总产值=平均单位价格×产量;

净增收益=总产值-总投入;

产投比=总产值/总投入。

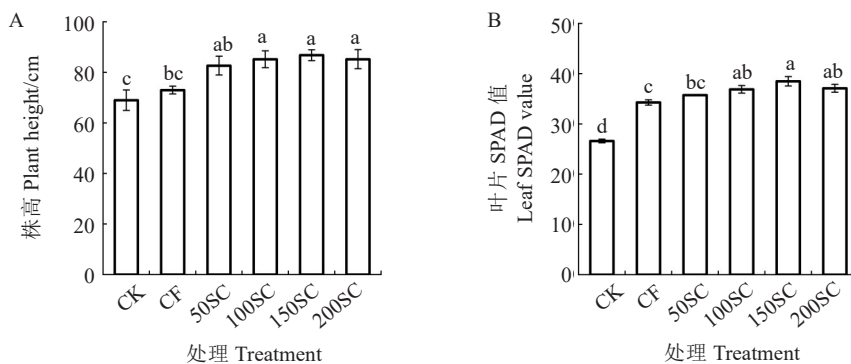
1.5 数据分析

利用Excel 2019和R Studio进行数据统计与分析,采用单因素(one-way ANOVA)和Duncan法进行方差分析和多重比较分析,采用Pearson法进行相关性分析,利用GraphPad Prism 10.0和Origin 2024软件作图。

2 结果与分析

2.1 坡耕地辣椒农艺性状

由图1可知,与CF处理相比,50SC、100SC、150SC、200SC处理辣椒株高分别提高13.24%、16.71%、18.90%和16.71%,其中100SC、150SC和200SC处理与CF差异显著;叶片SPAD值分别提高4.27%、7.63%、12.29%和8.22%,其中100SC、150SC和200SC处理与CF差异显著。说明适量增



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 difference at 0.05 level. The same below.

图1 不同处理下坡耕地辣椒株高和叶片SPAD值

Fig. 1 Plant height and leaf SPAD value of pepper in sloping farmland under different treatments

施矿物质调理剂可显著提高辣椒株高、叶片叶绿素相对含量,增强植株光合作用能力。

2.2 坡耕地辣椒果实性状

由图 2 可知,与 CF 处理相比,50SC、100SC、150SC、200SC 处理辣椒单果质量分别提高 4.00%、9.20%、29.04%和 17.60%,其中 150SC 处理与 CF 差

异显著;果实横径分别提高 6.53%、13.64%、26.63%和 15.06%,其中 150SC 处理与 CF 差异显著;果实纵径分别提高 9.07%、10.52%、19.86%和 11.53%,其中 150SC 处理与 CF 差异显著。说明适量增施矿物质调理剂可促进坡耕地辣椒果实生长发育,显著提升辣椒单果质量与果实大小。

