

西双版纳‘台农16号’菠萝园土壤养分与叶片营养、果实品质相关性分析

易小艳, 刘成琴, 赵志平, 杨春霞, 陈彭坤, 刘世红*, 张阳梅*

(云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]以云南省西双版纳地区天然橡胶更新林地中间作的5个‘台农16号’菠萝园为研究对象,测定其土壤理化性质、叶片及果实(果皮、果肉)矿质元素含量和果实内外品质,探究不同菠萝园土壤养分状况差异及其对矿质元素吸收和果实品质的影响,明确限制菠萝优质高产的关键土壤因子,为菠萝园土壤改良和精准施肥提供理论依据。结果表明:供试果园土壤多呈酸性至强酸性,养分状况差异显著且总体养分状况不佳。D果园土壤pH值显著低于其他果园,为强酸性(pH < 4.5),此外土壤中磷、钙为极缺乏,植株生长受到严重抑制,产量与果实可食率显著低于其他果园。但可溶性固形物含量未表现出与产量类似的规律,可能与锌、硼等微量元素含量仍较高相关。养分均衡、有效锌和有效硼供应较充足的B果园,其植株生长势最强,可溶性固形物含量最高。总体而言,土壤pH过低和有效磷、交换性钙的缺乏是限制试验区域内菠萝生长及产量的重要因素,而锌、硼等微量元素则可能是果实品质的核心调控因子。建议生产上应首先通过施用石灰改良强酸性土壤,并重视磷、钾及中微量元素的平衡施用。

[关键词]菠萝;土壤养分;叶片营养;果实品质;相关性分析

中图分类号:S668.3 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)02-0037-09

Correlation Analysis of Soil Nutrients, Leaf Nutrients, and Fruit Quality in the Pineapple Orchard of 'Tainong 16' in Xishuangbanna

YI Xiaoyan, LIU Chengqin, ZHAO Zhiping, YANG Chunxia, CHEN Pengkun, LIU Shihong*,

ZHANG Yangmei*

Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: Five pineapple orchards of 'Tainong No.16' intercropped in the renewed rubber plantations in Xishuangbanna, Yunnan Province were selected as research materials. The soil physical and chemical properties, mineral element contents in leaves and fruits (peel and pulp), as well as internal and external fruit quality were determined. This study aimed to explore the differences in soil nutrient status among different pineapple orchards and their effects on mineral element absorption and fruit quality, identify the key soil factors limiting high-quality and high-yield pineapple production, and provide a theoretical basis for soil improvement and precision fertilization in pineapple orchards. The results showed that The soil in the tested orchard is mostly acidic to strongly acidic, with significant differences in nutrient status and overall poor nutrient status. The pH value of the soil in orchard D is significantly lower than that in other orchards, indicating strong acidity (pH < 4.5). In addition, the soil is extremely deficient in phosphorus and calcium, which severely inhibits plant growth. The yield and fruit edible rate are significantly lower than in other orchards. However, the content of soluble solids did not show a similar pattern to yield, which may be related to the high levels of trace elements such as zinc and boron. Orchard B with balanced nutrients, especially sufficient supply of available zinc (1.68 mg/kg) and available boron, possessed the

收稿日期:2025-11-12

基金项目:云南省热带作物科学研究所热带作物科技创新专项资金(RF2025-21)

作者简介:易小艳(1986—),女,助理研究员,硕士,研究方向为热带果树栽培与育种。E-mail:yixiaoyan86@163.com

*通信作者:刘世红(1978—),男,研究员,硕士,研究方向为热带水果种质资源保护与栽培技术。E-mail:601286876@qq.com

张阳梅(1978—),女,副研究员,硕士,研究方向为热带果树资源收集和评价。E-mail:yangmeiz66@163.com

strongest plant growth vigor and the highest total soluble solids content (20.07). In general, low soil pH and lack of available phosphorus and exchangeable calcium are important factors limiting the growth and yield of pineapple in the experimental area, while trace elements such as zinc and boron may be the core regulatory factors of fruit quality. In production, lime should be applied first to improve strongly acidic soils, and attention should be paid to the balanced application of phosphorus, potassium and medium and trace elements.

