

不同追肥处理对土壤肥力及槟榔芋品质 and 产量的影响

陈瑶瑶¹, 严良文¹, 陈敏¹, 余洁², 刘智成¹, 罗昊¹

(1. 龙岩市农业科学研究所 福建龙岩 364000; 2. 新罗区农业农村局 福建龙岩 364000)

摘要: 以长汀白芽芋为研究对象, 通过大田试验, 研究不同追肥处理对槟榔芋种植土壤肥力及母芋品质和产量的影响。追肥试验设置 4 个处理(CK、T1、T2、T3), 于 6 月与 7 月分两次追肥。传统复合肥的每次施用量从 CK 的 50 kg·667 m² 降至 35 kg·667 m², T1、T2、T3 处理均在减少传统复合肥用量的基础上, 增施高效水溶肥、特种功能肥(菌剂、氨基酸或甲壳素)和微量元素。结果表明, 与 CK 相比, T1、T2 和 T3 处理均能不同程度地提高土壤速效养分含量、有机质含量及土壤酶活性, T1、T2 和 T3 处理均能提高母芋品质指标, 其中 T1 处理的提升效果最为显著, 与 CK 相比, 测定的 13 个品质指标中, T1 处理均有不同程度的提高。相关性分析结果表明, 碱解氮含量与 4 个功能性指标(维生素 C、氨基酸、类黄酮和总酚含量)呈显著正相关, 直链淀粉和支链淀粉含量均与有效磷、速效钾、碱解氮、有机质含量及 pH 呈显著正相关。与 CK 相比, T1、T2 和 T3 处理能够明显提高槟榔芋产量, 增加经济效益。在等量基肥施用的前提下, 综合对比各追肥处理对土壤肥力、母芋品质及产量的综合影响, 明确闽西地区槟榔芋壮苗期和膨果期的最佳追肥方案为 T1 处理, 即复合肥减量 30%, 其中第一次追肥添加志信高钾水溶肥 2.5 kg·667 m²、沃益多微生物菌剂 500 mL·667 m²、微粒硼 100 g·667 m² 和沃家福 500 mL·667 m², 第二次追肥添加志信高钾水溶肥 2.5 kg·667 m²、沃益多微生物菌剂 500 mL·667 m²、甲壳素 1 kg·667 m² 和微粒硼 100 g·667 m²。

关键词: 槟榔芋; 追肥; 土壤肥力; 品质; 产量

中图分类号: S632.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)03-181-07

Effects of different top-dressing treatments on soil fertility, quality and yield of Binglang taro

CHEN Yaoyao¹, YAN Liangwen¹, CHEN Min¹, YU Jie², LIU Zhicheng¹, LUO Hao¹

(1. Longyan Institute of Agricultural Sciences, Longyan 364000, Fujian, China; 2. Xinluo District Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Longyan 364000, Fujian, China)

Abstract: Taking the Changting white bud taro (a local cultivar of *Colocasia esculenta* L.) as the experimental material, a field experiment was conducted to investigate the effects of different top-dressing regimes on soil fertility and on the quality and yield of the mother corm. Four top-dressing treatments (CK, T1, T2 and T3) were designed and applied in two splits in June and July. For every treatment, the conventional compound fertiliser rate per application was reduced from 50 kg·667 m² (CK) to 35 kg·667 m², on this basis, T1, T2 and T3 were supplemented with high-efficiency water-soluble fertiliser, specialty bio-functional fertilisers (microbial inoculants, amino acids or chitosan) and micronutrients, respectively. Compared with CK, T1, T2 and T3 all increased the content of soil available nutrients and organic matter and enhanced soil enzyme activity to varying degrees. All three modified regimes improved the quality indices of the mother corm, with T1 giving the most pronounced enhancement, for the 13 quality parameters determined, T1 showed significant increases compared to CK. Correlation analysis revealed that alkali-hydrolysable N content was significantly positively correlated with four functional indices (vitamin C, amino acid, flavonoid and total phenol content), while both amylose and amylopectin content were significantly positively correlated with available P, available K, alkali-hydrolysable N, organic-matter content and soil pH. Compared to CK, T1, T2 and T3 markedly raised the taro yield and economic benefit. Under the same basal-fertiliser input, comprehensive evaluation of soil fertility, corm quality and yield indicated that the optimum

收稿日期: 2025-06-19; 修回日期: 2025-09-09

基金项目: 福建省科技项目(2023N0062, 2024N0048); 福建省农业农村厅特色现代农业发展专项(闽财农指(2022)2号); 福建省个人科技特派员项目(202335080191)

作者简介: 陈瑶瑶, 女, 副研究员, 主要从事蔬菜育种与栽培研究。E-mail: huanan_1983@163.com

top-dressing strategy for the seedling-strengthening and corm-enlargement stages of taro production in western Fujian is T1 treatment: 30% reduction of compound fertiliser, supplemented at the first top-dressing with 2.5 kg · 667 m⁻² Zhixin high-K water-soluble fertiliser, 500 mL · 667 m⁻² Woyiduo microbial inoculant, 100 g · 667 m⁻² micro-granular boron and 500 mL · 667 m⁻² Wojiafu, and at the second top-dressing with 2.5 kg · 667 m⁻² Zhixin high-K water-soluble fertiliser, 500 mL · 667 m⁻² Woyiduo microbial inoculant, 1 kg · 667 m⁻² chitosan and 100 g · 667 m⁻² micro-granular boron.