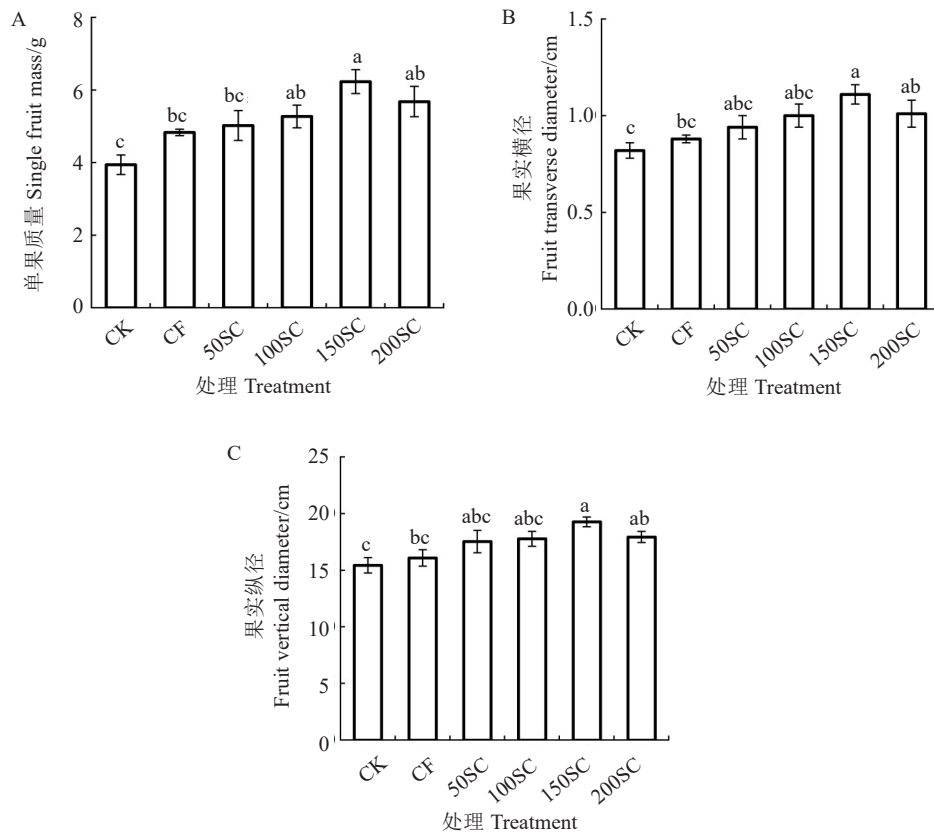


图 2 不同处理下坡耕地辣椒单果质量和果实大小

Fig. 2 Single fruit mass and fruit size of pepper in sloping farmland under different treatments

2.3 坡耕地辣椒产量

由表 3 可知,增施矿物质调理剂处理的辣椒产量较 CK 处理显著增加 54.54%~79.37%,以 150SC 处理最高。与 CF 处理相比,50SC、100SC、150SC、200SC 处理辣椒产量分别显著提高 30.72%、

39.30%、51.72%和 45.57%。说明适量增施矿物质调理剂能显著提高坡耕地辣椒产量。

2.4 坡耕地辣椒产量与矿物质调理剂添加量的关系

由图 3 可知,坡耕地辣椒产量与矿物质调理剂

表 3 不同处理下坡耕地辣椒产量

Table 3 Yield of pepper in sloping farmland under different treatments

| 处理 Treatment | 小区产量 Plot yield/kg | 产量 Yield/(kg·hm ²) | 比 CK+ More than CK+/% | 比 CF+ More than CF+/% |
|--------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| CK | 9.99±0.68 b | 4 993.58±339.31 b | | |
| CF | 11.81±0.48 b | 5 903.63±240.19 b | 18.22 | |
| 50SC | 15.43±0.51 a | 7 717.05±255.77 a | 54.54 | 30.72 |
| 100SC | 16.45±1.91 a | 8 223.74±955.75 a | 64.69 | 39.30 |
| 150SC | 17.91±1.52 a | 8 957.11±757.58 a | 79.37 | 51.72 |
| 200SC | 17.19±1.12 a | 8 593.76±558.50 a | 72.10 | 45.57 |

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

添加量存在高度相关性,随着施用量的增加,产量呈现先升高后降低的趋势。根据拟合方程计算得出,辣椒产量与矿物质调理剂添加量呈一元二次函数关系, R^2 为 0.719。其中,当矿物质调理剂添加量为 $2\ 279.82\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,辣椒产量达到最大值 ($8\ 908.96\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。

2.5 坡耕地辣椒果实品质

由图 4 可知,随着矿物质调理剂用量的增大,辣椒果实维生素 C 和可溶性糖含量均呈现先升高后降低的趋势。与 CF 处理相比,50SC、100SC、150SC 和 200SC 处理维生素 C 含量分别提高 0.75%、5.00%、2.33% 和 1.50%;可溶性糖含量分别提高 5.00%、14.09%、24.55% 和 20.23%;硝酸盐含量分别降低 10.27%、32.04%、22.07% 和 11.52%,其中