Key words: *Ananas comosus*; soil nutrients; leaf nutrition; fruit quality; correlation analysis

菠萝 [*Ananas comosus* (L.) Merr.] 为世界第三大热带水果, 在全球热带农业生产中占有重要地位^[1-2]。云南省西双版纳天然橡胶种植面积达 31.054 万 hm^2 (截至 2024 年底), 每年有大量橡胶林地面临更新, 其中菠萝作为适宜于幼龄橡胶园间作的作物之一, 具有良好的推广潜力。当地主栽品种‘卡因’菠萝在 12 月至次年 3 月果实酸度较高, 鲜食口感欠佳, 市场接受度有限, 更适用于罐头加工^[2-3]。近年来西双版纳引进‘台农 16 号’菠萝, 该品种由台湾农业试验所嘉义分所于 1995 年杂交选育而成, 果肉纤维少、质地细腻、风味甜醇, 且无需去除芽眼或盐水浸泡即可鲜食, 深受消费者欢迎^[4-5]。得益于优越的气候条件, 云南省西双版纳已成为‘台农 16 号’菠萝的重要产区之一^[6], 种植面积约 133.33 hm^2 , 市场认可度较高。然而, 调查显示不同果园间果实品质差异显著, 直接影响其市场竞争力与规模化推广。

土壤环境作为果树生长的基质, 其酸碱度和矿质养分的供应状况直接决定着植株的营养水平, 并最终影响果实的产量与品质^[7-9]。明确土壤养分状况与菠萝植株营养及果实品质之间的内在联系, 对于指导果园精准施肥、实现优质高效生产具有重要意义。目前菠萝的研究多集中于单一养分元素效应或单一的土壤或植株分析, 缺乏将土壤-叶片-果实作为一个连续体系进行系统性关联的研究, 尤其对于矿质元素在营养器官与生殖器官间的分配及其对最终品质形成的影响尚不明晰。本研究选取 5 个具有代表性的‘台农 16 号’菠萝果园, 通过测定土壤理化性质、叶片养分含量、果实不同部位(果皮、果肉)矿质元素积累量以及果实内外在品质指标, 运用相关性分析揭示各因子间的内在联系。研究结果以期对菠萝果园的土壤改良和

科学施肥提供理论依据, 也为菠萝优质栽培技术的优化提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究对象概况

本次调研于 2023 年 7 月在云南省西双版纳傣族自治州境内 ($100^\circ \sim 101^\circ \text{E}$) 进行, 按纬度梯度自北向南选取了 5 个‘台农 16 号’菠萝种植园作为研究对象, 分别位于勐养镇(A 园)、景洪市(B 园)、勐罕镇(C 园)、景哈乡(D 园)与勐腊县(E 园)产区, 这些园区代表了西双版纳橡胶更新林地的主要菠萝种植区。各园区具体地理位置与海拔如下: A 园 ($22^\circ 3' 37'' \text{N}$, $100^\circ 56' 14'' \text{E}$, 海拔 938.5 m)、B 园 ($22^\circ 0' 54'' \text{N}$, $100^\circ 46' 12'' \text{E}$, 海拔 588 m)、C 园 ($21^\circ 55' 5'' \text{N}$, $101^\circ 4' 48'' \text{E}$, 海拔 805.4 m)、D 园 ($21^\circ 48' 42'' \text{N}$, $100^\circ 55' 15'' \text{E}$, 海拔 537.7 m)、E 园 ($21^\circ 28' 1'' \text{N}$, $101^\circ 34' 57'' \text{E}$, 海拔 617.3 m)。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 样品采集

在果实成熟期, 分别从各果园按照“S”形路线设置 5 个采样点进行样品采集^[10]。每个采样点选取生长均匀的植株, 采集其叶片与果实样本, 其中叶片样品统一选取植株的 D 叶(即最长叶)。土壤样本采集位置位于植株外侧 10 cm 处, 取深度 0—20 cm 的土层, 每株采集 1 个点。将同一果园内 5 个采样点所获得的叶片、果实及土壤样品分别混合均匀, 再采用四分法缩分, 取适量样本用于矿质元素及果实品质指标的测定。

1.2.2 土壤养分含量测定

样品制备及各项指标测定均依据国家及行业标准进行, 具体方法如下: 土壤样品制备参照 LY/T 1210—1999; pH 值采用 NY/T 1377—2007 方

法测定;有机质含量依据 NY/T 1121.6—2006 进行测定;水解氮参考 LY/T 1228—2015 方法;有效磷参照 LY/T 1232—2015 测定;速效钾依据 LY/T 1234—2015 测定;交换性钙和镁按 NY/T 1121.13—2006 方法测定;有效锌含量参考 LY/T 1261—1999 测定;有效硼依据 LY/T 1258—1999 方法测定。