Key words: Binlang taro; Top-dressing; Soil fertility; Quality; Yield

槟榔芋(*Colocasia esculenta* L.)为天南星科芋属魁芋类型,是多年生草本植物,既是蔬菜作物,也具有粮食作物的特点。福建是槟榔芋的原产地之一,龙岩市长汀县位于“闽粤赣”三省交界处,得益于充足的水热资源条件,槟榔芋常年种植面积3335 hm²以上,总产量达8万t,产值约5亿元^[1]。近年来,由于农户过度追求槟榔芋产量,加大种植密度,在追施壮苗肥和膨果肥时对化肥的施用量不断增加,过量追施化肥不仅导致肥料利用率降低,还使槟榔芋品质和产量下降,同时增加农业面源污染风险^[2]。

科学施肥是农业发展的必经之路,与普通复合肥相比,水溶性肥料具有养分利用率高、养分含量高、易溶解和肥效快等优点。莫小玉等^[3]研究认为,在基肥等量施用的基础上,追施大量元素水溶肥可促进茄子和黄瓜的生长发育;在妃子笑荔枝和柑橘果树种植期施用微生物菌剂均能增强土壤肥力,改善果实品质^[4-5]。海藻酸水溶肥和氨基酸水溶肥是两种新型功能性有机水溶性肥料,都具有促进生长、改善品质、增加产量和保护生态环境等多种作用。随着人们对环保和食品的重视,有机水溶肥市场需求量将会不断增加。为解决化肥过量以及未科学施肥带来的一系列问题,化肥减量施用及使用有机肥、水溶肥等新型肥料替代化肥成为现代农业发展的必然趋势。

已有相关研究表明,有机肥与无机肥料相结合的施肥模式能够减少污染,并改善土壤生态环境,提高有益微生物的数量和活性及土地养分含量,从而增加作物产量^[6-7]。因此,针对槟榔芋种植过程中出现的过度追肥等问题,笔者以长汀主产区的传统追肥为对照,利用“有机肥+生物菌肥部分替代化肥”和“化肥减施”探索槟榔芋营养优化管理模式,以期当地槟榔芋种植科学合理施肥及菜地土壤改良、实现槟榔芋生产的提质增效目标提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

田间试验于2024年2—10月在长汀县南山镇

严婆田村溢可香公司基地进行,试验采用随机区组设计。于大田条件下开展栽培试验,土壤质地为黏质重壤土,供试土壤基础理化性质为pH 5.23,有机质含量(w,后同)31.47 g · kg⁻¹,全氮含量1.45 g · kg⁻¹,全磷含量0.84 g · kg⁻¹,全钾含量16.48 g · kg⁻¹,碱解氮含量152.65 mg · kg⁻¹,有效磷含量64.80 mg · kg⁻¹,速效钾含量97.63 mg · kg⁻¹。

1.2 材料

供试品种为长汀本地大面积栽培的白芽芋。有机肥由福建御研有限公司提供,总养分含量≥5%,有机质含量≥30%;复合肥由中国阿拉伯化肥有限公司生产,(N+P₂O+K₂O)含量≥45%(15:15:15);硫酸钾由俄罗斯生产,其中K₂O含量≥52%;志信高钾水溶肥由美国普乐康公司生产,其中钾含量为38%;微粒硼由意大利拉塔瑞罗集团生产,其中B含量≥21%;甲壳素由阿坤纳斯集团生产,甲壳素含量≥10%;沃益多微生物菌剂由阿坤纳斯集团生产,为复合微生物菌剂,拥有10个菌族,30多个菌种,活化72 h后活菌总数17~20亿孢子 · mL⁻¹;沃家福由百事达印度有限公司生产,其中有机质含量≥120 g · L⁻¹;罗西尔水溶肥由比利时罗西尔股份有限公司生产,其中N-P₂O-K₂O=15:15:30;根乐施由陕西恒田生物农业有限公司生产,有效菌种为地衣芽孢杆菌,活性菌数≥20亿 · mL⁻¹;凡美乐氨基酸由意大利美特公司生产,其中总氨基酸含量≥230 g · L⁻¹。

1.3 试验设计

试验地每畦带沟1.0 m,长10 m,宽8 m,为1个小区,小畦单行种植,株距35 cm,3次重复,追肥试验分别于2024年6月7日和7月22日进行。每667 m²基施1 t有机肥,50 kg复合肥,追肥处理2次,共设置4个追肥处理,具体见表1,2024年9月15日取土样测定,10月13日收获,其他按正常栽培管理。不同肥料价格具体见表2。