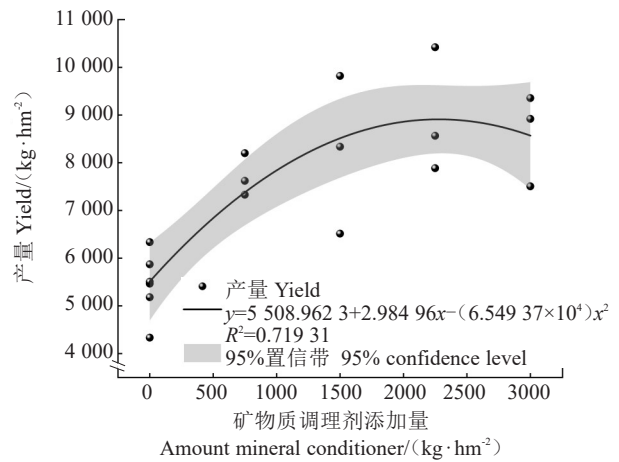


图 3 辣椒产量与矿物质调理剂添加量的函数关系
Fig. 3 Functional relationship between pepper yield and mineral conditioner application amount

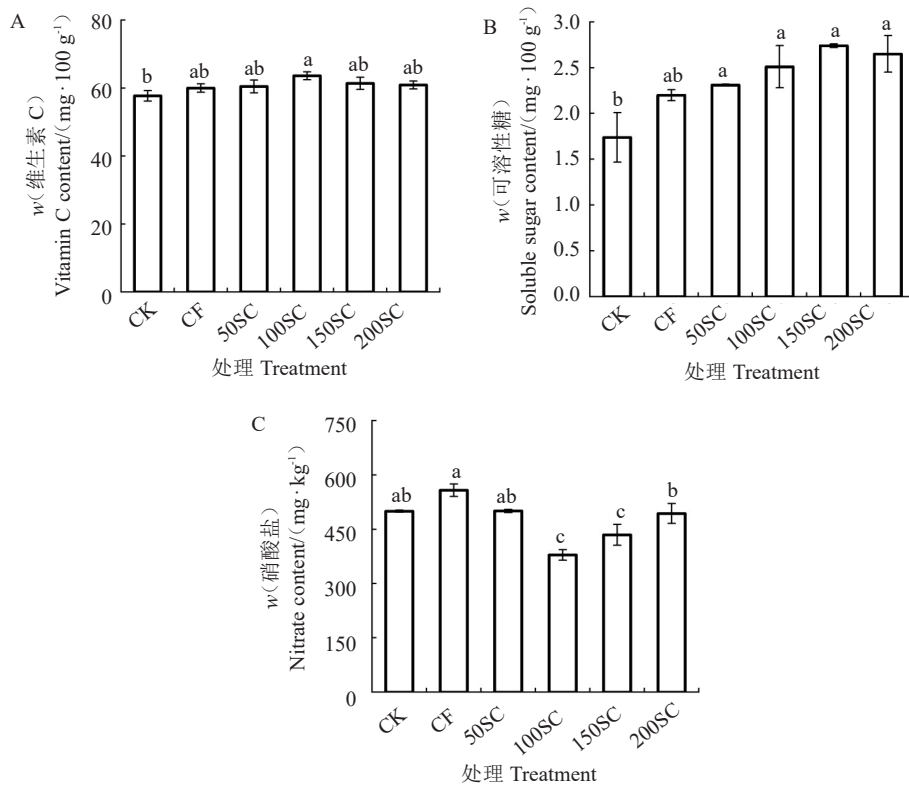


图 4 不同处理下坡耕地辣椒果实品质
Fig. 4 Quality of pepper fruit in sloping farmland under different treatments

100SC、150SC 和 200SC 处理与 CF 差异显著。说明适量施用矿物质调理剂可有效降低辣椒果实硝酸盐含量,提高食用安全性。

2.6 坡耕地辣椒果实养分含量

由表 4 可知,与 CF 处理相比,50SC、100SC、150SC 和 200SC 处理辣椒果实全氮含量分别提高 7.76%、8.55%、7.26% 和 6.94%,其中 50SC、100SC 和 150SC 处理与 CF 差异显著。而增施矿物质调