1.2.3 叶片和果实养分含量测定

果实的果肉与果皮分开制样,果皮采用烘干法后粉碎,果肉采用冻干法粉碎。植物样品中全氮、全磷及全钾含量的测定分别参考 NY/T 2017—2011、DB 43/T 2139—2021(连续流动分析法)及 YC/T 161—2002(连续流动法)进行;全钙、全镁和全锌含量的测定依据《食品安全国家标准》相关方法,包括 GB 5009.92—2016、GB 5009.241—2017、GB 5009.14—2017 及 GB 5009.268—2016;全硼含量根据行业标准 LY/T 1273—1999 进行测定。

1.2.4 果实品质指标测定

参照《热带作物种质资源描述规范 菠萝》中的相关标准对菠萝果实及植株性状进行系统测定。采用电子天平测定果实(不含冠芽)、果肉、

冠芽及果汁质量;使用游标卡尺测量果实纵径、横径、冠芽长度、果颈长度、果肉厚度及果心直径;采用卷尺测定D叶的长度与宽度。通过目测方式记录果实基部的瘤状物数量(记为果基果瘤数)、果柄及果实基部的芽数(记为裔芽数)以及地上茎叶腋处芽的数量(记为吸芽数)。果形指数=果实纵径/果实横径;可食率=(果肉质量/果实质量)×100%;果汁含量=(果汁质量/果肉质量)×100%。可溶性固形物含量使用折光仪(梅特勒-托利多,30PX)进行测定。可滴定酸含量参照国家标准 GB/T 12456—2021,采用酸碱滴定法测定。固酸比=可溶性固形物含量/可滴定酸含量。

1.3 数据分析

基于已有研究建立的菠萝园养分评价标准^[11-13],对本研究中各调查地块的土壤养分指标逐一进行一般性等级评定,具体分级标准见表1。

所有数据使用 Excel 2016 进行整理,并导入 SPSS 22.0 进行统计分析,组间差异显著性采用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行检验,显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。

表1 菠萝园土壤养分丰缺划分标准

指标	有机质/ (g·kg ⁻¹)	水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	交换性钙/ (mg·kg ⁻¹)	交换性镁/ (mg·kg ⁻¹)	有效锌/ (mg·kg ⁻¹)	有效硼/ (mg·kg ⁻¹)	pH
丰富	>40	>150	>200	>40	>1000	>300	>3.0	>2.0	>8.5
较丰富	>30~40	>120~150	>150~200	>20~40					>7.5~8.5
中等	>20~30	>90~120	>100~150	>10~20	>700~1000	>200~300	>1.0~3.0	>1.0~2.0	>6.5~7.5
较缺乏	>10~20	>60~90	>50~100	>5~10	>500~700	>100~200	>0.5~1.0	>0.5~1.0	>5.5~6.5
缺乏	6~10	30~60	30~50	3~5	300~500	50~100	0.3~0.5	0.2~0.5	4.5~5.5
极缺乏	<6	<30	<30	<3	<300	<50	<0.3	<0.2	<4.5

注:土壤酸碱度按 pH 值由高到低依次代表强碱性、碱性、中性、弱酸性、酸性、强酸性。

2 结果与分析

2.1 不同菠萝果园土壤酸碱性和养分状况

土壤养分含量的显著性差异分析结果见表2,5个果园间土壤养分水平相差较大,存在显著性差异,B园总体养分状况优于其他果园。养分分级结果显示(表3),5个果园土壤皆为酸性,土壤中速效钾、交换性钙、交换性镁、有效硼均为较缺乏及以下水平。此外A、B果园土壤水解氮水

平为较缺乏;C、D、E果园土壤有效磷水平为较缺乏;除B果园外,所有果园中有效锌均为较缺乏及以下水平。

2.2 不同果园内菠萝叶片、果实养分状况

菠萝叶片养分含量如表4所示,其中A果园叶片氮、钙、镁及硼含量均居首位,磷、钾处于中等水平。B、C果园叶片钾含量显著高于其他果园(B果园最高,C果园次之),且磷、锌含量也处于较高水平,但氮、钙含量相对较低。D、E果园