1.4 样品采集及指标测定

收获期,每个小区按照S形法采集0~30 cm土层土壤,分别测定各小区土壤理化性质。采用陈雅涵等^[8]的方法测定土壤总氮含量,采用鲍士旦^[9]的方

表1 不同追肥处理的肥料种类及用量

Table 1 Fertilizer types and application amount of different top-dressing treatments

处理 Treatment	第一次追肥 First top-dressing	第二次追肥 Second top-dressing
CK	复合肥 50 kg·667 m ² Compound fertilizer 50 kg·667 m ²	复合肥 50 kg·667 m ² 和硫酸钾 5 kg·667 m ² Compound fertilizer 50 kg·667 m ² + Potassium sulfate 5 kg·667 m ²
T1	复合肥 35 kg·667 m ² +志信高钾水溶肥 2.5 kg·667 m ² +沃益多微生物菌剂 500 mL·667 m ² +微粒硼 100 g·667 m ² +沃家福 500 mL·667 m ² Compound fertilizer 35 kg·667 m ² + Zhixin high-potassium water-soluble fertilizer 2.5 kg·667 m ² + Woyiduo microbial inoculant 500 mL·667 m ² + Micronized boron 100 g·667 m ² + Wojiafu 500 mL·667 m ²	复合肥 35 kg·667 m ² +志信高钾水溶肥 2.5 kg·667 m ² +沃益多微生物菌剂 500 mL·667 m ² +甲壳素 1 kg·667 m ² +和微粒硼 100 g·667 m ² Compound fertilizer 35 kg·667 m ² + Zhixin high-potassium water-soluble fertilizer 2.5 kg·667 m ² + Woyiduo microbial inoculant 500 mL·667 m ² + Chitin 1 kg·667 m ² + Micronized boron 100 g·667 m ²
T2	复合肥 35 kg·667 m ² +罗西尔水溶肥 2.5 kg·667 m ² 根乐施 1 L·667 m ² +微粒硼 100 g·667 m ² +沃家福 500 mL·667 m ² Compound fertilizer 35 kg·667 m ² + Luoxier water-soluble fertilizer 2.5 kg·667 m ² + Genleshi 1 L·667 m ² + Micronized boron 100 g·667 m ² + Wojiafu 500 mL·667 m ²	复合肥 35 kg·667 m ² +罗西尔水溶肥 2.5 kg·667 m ² +根乐施 1 L·667 m ² +凡美乐氨基酸 1 L·667 m ² 微粒硼 100 g·667 m ² Compound fertilizer 35 kg·667 m ² + Luoxier water-soluble fertilizer 2.5 kg·667 m ² + Genleshi 1 L·667 m ² + Fanmeile amino acid 1 L·667 m ² + Micronized boron 100 g·667 m ²
T3	复合肥 35 kg·667 m ² +志信高钾水溶肥 2.5 kg·667 m ² 根乐施 1 L·667 m ² +微粒硼 100 g·667 m ² +沃家福 500 mL·667 m ² Compound fertilizer 35 kg·667 m ² + Zhixin high-potassium water-soluble fertilizer 2.5 kg·667 m ² + Genleshi 1 L·667 m ² + Micronized boron 100 g·667 m ² + Wojiafu 500 mL·667 m ²	复合肥 35 kg·667 m ² +志信高钾水溶肥 2.5 kg·667 m ² +根乐施 1 L·667 m ² +凡美乐氨基酸 1 L·667 m ² +微粒硼 100 g·667 m ² Compound fertilizer 35 kg·667 m ² + Zhixin high-potassium water-soluble fertilizer 2.5 kg·667 m ² + Genleshi 1 L·667 m ² + Fanmeile amino acid 1 L·667 m ² + Micronized boron 100 g·667 m ²

表2 不同肥料价格目录

Table 2 Price catalogue of different fertilizers

肥料用量 Fertilizer rate	规格 Specification	单价 Price/Yuan
撒可富复合肥 Sakofu 45% (15-15-15) compound fertilizer	50 kg	255.0
硫酸钾 Potassium sulfate	5 kg	20.0
志信高钾水溶肥 Zhixin high-potassium water-soluble fertilizer	2.5 kg	60.0
沃益多微生物菌剂 Woyiduo microbial inoculant	500 mL	60.0
根乐施 Genleshi	1 L	45.0
微粒硼 Micronized boron	100 g	8.0
沃家福 Wojiafu	500 mL	60.0
罗西尔水溶肥 Luoxier water-soluble fertilize(15-15-30)	2.5 kg	42.0
凡美乐氨基酸 Fanmeile amino acid	1 L	70.0
甲壳素 Chitin	1 kg	60.0

法测定土壤总磷、总钾、速效磷、速效钾、有机质和碱解氮含量,参照行业标准测定土壤 pH^[10],采用林先贵^[11]的方法测定脲酶和纤维素酶活性,根据团体标准^[12]测定土壤蔗糖酶活性,参照杨兰芳等^[13]的方法测定土壤过氧化氢酶活性,委托苏州科铭生物技术有限公司采用凯氏定氮法测定槟榔芋粗蛋白含