剂处理的辣椒果实全磷和全钾含量与 CF 处理差异不显著。说明适量增施矿物质调理剂可显著提高辣椒果实对氮素的吸收。

2.7 相关性分析

由表 5 可知,辣椒产量与株高、单果质量、果实横径、果实纵径、可溶性糖含量和果实氮含量呈极显著正相关,与叶片 SPAD 值、果实钾含量呈显著正相关;株高与果实横径、果实纵径、可溶性糖

表4 不同处理下坡耕地辣椒果实养分含量
Table 4 Nutrient content of pepper fruit in sloping farmland under different treatments (g·kg⁻¹)

| 处理 Treatment | w(全氮) Total nitrogen content | w(全磷) Total phosphorus content | w(全钾) Total potassium content |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| CK | 15.94±0.05 d | 3.37±0.06 b | 26.20±0.03 b |
| CF | 17.08±0.19 c | 3.99±0.06 a | 27.09±0.53 a |
| 50SC | 18.41±0.34 ab | 4.19±0.01 a | 27.55±0.29 a |
| 100SC | 18.54±0.03 a | 4.08±0.29 a | 27.77±0.07 a |
| 150SC | 18.32±0.25 ab | 3.96±0.04 a | 27.61±0.03 a |
| 200SC | 18.27±0.44 bc | 3.77±0.12 ab | 27.22±0.10 a |

含量、果实氮含量呈极显著正相关;叶片 SPAD 值与单果质量、可溶性糖含量、果实氮含量、果实钾含量呈极显著正相关;单果质量与果实横径、果实纵径、可溶性糖含量呈极显著正相关。

2.8 坡耕地辣椒经济效益

由表 6 可知,与 CF 处理相比,50SC、100SC、150SC、200SC 处理坡耕地辣椒净增收益分别提高 74.46%、93.75%、121.30%和 99.18%,产投比分别提高 26.44%、30.47%、37.74%和 28.22%。说明增施矿

表5 各指标间的相关性分析
Table 5 Correlation analysis between different index

| 指标 Index | 产量 Yield | 株高 Plant height | 叶片 SPAD 值 Leaf SPAD value | 单果质量 Single fruit mass | 果实横径 Fruit transverse diameter | 果实纵径 Fruit vertical diameter | 维生素 C 含量 Vitamin C content | 可溶性糖含量 Soluble sugar content | 硝酸盐含量 Nitrate content | 果实氮含量 Fruit N content | 果实磷含量 Fruit P content | 果实钾含量 Fruit K content |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 产量 Yield | 1 | | | | | | | | | | | |
| 株高 Plant height | 0.994** | 1 | | | | | | | | | | |
| 叶片 SPAD 值 Leaf SPAD value | 0.911* | 0.905* | 1 | | | | | | | | | |
| 单果质量 Single fruit mass | 0.928** | 0.892* | 0.923** | 1 | | | | | | | | |
| 果实横径 Fruit transverse diameter | 0.944** | 0.917** | 0.868* | 0.974** | 1 | | | | | | | |
| 果实纵径 Fruit vertical diameter | 0.966** | 0.950** | 0.876* | 0.954** | 0.984** | 1 | | | | | | |
| 维生素 C 含量 Vitamin C content | 0.778 | 0.813* | 0.822* | 0.680 | 0.712 | 0.699** | 1 | | | | | |
| 可溶性糖含量 Soluble sugar content | 0.958** | 0.936** | 0.962** | 0.978** | 0.948** | 0.933 | 0.783 | 1 | | | | |
| 硝酸盐含量 Nitrate content | -0.599 | -0.636 | -0.400 | -0.436 | -0.610 | -0.596 | -0.740 | -0.481 | 1 | | | |
| 果实氮含量 Fruit N content | 0.936** | 0.960** | 0.935** | 0.817* | 0.810 | 0.863* | 0.856* | 0.891* | -0.539 | 1 | | |
| 果实磷含量 Fruit P content | 0.568 | 0.613 | 0.780 | 0.521 | 0.460 | 0.531 | 0.710 | 0.587 | -0.225 | 0.793 | 1 | |
| 果实钾含量 Fruit K content | 0.844* | 0.874* | 0.930** | 0.775 | 0.767 | 0.807 | 0.903* | 0.838* | -0.548* | 0.952* | 0.900 | 1 |