叶片养分含量普遍处于较低水平,其中D园叶片磷、钙、镁含量均为最低,E果园叶片锌含量最低。D果园为强酸性土壤环境,可能对养分的吸收利用产生了全面抑制。

表 2 5 个 ‘台农 16 号’ 菠萝果园的土壤 pH 和养分含量

果园	pH	有机质/ (g · kg ⁻¹)	水解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	交换性钙/ (mg · kg ⁻¹)	交换性镁/ (mg · kg ⁻¹)	有效锌/ (mg · kg ⁻¹)	有效硼/ (mg · kg ⁻¹)
A	4.53±0.01 ^c	23.07±0.16 ^b	75.04±2.87 ^c	13.09±0.04 ^b	30.19±1.12 ^c	132.87±4.47 ^b	18.42±0.44 ^b	0.40±0.02 ^c	0.22±0.01 ^b
B	4.58±0.02 ^b	22.49±0.00 ^c	86.63±0.97 ^d	20.42±0.39 ^a	88.60±1.50 ^b	308.09±6.68 ^a	41.19±2.77 ^a	1.68±0.35 ^a	0.75±0.01 ^a
C	4.71±0.01 ^a	37.10±0.19 ^a	109.25±1.30 ^b	9.17±0.41 ^c	35.85±0.30 ^d	102.91±2.36 ^c	7.25±0.02 ^e	0.63±0.15 ^b	0.16±0.00 ^d
D	4.24±0.02 ^e	21.68±0.01 ^d	126.18±1.96 ^a	1.13±0.03 ^e	44.38±1.65 ^e	50.37±1.40 ^e	7.80±0.13 ^c	0.46±0.01 ^c	0.19±0.00 ^e
E	4.47±0.01 ^d	14.65±0.10 ^e	98.55±0.96 ^c	3.61±0.07 ^d	52.38±1.12 ^b	69.68±0.53 ^d	18.51±0.26 ^b	0.28±0.01 ^d	0.12±0.01 ^e

注: 同列不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05), 下同。

表 3 5 个 ‘台农 16 号’ 菠萝果园的土壤 pH 与养分分级

果园	pH	有机质	水解氮	有效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁	有效锌	有效硼
A	酸性	中等	较缺乏	中等	缺乏	极缺乏	极缺乏	缺乏	缺乏
B	酸性	中等	较缺乏	较丰富	较缺乏	缺乏	极缺乏	中等	较缺乏
C	酸性	较丰富	中等	较缺乏	缺乏	极缺乏	极缺乏	较缺乏	极缺乏
D	强酸性	中等	较丰富	极缺乏	缺乏	极缺乏	极缺乏	缺乏	极缺乏
E	强酸性	较缺乏	中等	缺乏	较缺乏	极缺乏	极缺乏	缺乏	极缺乏

表 4 5 个果园内 ‘台农 16 号’ 菠萝叶片养分含量

果园	氮/(g · kg ⁻¹)	磷/(g · kg ⁻¹)	钾/(g · kg ⁻¹)	钙/(g · kg ⁻¹)	镁/(g · kg ⁻¹)	锌/(mg · kg ⁻¹)	硼/(mg · kg ⁻¹)
A	20.68±0.40 ^a	1.32±0.01 ^b	15.83±0.20 ^d	11.19±0.06 ^a	4.56±0.04 ^a	13.72±0.01 ^c	28.28±0.20 ^a
B	12.51±0.02 ^c	1.48±0.03 ^a	27.97±0.19 ^a	5.41±0.14 ^c	3.44±0.02 ^c	19.76±0.74 ^a	26.06±0.18 ^b
C	9.62±0.04 ^d	1.32±0.02 ^b	24.20±0.07 ^b	7.19±0.01 ^b	2.32±0.01 ^d	15.81±0.86 ^b	14.16±0.26 ^c
D	16.52±0.31 ^b	1.10±0.00 ^e	20.35±0.04 ^c	2.19±0.05 ^e	2.13±0.04 ^e	8.95±0.44 ^d	9.16±0.36 ^e
E	17.00±0.32 ^b	1.25±0.05 ^b	14.76±0.11 ^e	4.13±0.08 ^d	3.69±0.04 ^b	10.81±0.09 ^d	11.05±0.12 ^d

菠萝果皮养分含量见表 5, D、E 果园果皮锌含量显著高于其他果园, 且磷含量处于较高水平 (E 果园最高), 钾含量变异较大 (E 果园较高、D 果园最低)。C 果园果皮磷、钙含量均居首位, 镁含量也处于较高水平, 但锌含量为最低。B 果园果皮

钙、镁含量均较高 (钙仅次于 C 果园, 镁最高), 氮、磷、钾等大量元素处于中等水平, 养分分配相对均衡。A 果园果皮钾含量最高, 硼含量与其他果园无显著差异, 但钙含量处于较低水平。