量;采用苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒分别测定槟榔芋维生素 C(AsA,型号 ASA-1-W)、氨基酸(AA,型号 AA-1-W)、类黄酮(型号 LHT-1-G)、总酚(TP,型号 TP-1-G)、可溶性糖(型号 KT-1-Y)、淀粉(型号 DF-1-Y)、还原糖(型号 HYT-1-Y)、直链淀粉(型号 ZDF-1-Y)、支链淀粉(型号 ZHDF-1-Y)、植物全钙(型号 PQG-1-Z)及粗纤维(型号 CXW-1-Y)含量。非结构性碳水化合物含量通过 KT-1-Y 试剂盒测定的可溶性糖含量与 DF-1-Y 试剂盒测定的淀粉含量相加计算得出。

在成熟期将全部母芋挖出计算产量,单个质量 ≥ 0.8 kg 为大芋,槟榔芋经济效益计算方法:增加收益/(元·667 m²)=比 CK 增产×槟榔芋价格-追肥投入。式中,槟榔芋价格为 5.0 元·kg⁻¹。

1.5 数据分析

采用 WPS Office 2023 和 SPSS Statistics 26.0 软件进行数据统计与差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同追肥处理对槟榔芋土壤肥力的影响

2.1.1 不同追肥处理对槟榔芋土壤理化性质的影响 由表 3 可知,T1、T2 和 T3 处理的槟榔芋土壤 pH 较 CK 分别显著提高了 10.72%、3.87% 和 3.87%,并且 T1 处理显著高于 T2 和 T3 处理;不同处理对土壤养分含量的影响存在显著差异,与 CK

表3 不同处理对土壤理化性质的影响
Table 3 Effects of different treatments on soil physicochemical properties

处理 Treatment	w(全氮) Total N content/ (g·kg ⁻¹)	w(全磷) Total P content/ (g·kg ⁻¹)	w(全钾) Total K content/ (g·kg ⁻¹)	w(有效磷) AP content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) AK content/ (mg·kg ⁻¹)	w(碱解氮) AHN content/ (mg·kg ⁻¹)	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg ⁻¹)	pH
CK	1.37±0.02 c	1.94±0.04 d	15.21±0.25 c	139.57±0.08 d	158.04±0.19 c	144.41±0.56 d	48.59±0.18 c	5.69±0.01 c
T1	1.85±0.03 a	2.17±0.02 a	17.05±0.27 b	185.51±0.29 a	270.82±0.17 a	159.76±0.89 a	56.95±0.37 a	6.30±0.04 a
T2	1.71±0.01 b	2.00±0.02 c	17.10±0.17 b	146.92±0.24 b	174.35±0.33 b	158.12±0.50 b	55.73±0.45 b	5.91±0.03 b
T3	1.81±0.03 a	2.11±0.02 b	17.84±0.16 a	144.62±0.61 c	174.25±0.66 b	155.18±0.44 c	55.87±0.19 b	5.91±0.01 b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

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

相比,T1、T2 和 T3 处理的土壤全氮含量分别显著提高 35.04%、24.82%和 32.12%,全磷含量分别显著提高 11.86%、3.09%和 8.76%,全钾含量分别显著提高 12.10%、12.43%和 17.29%,有效磷含量分别显著提高 32.92%、5.27%和 3.62%,速效钾含量分别显著提高 71.36%、10.32%和 10.26%,碱解氮含量分别显著提高 10.63%、9.49%和 7.46%,有机质含量分别显著提高 17.20%、14.69%和 14.98%。由此可见,追肥处理可以显著改善槟榔芋土壤的理化性质和基础地力。T1 处理较 T2 和 T3 处理均显著提高了有效磷、速效钾、碱解氮和有机质含量,其中有效磷、速效钾和碱解氮含量均表现为 T1>T2>T3,有机质含量表现为 T1>T3>T2。对土壤全氮、全磷、全钾含量进行分析,发现 T1 处理的土壤全氮和全磷含量最高,T3 处理的全钾含量最高。综合来看,追肥处理明显促进槟榔芋根区营养物质积累,提高土壤肥力。

2.1.2 不同追肥处理对槟榔芋土壤酶活性的影响 由表 4 可知,T1、T2 和 T3 处理的土壤脲酶活性无显著差异,但较 CK 分别显著提高 19.05%、28.57%和 4.76%,说明追肥处理有利于脲酶活性提高。在蔗糖酶活性方面,以 T1 处理最高,T3 处理次之,二者较 CK 分别显著提高 159.52%和

表4 不同处理对土壤酶活性的影响
Table 4 Effects of different treatments on soil enzyme activity (U·g⁻¹)