注:*表示在 0.05 水平显著相关,**表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: * represents significant correlation at 0.05 level, ** represents extremely significant correlation at 0.01 level.

表6 不同处理下坡耕地辣椒经济效益
Table 6 Economic benefit of pepper in sloping farmland under different treatments

| 处理 Treatment | 总产值 Total output/(Yuan·hm ⁻²) | 总投入 Total input/(Yuan·hm ⁻²) | 净增收益 Net benefit/(Yuan·hm ⁻²) | 较 CF+ More than CF+/(Yuan·hm ⁻²) | 产投比 Input-output ratio |
|-----------------|--|---|--|---|---------------------------|
| CK | 59 922.96 | 42 150.00 | 17 772.96 | | 1.42 |
| CF | 70 843.56 | 44 346.00 | 26 497.56 | | 1.60 |
| 50SC | 92 604.60 | 45 846.00 | 46 758.60 | 20 261.04 | 2.02 |
| 100SC | 98 684.88 | 47 346.00 | 51 338.88 | 24 841.32 | 2.08 |
| 150SC | 107 485.32 | 48 846.00 | 58 639.32 | 32 141.76 | 2.20 |
| 200SC | 103 125.12 | 50 346.00 | 52 779.12 | 26 281.56 | 2.05 |

物质调理剂虽然会增加投入成本,但可大幅提高坡耕地辣椒总产值、净增收益和产投比。

3 讨论与结论

已有研究表明,施硅能显著提高辣椒干质量和株高,施钙能有效增加辣椒茎粗,镁元素可间接影响植物光合作用,硒等微量元素能维持植物正常生理代谢^[19-20]。杜加银等^[21]、汪丹等^[22]和陈云峰等^[12]研究发现,施用矿物调理剂能显著提高辣椒的株高与叶片 SPAD 值。在本研究中,与常规施肥处理相比,增施矿物调理剂后辣椒株高与叶片叶绿素相对含量均显著提高,辣椒单果质量、果实横径和果实纵径分别提高 4.00%~29.04%、6.53%~26.63%和 9.07%~19.86%。同时,研究发现辣椒果实性状与辣椒可食部分产量、叶片叶绿素相对含量呈显著或极显著正相关。这可能是由于矿物调理剂富含的钙、镁和硅等中微量元素,可满足坡耕地辣椒生长的营养需求,提高叶片光合效率,促进果实发育,预防生长畸形^[23-24]。

张秉涯等^[25]研究发现,不同用量矿物调理剂能提高花椰菜产量。常彦莉^[26]研究指出,施用矿物调理剂对辣椒产量有显著提升。秦汉俊等^[27]研究表明,常规施复合肥配施生物质灰土壤调理剂 300 kg·667 m²可使辣椒增产 17.3%。在本研究中,与常规施肥相比,增施矿物调理剂的坡耕地辣椒产量增幅达 30.72%~51.72%。这可能是由于施用矿物调理剂能增加土壤养分含量,改善土壤环境,促进辣椒根系生长发育,有效提升植株对病虫害的抗性^[27-30]。在经济效益方面,增施 2250 kg·hm⁻² 矿物调理剂处理产值最高,净增收益和产投比分别较常规施肥提高 121.30%和 37.74%。经方程拟合得出 2 279.82 kg·hm⁻² 为矿物调理剂理论最佳施用量。随着调理剂施用量的进一步增大,会导致增产效果降低及施肥成本增加。因此,适量施用矿物调理剂是实现坡耕地辣椒增产增效的有效途径。