表 5 5 个果园内 ‘台农 16 号’ 菠萝果皮养分含量

果园	氮/(g · kg ⁻¹)	磷/(g · kg ⁻¹)	钾/(g · kg ⁻¹)	钙/(g · kg ⁻¹)	镁/(g · kg ⁻¹)	锌/(mg · kg ⁻¹)	硼/(mg · kg ⁻¹)
A	4.52±0.13 ^b	1.47±0.06 ^b	17.83±0.41 ^a	1.83±0.04 ^c	0.64±0.03 ^b	10.13±0.02 ^b	12.39±0.15 ^a
B	5.27±0.17 ^{ab}	1.65±0.09 ^{ab}	16.02±0.26 ^b	2.56±0.02 ^b	0.83±0.02 ^a	9.28±0.06 ^c	13.18±0.48 ^a
C	5.36±0.05 ^{ab}	1.85±0.02 ^a	15.36±0.10 ^b	2.99±0.07 ^a	0.75±0.02 ^{ab}	6.26±0.38 ^d	12.73±0.11 ^a
D	6.11±0.04 ^a	1.58±0.08 ^{ab}	13.74±0.05 ^c	1.59±0.01 ^d	0.69±0.02 ^b	11.50±0.02 ^a	10.59±0.30 ^a
E	5.84±0.54 ^{ab}	1.86±0.06 ^a	17.11±0.05 ^a	1.71±0.03 ^{cd}	0.69±0.02 ^b	12.03±0.17 ^a	12.14±1.03 ^a

菠萝果肉养分含量见表 6, D 果园果肉氮、磷、钾、锌含量均居首位或前列, 镁含量处于较高水平, 仅钙、硼含量偏低。C 果园果肉钙、镁含量均

为最高, 钾含量较高, 但氮、锌含量显著低于其他果园。A、B、E 果园果肉各养分含量多处于中等或偏低水平。其中 A 果园各指标相对均衡; B 果

园钾、镁含量较低;E果园除硼含量最高外,其余元素均不突出。

2.3 不同果园内‘台农16号’菠萝品质分析

2.3.1 外在品质

由表7可知,B、C果园营养生长旺盛,植株地上部生长势最强。冠芽长度以B果园(191.41 mm)和C果园(174.22 mm)显著最长;果瘤数亦以B果园(2.78个)和C果园(2.67个)显著多于其他果园。B果园D叶长度最大(95.87 cm),C果园D

叶宽度最宽(6.04 cm)且冠芽最重(112.24 g),均显著高于其余果园。D果园果实整体偏小,纵径(107.71 mm)、横径(95.22 mm)及单果重(663.51 g)均显著低于其他果园;但果颈最长(28.07 mm)、裔芽数最多(6.89个),冠芽长度最短(117.77 mm)。A、E果园吸芽数最多,分别为4.14个和4.00个,显著高于C果园(1.89个),果实性状多处于中等水平,其中冠芽长度显著低于B、C果园。

表6 5个果园内‘台农16号’菠萝果肉养分含量

果园	氮/(g·kg ⁻¹)	磷/(g·kg ⁻¹)	钾/(g·kg ⁻¹)	钙/(g·kg ⁻¹)	镁/(g·kg ⁻¹)	锌/(mg·kg ⁻¹)	硼/(mg·kg ⁻¹)
A	5.35±0.24 ^a	0.72±0.02 ^b	9.93±0.05 ^b	0.68±0.03 ^{bc}	1.07±0.00 ^b	10.36±0.08 ^b	7.38±0.13 ^{ab}
B	5.53±0.79 ^a	0.77±0.02 ^b	7.02±0.40 ^c	0.60±0.02 ^c	0.82±0.03 ^b	9.53±0.39 ^b	7.83±0.09 ^{ab}
C	2.38±1.78 ^b	0.77±0.01 ^b	11.64±0.01 ^a	1.10±0.03 ^a	1.26±0.02 ^a	8.00±0.31 ^c	7.34±0.30 ^{ab}
D	7.92±0.13 ^a	1.01±0.08 ^a	11.70±0.22 ^a	0.69±0.03 ^{bc}	1.07±0.03 ^b	14.02±0.07 ^a	6.37±0.22 ^b
E	5.99±0.13 ^a	0.85±0.03 ^b	11.12±0.28 ^a	0.76±0.04 ^b	0.93±0.02 ^c	10.50±0.08 ^b	9.39±0.90 ^a

表7 5个果园‘台农16号’菠萝的外在品质与生长指标

果园	果实质量/g	果实纵径/mm	果实横径/mm	果形指数	冠芽质量/g	冠芽长/mm
A	863.67±72.01 ^a	148.59±5.45 ^a	100.67±2.64 ^a	1.47±0.03 ^a	92.73±4.85 ^b	141.06±3.55 ^b
B	881.02±25.30 ^a	152.65±3.92 ^a	104.81±1.50 ^a	1.46±0.03 ^a	94.63±5.54 ^b	191.41±8.67 ^a
C	884.88±51.05 ^a	155.07±4.25 ^a	103.47±2.31 ^a	1.50±0.03 ^a	112.24±4.88 ^a	174.22±7.22 ^a
D	663.51±27.30 ^b	107.71±2.27 ^c	95.22±1.33 ^b	1.13±0.03 ^c	71.73±3.27 ^c	117.77±4.56 ^c
E	861.44±38.86 ^a	128.19±2.74 ^b	104.48±0.98 ^a	1.23±0.02 ^b	77.50±5.41 ^c	146.06±5.32 ^b