处理 Treatment	脲酶活性 Urease activity	蔗糖酶活性 Sucrase activity	过氧化氢 酶活性 Catalase activity	纤维素 酶活性 Cellulase activity
CK	0.21±0.00 c	4.20±0.07 c	99.43±1.84 c	0.13±0.02 c
T1	0.25±0.00 ab	10.90±0.25 a	120.70±1.32 a	0.32±0.06 a
T2	0.27±0.02 a	4.25±0.08 c	103.71±1.66 b	0.20±0.01 b
T3	0.22±0.00 ab	6.14±0.05 b	104.17±0.90 b	0.14±0.01 c

46.19%,T2 处理高于 CK,但差异不显著。T1 处理的土壤纤维素酶活性最高,显著高于其他处理,T2 处理次之,二者较 CK 分别显著提高 146.15%和 53.85%,T3 处理与 CK 差异不显著。土壤中的过氧化氢酶可以反映土壤微生物活动的强度,各处理较 CK 分别显著提高了 21.39%、4.30%和 4.77%。综合来看,追肥处理不同程度地提高了槟榔芋根区土壤酶活性,其中以 T1 处理效果最好。

2.2 不同追肥处理对槟榔芋母芋功能性品质的影响

由表 5 可知,不同追肥处理对槟榔芋母芋采收期的功能性指标有不同程度的影响,与化肥对照(CK)相比,T1 和 T3 处理显著提高了槟榔芋维生素 C、氨基酸和总酚含量,T2 处理显著提高了槟榔芋维生素 C、类黄酮和总酚含量。

表5 不同处理组合母芋功能性品质的变化
Table 5 Changes in the functional quality of Binglang taro of different treatment combinations

处理 Treatment	w(维生素 C) Vitamin C content/ (μg·g ⁻¹)	w(氨基酸) AA content/ (μg·g ⁻¹)	w(类黄酮) Flavonoids content/ (mg·g ⁻¹)	w(总酚) TP content/ (mg·g ⁻¹)
CK	143.89±12.55 b	553.91±11.71 b	2.18±0.11 b	1.92±0.13 d
T1	170.42±11.39 a	617.03±25.32 a	2.40±0.12 b	2.22±0.10 c
T2	164.81±9.99 a	575.07±13.82 b	3.14±0.11 a	2.94±0.12 a
T3	183.61±8.65 a	616.57±26.74 a	2.33±0.12 b	2.45±0.09 b

由表 6 可知,T1、T2 和 T3 处理的母芋可溶性糖、非结构性碳水化合物和粗纤维含量较 CK 分别显著提高 187.22%、35.23%和 59.38%,54.49%、12.45%和 63.81%,15.24%、20.00%和 65.71%。T1 和 T3 处理的淀粉、直链淀粉、粗蛋白和植物全钙含量较 CK 分别显著提高 49.27%和 63.99%、71.87%和 49.91%、54.03%和 18.35%、94.02%和 43.65%,T2 处理与 CK 在这 4 个指标上均无显著差异;T1 处理的支链淀粉含量显著高于其他处理,

表6 不同追肥处理对母芋营养品质的影响

Table 6 Effects of different topdressing treatments on nutritional quality of Binglang taro

处理 Treat- ment	w(可溶性糖) Soluble sugar content/ (mg·g ⁻¹)	w(淀粉) Starch content/ (mg·g ⁻¹)	w(非结构性 碳水化合物) Non-structural carbohydrates content/(mg·g ⁻¹)	w(还原糖) Reducing sugar content/ (μg·g ⁻¹)	w(直链淀粉) Amylose content/ (mg·g ⁻¹)	w(支链淀粉) Amylopectin content/ (mg·g ⁻¹)	w(植物全钙) Plant total calcium content/ (g·kg ⁻¹)	w(粗蛋白) Crude protein content/ (mg·g ⁻¹)	w(粗纤维) Crude fiber content/%
CK	3.52±0.10 c	89.41±6.52 b	92.93±6.54 c	1 746.07±29.10 a	70.61±13.66 b	352.95±77.42 b	16.06±1.48 c	4.96±0.07 c	1.05±0.03 c
T1	10.11±0.44 a	133.46±7.61 a	143.57±7.30 a	1 830.08±56.02 a	121.36±6.97 a	526.58±0.95 a	31.16±2.18 a	7.64±0.54 a	1.21±0.10 b
T2	4.76±0.16 b	99.74±7.16 b	104.50±7.28 b	1 824.34±121.37 a	79.08±4.91 b	415.72±23.96 b	18.74±1.27 c	5.37±0.20 bc	1.26±0.09 b
T3	5.61±0.90 b	146.62±10.07 a	152.23±9.42 a	1 769.10±23.28 a	105.85±6.48 a	433.31±20.91 b	23.07±1.23 b	5.87±0.37 b	1.74±0.10 a

T2 和 T3 处理与 CK 无显著差异;T1、T2 和 T3 处理的还原糖含量与 CK 差异均不显著。

2.3 槟榔芋母芋品质指标与土壤养分指标间的相关性分析

由表 7 可知,母芋功能性指标与土壤养分含量指标之间存在不同程度的相关性,其中维生素 C 含量与土壤碱解氮含量呈显著正相关,与有机质含量呈极显著正相关;氨基酸含量与土壤有效磷含量、