辣椒果实富含维生素 C,其含量不仅影响果实口感,还对辣椒的贮存运输及商品价值具有重要意义^[31],而硝酸盐含量关乎辣椒食用安全性^[32]。朱慧等^[33]研究表明,常规施肥配施土壤调理剂能显著提高番茄维生素 C 和可溶性糖含量。李坤珺等^[34]研究发现,施用土壤调理剂处理的菜心维生素 C 含量较对照处理提高 15.91%。叶绍飞等^[35]研究表明,施用土壤调理剂后白菜维生素 C 含量提高 10.60%~19.70%。沈彦辉等^[9]研究指出,黄瓜施用不同用量

矿物型调理剂后维生素 C 和可溶性糖含量均显著提高。本研究中增施矿物物质调理剂后辣椒果实维生素 C 和可溶性糖含量均有不同程度的提高,硝酸盐含量显著下降,其中 100SC 处理较常规施肥显著降低 32.04%,这与罗洋等^[36]的研究结果相似。可能是由于矿物物质调理剂通过调节土壤养分含量,促进植株氮素代谢与维生素合成,进而降低硝酸盐含量,改善坡耕地辣椒的品质。

综上所述,适量增施矿物物质调理剂能有效促进坡耕地辣椒植株生长,增强叶片光合作用,改善果实农艺性状,同时显著提高辣椒产量与果实品质,实现坡耕地辣椒增产、提质与增收。在本试验条件下,配施 2250 kg·hm⁻² 矿物物质调理剂处理的效果最佳。在实际生产过程中,需根据土壤理化性质、栽培作物品种、种植管理习惯等因素合理调整施用量。

参考文献

- [1] 蒋欠南,睢福庆,周健康,等.新型氮肥对麦套辣椒产量和经济效益的影响[J].核农学报,2025,39(11):2549-2558.
- [2] 邹学校,马艳青,戴雄泽,等.辣椒在中国的传播与产业发展[J].园艺学报,2020,47(9):1715-1726.
- [3] 贾圣青,杨园媛,任苗,等.不同肥料及土壤调理剂对辣椒生长及土壤理化性质的影响[J].黑龙江农业科学,2021(7):24-28.
- [4] 杨文康,曹海霖,杨云飞,等.优化施氮对西南地区露地辣椒氮素利用率及土壤矿质氮残留的影响[J].中国土壤与肥料,2025(5):106-116.
- [5] 秦彦林,石称华,丁振涛,等.土壤调理剂对设施辣椒土壤改良效果研究[J].农业工程技术,2022,42(34):79-81.
- [6] 李国荣,杨建伟,和兰香,等.复混肥配施土壤调理剂对龙椒农艺性状与土壤养分的影响[J].云南化工,2024,51(3):65-69.
- [7] 赵萌萌,冯俊义,黄震,等.煤基与生物腐植酸配施对土壤结构改良的影响[J].农业资源与环境学报,2024,41(1):83-91.
- [8] 王长生,沈普翠,王亚坤,等.有机肥配施不同土壤调理剂在辣椒连作上的示范效果[J].基层农技推广,2024,12(10):39-42.
- [9] 郑剑超.化肥减量配施菌肥和黄腐酸肥对辣椒生长与肥料利用率的影响[J].中国瓜菜,2022,35(12):58-63.
- [10] 刘建国,李颖,邓冬梅,等.土壤调理剂对土壤理化性质及韭菜品质的影响[J].中南农业科技,2023,44(4):20-24.
- [11] 王薇薇,梅淼,吴永成,等.土壤改良剂和调理剂对设施辣椒产量及土壤性状的影响[J].长江蔬菜,2024(8):26-28.
- [12] 陈云峰,蔡峰,刘然,等.有机肥和土壤调理剂在蔬菜上的应用效果试验[J].湖北农业科学,2016,55(16):4107-4109.
- [13] 谢梅香,金秋,赵广举,等.坡耕地顺坡非均匀施肥对氮磷迁移及玉米生长的影响[J].水土保持研究,2024,31(6):207-212.
- [14] 武佳龙,迟铭,高燕,等.施加生物炭对黑土区坡耕地土壤主要理化指标的动态影响[J].浙江农业学报,2024,36(9):2060-2069.
- [15] 白鑫,廖劲杨,胡红,等.保护性耕作对水土保持的影响[J].农业工程,2020,10(8):76-82.