果园	果颈长/mm	果瘤数	D叶长/cm	D叶宽/cm	裔芽数	吸芽数
A	25.61±0.81 ^{ab}	0.56±0.24 ^b	76.00±0.97 ^b	5.48±0.16 ^b	5.71±0.64 ^{ab}	4.14±0.55 ^a
B	23.23±0.97 ^b	2.78±0.28 ^a	95.87±1.48 ^a	5.44±0.06 ^b	5.89±0.39 ^{ab}	2.44±0.29 ^{ab}
C	19.23±0.66 ^c	2.67±0.24 ^a	79.86±1.24 ^b	6.04±0.13 ^a	4.11±0.48 ^b	1.89±0.20 ^b
D	28.07±1.90 ^a	0.78±0.22 ^b	78.92±0.97 ^b	5.66±0.16 ^b	6.89±0.51 ^a	3.33±0.65 ^{ab}
E	26.51±1.21 ^{ab}	1.22±0.22 ^b	66.52±1.18 ^c	5.07±0.06 ^c	5.44±0.50 ^{ab}	4.00±0.62 ^a

2.3.2 内在品质

由表8可知,B果园可溶性固形物含量最高(20.07%),显著高于其他4个果园;可食率(68.67%)显著高于A和D果园;果肉厚度(31.44 mm)与C果园并列最高,显著高于D、E果园。风味品质突出,固酸比(31.61)与最高的A果园(35.96%)无显著差异。A果园可滴定酸含量最低(0.52%),显著低于其余果园;固酸比最高(35.96),显著高于C、D、E果园;果汁含量最高(63.10%),显著高于C果园;果心直径最小(24.17 mm),显著低于C、E果园。C果园果肉厚度

(30.76 mm)与B园并列最高,显著高于D、E果园;可食率(66.01%)显著高于A、D果园;但果心直径大(27.63 mm),显著高于A园;果汁含量最低(53.97%),显著低于A园。D果园可食率最低(59.80%),显著低于其他四个果园;果肉厚度(26.13 mm)显著低于B、C园;可溶性固形物含量(18.60%)、固酸比(27.16)均处于较低水平。E果园可食率(65.89%)显著高于A、D果园,但果肉厚度(27.95 mm)显著低于B、C果园;果心直径(29.01 mm)显著大于A果园;固酸比(29.02)显著低于A果园。

表 8 5 个果园 ‘台农 16 号’ 菠萝的内在品质

果园	果心直径/mm	果肉厚度/mm	可食率/%	果汁含量/%	可溶性固形物含量/%	可滴定酸/%	固酸比
A	24.17±0.81 ^b	28.75±1.08 ^{ab}	62.60±0.72 ^b	63.10±1.60 ^a	18.46±0.56 ^b	0.52±0.02 ^b	35.96±1.98 ^a
B	25.87±1.19 ^{ab}	31.44±0.78 ^a	68.67±1.15 ^a	56.99±1.68 ^{ab}	20.07±0.42 ^a	0.64±0.03 ^a	31.61±1.55 ^{ab}
C	27.63±0.67 ^a	30.76±0.91 ^a	66.01±0.87 ^a	53.97±1.74 ^b	17.51±0.40 ^b	0.63±0.02 ^a	28.36±1.24 ^b
D	25.68±0.71 ^{ab}	26.13±0.74 ^b	59.80±0.81 ^c	59.39±2.93 ^{ab}	18.60±0.46 ^b	0.69±0.01 ^a	27.16±0.85 ^b
E	29.01±0.92 ^a	27.95±0.43 ^b	65.89±1.21 ^a	58.83±2.31 ^{ab}	17.20±0.41 ^b	0.62±0.05 ^a	29.02±2.29 ^b

2.4 土壤养分与生长、叶片养分的相关性

由表 9 可知,土壤 pH 与叶片磷、锌含量呈显著正相关。土壤有机质含量与叶片氮含量呈显著负相关,与 D 叶宽呈极显著正相关。土壤水解氮含量与叶片磷、钙、镁、硼含量呈显著或极显著负相关。土壤有效磷含量与 D 叶长,叶片磷、锌、