表7 土壤养分与母芋功能性指标的相关性

Table 7 Correlation between soil nutrients and functional indicators of Binglang taro

指标 Index	维生素 C 含量 Vitamin C content	氨基酸含量 AA content	类黄酮含量 Flavonoids content	总酚含量 TP content
有效磷含量 AP content	0.247	0.523*	-0.051	-0.114
速效钾含量 AK content	0.270	0.553*	-0.080	-0.127
碱解氮含量 AHN content	0.618*	0.610*	0.526*	0.624*
有机质含量 OM content	0.728**	0.698**	0.438	0.604*
pH	0.455	0.649*	0.100	0.113

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

Note: * represents significant correlation at 0.05 level; ** represents extremely significant correlation at 0.01 level. The same below.

表8 土壤养分与母芋品质指标间的相关性

Table 8 Correlation between soil nutrients and quality indexes of Binglang taro

指标 Index	可溶性 糖含量 Soluble sugar content	淀粉 含量 Starch content	非结构性碳 水化合物含量 Non-structural carbohydrates content	还原糖 含量 Reducing sugar content	直链淀 粉含量 Amylose content	支链淀 粉含量 Amylopectin content	植物全 钙含量 Plant total calcium content	粗蛋白 含量 Crude protein content	粗纤维 含量 Crude fiber content
有效磷含量 AP content	-0.072	0.428	0.434	0.381	0.759**	0.813**	-0.215	0.065	-0.157
速效钾含量 AK content	-0.103	0.461	0.465	0.366	0.779**	0.822**	-0.228	0.039	-0.121
碱解氮含量 AHN content	0.480	0.547**	0.619*	0.439	0.639*	0.750*	0.548*	0.605*	0.358
有机质含量 OM content	0.359	0.690*	0.754**	0.454	0.724**	0.718**	0.503*	0.477	0.518*
pH	0.050	0.560*	0.584*	0.432	0.831**	0.858**	0.014	0.205	0.059

速效钾含量、碱解氮含量和 pH 均呈显著正相关,与有机质含量呈极显著正相关;类黄酮含量与土壤碱解氮含量呈显著正相关;总酚含量与土壤碱解氮含量、有机质含量呈显著正相关。

由表 8 可知,母芋品质指标与土壤养分含量指标之间存在不同程度的相关性,其中土壤有效磷含量与直链淀粉和支链淀粉含量呈极显著正相关;土壤速效钾含量与直链淀粉和支链淀粉含量呈极显著正相关;土壤碱解氮含量与非结构性碳水化合物含量、直链淀粉含量、支链淀粉含量、植物全钙含量和粗蛋白含量呈显著正相关,与淀粉含量呈极显著正相关;土壤有机质含量与淀粉含量、植物全钙含量和粗纤维含量呈显著正相关,与非结构性碳水化合物含量、直链淀粉含量、支链淀粉含量呈极显著正相关;pH 与淀粉含量和非结构性碳水化合物含量呈显著正相关,与直链淀粉含量和支链淀粉含量呈极显著正相关。

2.4 不同追肥处理对槟榔芋产量及经济效益的影响

由表 9 可知,T1、T2 和 T3 处理的母芋小区产量和大芋率均显著高于 CK,其中 T1 处理的小区产量和大芋率最高。T1、T2 和 T3 处理的产量较 CK 分别提高 41.55%、16.86%、29.96%,大芋率较 CK 分

表9 不同处理组合对母芋产量的影响
Table 9 Effects of different treatment combinations on Binglang taro yield

处理 Treat- ment	小区面积 Community area/m ²	小区产量 Community yield/kg	大芋率 Large taro rate/%	产量 Yield/ (kg·667 m ²)
CK	80	200.78±17.42 c	70.08±5.09 b	1 673.15
T1	80	284.20±22.49 a	84.79±4.75 a	2 368.38
T2	80	234.62±11.04 b	80.58±3.98 a	1 955.21
T3	80	260.93±9.80 ab	82.08±7.52 a	2 174.46

别显著提高了 14.71、10.50 和 12.00 百分点。

由表 10 可知,肥料投入由大到小的处理分别为 T1、T3、T2 和 CK,增加收益从大到小的处理分别为 T1、T3 和 T2,较 CK 分别增加收益 3 273.15、2 323.55 和 1 271.30 元·667 m²。

表 10 不同处理组合对槟榔芋经济效益的影响
Table 10 Effects of different treatment combinations on the economic benefit of Binglang taro

处理 Treat- ment	产量 Yield (kg·667 m ²)	比 CK+/ More than CK+/ (kg·667 m ²)	追肥投入 Top dressing inputs/ (Yuan·667 m ²)	增加收益 Increase income/ (Yuan·667 m ²)
CK	1 673.15		530.00	
T1	2 368.38	695.23	733.00	3 273.15
T2	1 955.21	282.06	669.00	1 271.30
T3	2 174.46	501.31	713.00	2 323.55