- [16] 安瞳昕,贺佳,杨友琼,等.坡耕地甜玉米地膜覆盖间作模式水土保持效应[J].水土保持通报,2014,34(1):31-33.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 刘洋,王艳群,孙建敏,等.不同施肥调控措施对设施番茄产量、养分利用及品质的影响[J].安徽农业科学,2024,52(22):147-150.
- [19] 沈彦辉,胡璋健,赵冬梅,等.矿物型土壤调理剂用量对设施黄瓜生长、品质及土壤性状的影响[J].中国瓜菜,2023,36(8):33-41.
- [20] 孙蓟锋,王旭.土壤调理剂的研究和应用进展[J].中国土壤与肥料,2013(1):1-7.
- [21] 杜加银,胡兆平,侯广军,等.微生物土壤调理剂对辣椒生长及产量的影响[J].湖北农业科学,2016,55(22):5781-5783.
- [22] 汪丹,周伟,张阳阳,等.土壤调理剂对重度镉污染土壤改良及农作物吸收累积镉的影响[J].安徽农业科学,2024,52(2):73-76.
- [23] 杜玉凤,吕乐福,何振全,等.矿物土壤改良剂对酸性红壤改良的影响[J].水土保持学报,2016,30(3):351-354.
- [24] 吴凌云,张明来.花椰菜施用不同土壤调理剂试验初报[J].福建农业科技,2020(2):63-65.
- [25] 张秉涯,吴光明,纪任堂.不同土壤调理剂用量对花椰菜生长及土壤改良的效果试验[J].长江蔬菜,2023(16):78-81.
- [26] 常彦莉.施用 BGA 土壤调理剂对辣椒及土壤理化性质的影响[J].农业科技与信息,2015(1):28-30.
- [27] 秦汉俊,张灿,张晓林,等.生物质灰土壤调理剂在辣椒生产中的应用效果研究[J].肥料与健康,2023,50(6):22-24.
- [28] 涂玉婷,彭智平,黄继川,等.施用不同品种硅钙钾镁肥对香蕉产量、品质及土壤养分的影响[J].中国农学通报,2019,35(4):40-45.
- [29] 姜晓琳,肖永丰,刘汇东.土壤调理剂的研究与应用进展[J].环境生态学,2024,6(8):105-109.
- [30] 徐敏,张翔,李亮,等.施用土壤调理剂对烤烟生长和产量及品质的影响[J].现代农业科技,2022(13):1-8.
- [31] 刘月炎,卢囿佐,王健健.低温下增施 CO₂ 对辣椒产量及品质的影响[J].北方园艺,2022(4):33-38.
- [32] 徐金玉,付利波,王伟,等.两种有机物料等 N 和减 N 还田条件下对有机菜心产量、品质和土壤理化性状的影响[J].中国瓜菜,2025,38(10):132-139.
- [33] 朱慧,何颖悦.不同土壤调理剂配施对连作番茄土壤特性和产量与果实品质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(5):104-108.
- [34] 李坤珺,田瑞钧,章乐康,等.土壤调理剂和水溶肥料对土壤理化性质及菜心生长的影响[J].现代农业科技,2025(11):54-57.
- [35] 叶绍飞,刘猛,钟玉芳,等.不同土壤调理剂对浦城长秆白菜产量与品质的影响[J].中国农学通报,2025,41(13):97-100.
- [36] 罗洋,张桂玲,冉秋霞.不同类型改良剂对辣椒产量和品质的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2023,44(3):105-111.