硼含量均呈极显著正相关。土壤交换性钙含量与 D 叶长,叶片磷、钾、锌、硼含量呈显著或极显著正相关;交换性镁含量与叶片磷、锌、硼含量亦呈显著正相关。有效锌含量与 D 叶长,叶片钾、锌含量均呈极显著正相关;有效硼含量与 D 叶长、叶片锌含量呈极显著正相关,与叶片磷、钾含量呈显著正相关。

表 9 土壤养分与生长、叶片养分的相关性

项目	pH	有机质	水解氮	有效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁	有效锌	有效硼
裔芽数									
吸芽数									
D 叶长				0.849**		0.779*		0.827**	0.729**
D 叶宽		0.844**							
叶片氮		-0.670*							
叶片磷	0.754*		-0.710*	0.915**		0.867**	0.764*	0.812*	0.730*
叶片钾						0.685*		0.868**	0.737*
叶片钙			-0.762*						
叶片镁			-0.919**						
叶片锌	0.756*			0.921**		0.886**	0.685*	0.881**	0.780**
叶片硼				0.886**		0.741*	0.654*		

注: *表示显著相关, $P < 0.05$; **表示极显著相关, $P < 0.01$, 下同。

2.5 土壤养分与果实品质和养分的相关性

2.5.1 土壤养分与果实品质的相关性

由表 10 可知,土壤 pH 与果实品质指标的相关性最广,与果实纵径、果形指数、果肉厚度均极显著正相关,与冠芽长、冠芽质量、可食率呈显著正相关。土壤有机质含量与冠芽质量呈极显著正相关,与果形指数呈显著正相关。土壤水解氮含量仅与可滴定酸含量呈显著正相关,与其他品质指标无显著关联。土壤有效磷含量与冠芽长、果形指数呈显著正相关。交换性钙含量与冠芽长呈显著正相关。有效锌含量与冠芽长、果实纵径、果形指数、果肉厚度、可溶性固形物含量、果瘤数量均呈显著正相关;有效硼含量与果实纵

径、果肉厚度、可溶性固形物含量、果瘤数量呈显著正相关。土壤速效钾、交换性镁含量与所有果实品质指标均无显著相关性。

2.5.2 土壤养分与果实养分的相关性

由表 11 可知,土壤 pH 与果实矿质元素表现出明显的部位特异性,它与果肉氮、磷、锌含量均呈极显著负相关,与果皮钙、硼含量呈极显著正相关,与果皮锌含量呈极显著负相关。土壤有机质含量与果肉钙、镁、果皮钙含量呈显著或极显著正相关,与果肉氮、果皮锌含量呈显著或极显著负相关。土壤水解氮含量与果肉磷、钾、果皮氮含量呈显著或极显著正相关,与果皮钾含量呈极显著负相关。土壤有效磷含量与果肉钾含量

呈极显著负相关,与果肉磷含量呈显著负相关,但与果皮硼含量呈显著正相关。土壤速效钾含量与果肉钾、镁含量呈极显著负相关,与果皮镁含量呈极显著正相关。交换性钙含量与果肉钾含量呈极显著负相关,与果皮镁含量呈显著正相

关;交换性镁含量与果肉钾、镁含量呈极显著负相关。土壤有效锌与果肉钾含量呈极显著负相关,与果皮镁含量呈极显著正相关。土壤有效硼与果肉钾含量呈极显著负相关,与果肉镁含量显著负相关,与果皮镁含量呈显著正相关。

表 10 土壤养分与果实品质的相关性

项目	pH	有机质	水解氮	有效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁	有效锌	有效硼
果实质量									
冠芽质量	0.653*	0.835**							
可食率	0.651*								
果汁含量									
冠芽长	0.756*			0.673*		0.637*		0.621*	
果颈长									
果实纵径	0.797**							0.628*	0.550*
果实横径									
果形指数	0.858**	0.709*		0.695*				0.557*	
果心直径									
果肉厚度	0.767**							0.620*	0.525*
可溶性固形物含量								0.603*	0.595*
可滴定酸含量			0.700*						
固酸比									
果瘤数量								0.653*	0.568*

表 11 土壤养分与果实矿质元素的相关性

项目	pH	有机质	水解氮	有效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁	有效锌	有效硼
果肉氮	-0.890**	-0.743*							
果肉磷	-0.825**		0.756*	-0.704*					
果肉钾			0.635*	-0.890**	-0.790**	-0.961**	-0.952**	-0.895**	-0.942**
果肉钙		0.762*							
果肉镁		0.743*			-0.826**		-0.841**		-0.680*
果肉锌	-0.988**								
果肉硼									
果皮氮			0.768**						
果皮磷									
果皮钾			-0.872**						
果皮钙	0.843**	0.808**							
果皮镁					0.772**	0.704*		0.865**	0.733*
果皮锌	-0.803**	-0.945**							
果皮硼	0.801**			0.706*					