3 讨论与结论

高产和优质是蔬菜作物生产的主要目标,在施用基肥的基础上,合理追肥对蔬菜作物产量的提高和品质的提升至关重要。长期以来,在蔬菜生长发育过程中一般多施用速效性的化学肥料进行追肥,当前经济作物生产上化肥用量过高,农业生态环境健康受到威胁,作物生产力下降,减少化肥投入迫在眉睫,因此研究追肥期施用大量元素水溶肥、微生物菌剂和有机肥水溶肥部分替代化肥对促进经济作物生产及农业可持续发展具有重要意义。

一定浓度的微生物菌肥能够改善土壤肥力,减轻化肥农药使用对环境造成的污染。而土壤的理化性质及养分指标是反映土壤肥力的重要因子,研究土壤指标的变化能够看出微生物菌剂对土壤改善的效果。研究表明,施用微生物菌肥可显著提高土壤脲酶、转化酶和过氧化氢酶活性^[14-17]。有机水溶肥是一种完全溶于水且能被植物高效吸收的多元肥料,在增加土壤养分含量方面具有良好作用^[18-19]。本研究表明,与常规施用化肥(CK)追肥相

比,T1、T2 和 T3 处理均能不同程度地提高土壤速效养分含量、有机质含量及土壤酶活性,其中 T1 处理的有效磷、速效钾、碱解氮、有机质含量及土壤蔗糖酶、过氧化氢酶和纤维素酶活性均最高,这可能是因为沃益多菌剂的解磷、解钾及固氮能力强于根乐施,且沃家福、甲壳素更易促进有机质积累,使肥料协同增效更显著。这与李建欣等^[20]、Li 等^[21]关于优质有机肥能提升土壤有机质含量、特定微生物菌剂可增强土壤酶活性的研究结果相似。

多项研究表明,氮磷钾施用过对蔬菜的产量和品质具有一定的影响,而且还容易造成土壤退化和污染等问题^[22-24],因此,在保障作物经济效益的前提下,开展化肥减量方面的研究已成为当前肥料施用研究的一个热点。合理追肥是保障槟榔芋品质和产量的必要条件之一,夏成鹏等^[25]研究表明,追施不同浓度微肥有利于提高槟榔芋品质,并能有效改善槟榔芋的口感和风味。刘丽等^[26]研究表明,追施海藻水溶肥能促进富士苹果树体生长及提升果实品质。张璘玮等^[27]研究认为,追施一定浓度沼肥能够促进番茄植株生长,提高果实品质。本研究也发现,T1、T2 和 T3 处理能够对母芋功能性指标和品质指标产生显著影响,与上述的研究结果一致。但也有研究表明,不同追肥对果实品质的影响也有一定的差异^[28],郭西智等^[29]研究表明,施用不同种类的有机水溶肥对克瑞森无核葡萄内在品质及风味提升存在差异。本研究表明,T1、T2 和 T3 追肥处理后,T1 处理在测定的 13 个品质指标中较 CK 显著提高了 12 项,T2 处理显著提高了 6 项,T3 处理显著提高了 10 项,说明采用大量元素水溶肥料、微生物菌剂和有机肥水溶肥部分替代化肥进行根施能够不同程度地提高槟榔芋品质,其中以 T1 处理效果最优。

施用微生物菌肥能够提高蔬菜作物如番茄、黄瓜、甘蓝等的产量,增加经济效益^[30-32]。也有研究表明,施用有机水溶肥后可提高番茄和黄瓜产量^[33]。贾娟等^[34]对氨基酸水溶肥、微生物菌剂单施及其配施等处理发现,配施不仅显著提高了松花菜的经济产量,还提升了土壤生物指标,达到了设施蔬菜节本增效的目的。本试验中,施用大量元素水溶肥料、微生物菌肥和有机肥水溶肥部分替代化肥后能够提高槟榔芋产量,T1、T2、T3 处理的产量及大芋率均高于 CK,对于经济收益而言,T1 处理尽管投入高,但产量也高,因此增加收益高于其他处理。

综上所述,在等量基肥施用条件下,综合分析

各处理对土壤肥力维持、母芋品质提升及产量形成的综合效益,确定闽西地区槟榔芋追肥的最优技术为 T1 处理,即在化肥用量较常规施肥减施 30% 的基础上,采用第一次追肥添加志信高钾水溶肥、沃益多微生物菌剂、微粒硼和沃家福,第二次追肥添加志信高钾水溶肥、沃益多微生物菌剂、甲壳素和微粒硼,不仅能有效改善土壤理化性质,还提高了槟榔芋母芋的品质及产量,经济效益显著,可在当地生产中推广应用。

参考文献

- [1] 汪焯康.长汀槟榔芋产业现状及发展探索[J].中国蔬菜,2020(7):12-14.
- [2] 刘春燕.土壤调理剂对槟榔芋产量、重金属含量及土壤改良的影响[J].东南园艺,2021,9(1):1-6.
- [3] 莫小玉,王雨沁,吴晓峰,等.大量元素水溶肥对茄子和黄瓜的增产效果研究[J].上海蔬菜,2021(4):58-59.
- [4] 李务焯,李昊熙,李乐.3种微生物菌剂肥对不同生育时期西瓜生长、果实品质及矿质元素吸收的影响[J].中国瓜菜,2025,38(6):109-114.
- [5] 罗雁馨,曹行行,沈婷婷,等.微生物菌剂对退砂地土壤改良及西瓜品质的调控作用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(11):1-13.
- [6] ALI I, ULLAH S, HE L, et al. Combined application of biochar and nitrogen fertilizer improves rice yield, microbial activity and N-metabolism in a pot experiment[J].PeerJ,2020,8:e10311.
- [7] 王帅帅,潘永鹏,朱瑜,等.不同施肥处理对番茄根际土壤细菌群落的影响[J].西南农业学报,2025,38(5):1105-1116.
- [8] 陈雅涵,谢宗强,薛丽萍.碳氮元素分析仪测试土壤与植物样品的流程优化[J].现代化工,2016,36(4):185-187.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 中华人民共和国农业部.土壤 pH 的测定:NY/T 1377-2007[S].北京:中国农业出版社,2007.
- [11] 林先贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [12] 宁夏化学分析测试协会.土壤蔗糖酶活性的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法:T/NAIA010-2020[S].团体标准,2020.
- [13] 杨兰芳,曾巧,李海波,等.紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性[J].土壤通报,2011,42(1):207-210.
- [14] 许景钢,孙涛,李嵩.我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J].作物杂志,2016(1):1-6.
- [15] 范丙全.我国生物肥料研究与应用进展[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1602-1613.
- [16] 李忠,江立庚,唐荣华,等.连作对花生土壤酶活性、养分含量和植株产量的影响[J].土壤,2018,50(3):491-497.
- [17] TU C, WEI J, GUAN F, et al. Biochar and bacteria inoculated biochar enhanced Cd and Cu immobilization and enzymatic activity in a polluted soil[J]. Environment International, 2020, 137:105576.
- [18] 呼生春,张永飞,张旭东,等.不同水溶肥对土壤养分及红地球葡萄产量和品质的影响[J].北方园艺,2016(10):166-170.
- [19] 曹小闯,李焯锋,吴龙龙,等.有机水溶肥对水稻干物质、氮素积累和转运的影响[J].作物杂志,2020(5):110-118.
- [20] 李建欣,葛桂民,申爱民.菌渣有机肥对设施土壤微生物、酶活性及黄瓜品质和产量的影响[J].中国瓜菜,2022,35(8):57-61.
- [21] LI J, WEN Y C, LI X H, et al. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain[J].Soil and Tillage Research,2018,175:281-290.
- [22] 苏淑仪,周玉玺,周霞.中国蔬菜种植化肥施用强度时空演变及影响因素[J].中国农业大学学报,2022,27(6):248-263.
- [23] 李菊,高程斐,马宁,等.化肥减量配施生物有机肥对松花菜养分吸收及产量的影响[J].华北农学报,2021,36(6):153-162.
- [24] 谢育利,王吉平,苏天明,等.有机肥部分替代化肥对生菜生长及土壤环境的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(5):41-49.
- [25] 夏成鹏,郑修完.施用微肥对槟榔芋品质和产量的影响试验[J].现代农业科技,2009(20):114.
- [26] 刘丽,魏志峰,石彩云,等.海藻水溶肥和黄腐酸水溶肥对富士苹果树体生长及果实品质的影响[J].果树学报,2023,40(5):893-901.
- [27] 张璘玮,伍钧,杨刚,等.猪粪沼液连续定位施用对油菜产量及菜籽品质的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(3):562-568.
- [28] 于会丽,谢宁,徐国益,等.海藻复合物水溶肥对苹果生长和果实品质的影响[J].北方园艺,2023(2):37-42.
- [29] 郭西智,闫威姣,程大伟,等.不同有机水溶肥对‘克瑞森无核’葡萄生长及果实品质的影响[J].江西农业学报,2022,34(6):1-6.
- [30] 王丽丽,朱诗君,狄蕊,等.微生物菌肥菌剂对番茄生长发育和产量品质的影响[J].土壤与作物,2022,11(1):88-95.
- [31] 刘赵帆.微生物菌肥替代部分化肥对设施黄瓜生长、品质及产量的影响[J].北方园艺,2022(2):47-53.
- [32] 刘莹,杨岩松,刘晓乐,等.增施微生物菌肥对结球甘蓝产量、品质、抗氧化酶活性及土壤肥力的影响[J].中国农业大学学报,2025,30(6):13-25.
- [33] 岳天,茆学华,程乐乐,等.小分子有机水溶肥对番茄和黄瓜产量和品质的影响[J].浙江农业科学,2021,62(2):330-333.
- [34] 贾娟,李硕,高夕彤,等.氨基酸水溶肥与菌剂配施对松花菜生长及土壤生态特征的作用效果[J].河北农业大学学报,2018,41(1):17-23.