3 讨论

土壤条件是作物生长发育的基础^[14],其酸碱性^[15]和养分^[16]丰缺状况影响植株对矿质元素的吸收、转运与分配,最终导致生长和果实品质的

差异。本研究表明,不同菠萝果园的土壤 pH 和养分状况差异显著,并与植株的生长势、叶片养分含量及果实品质表现高度关联。B 果园土壤综合养分状况相对最佳,其植株地上部生长势最

强,果实可溶性固形物含量达20.07%,显著高于其他果园。相反,D、E果园土壤呈强酸性($\text{pH} < 4.5$),且有效磷、有机质、交换性钙镁和有效硼处于极缺水平,其植株生长受到明显抑制,D果园单果重仅663.51 g,可食率低至59.80%。这印证了土壤基础条件对菠萝营养生长和产量形成的决定性作用。本研究中各果园的土壤有机质含量变异显著,并普遍呈现矿质养分匮乏的状况。这一现象或可归因于研究区(天然橡胶林更新地)的菠萝种植管理较为粗放,未能及时有效地补充作物所需的矿质养分。

土壤pH是影响养分有效性的关键因子^[17],调控植物的养分吸收效率。本研究中,土壤pH与叶片磷、锌含量呈显著正相关,与果实纵径、果肉厚度等多个果实性状呈极显著正相关。已有研究表明,酸性土壤会限制磷、钙、镁及微量元素的有效性,抑制作物生长发育^[18-20]。故本文中土壤酸性最强的D果园中土壤速效磷与交换性钙含量、果实质量均最低。值得关注的是,在强酸性胁迫下,D、E果园果皮中的氮、锌含量高于其他果园,呈现“氮锌富集型”特征。这种以牺牲营养生长为代价的分配模式,最终导致了果实产量和品质的双重下降。

土壤有效磷、交换性钙、有效锌、有效硼含量与叶片磷、锌含量及D叶长呈显著或极显著正相关,还与冠芽长、果形指数等品质指标显著相关,表明磷素在菠萝植株营养生长中扮演着重要作用。此外,土壤有效锌和有效硼含量还与果实纵径、果肉厚度、可溶性固形物含量等品质指标显著正相关。

但在实际调查中,D果园土壤有效锌和有效硼含量处于中等或偏高水平,其果实可溶性固形物含量偏高与上述相关性分析结果相符;而D果园果实最小、可食率最低,与上述规律不符。值得注意的是D果园土壤中唯有效磷、交换性钙含量显著低于其他果园,说明磷、钙等大量元素对果实产量起决定性作用,锌、硼等微量元素更多地影响果实口感、营养等方面。

4 结论

调研的5个‘台农16号’菠萝果园在土壤养分、植株生长及果实品质上表现出显著差异,果园总体土壤养分状况不佳,强酸性的土壤环境不利于菠萝的生长发育。建议在改良强酸性土壤的基础上,依据土壤养分等级标准及时补充所缺矿质元素,实施以精准施肥为核心的综合管理措施。

参考文献:

- [1] ALI MM, HASHIM N, ABD AS, et al. Pineapple (*Ananas comosus*): a comprehensive review of nutritional values, volatile compounds, health benefits, and potential food products [J]. Food Research International, 2020, 137: 109675.
- [2] 刘传和,贺涵,何秀古,等. 我国菠萝品种结构与新品种自主选育推广 [J]. 中国热带农业, 2021(4): 13-15, 76.
- [3] 刘胜辉,张秀梅. 菠萝栽培与病虫害防治 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 8-9.
- [4] 刘传和,贺涵. 菠萝种质资源 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2023: 68-69.
- [5] 冯兰,符策,邱文武,等. 崇左地区‘台农16号’菠萝优质栽培技术 [J]. 南方农业, 2016, 10(6): 22, 24.
- [6] 刘世红,陈彭坤,于静娟,等. 西双版纳宜种优良菠萝品种筛选 [C] // 中国热带作物学会, 西北农林科技大学. 2019年全国热带作物学术年会论文集, 2019: 84-89.
- [7] 杨生权. 土壤和叶片养分状况对柑橘产量和品质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [8] 韦巧云,徐健,王小媚,等. 不同施氮水平对‘台农16号’菠萝生长、果实品质和产量的影响 [J]. 中国果树, 2019(3): 71-73.
- [9] 周上铃. 柠檬园土壤养分、叶片营养与果实品质的相关性研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [10] 杨丽萍,岳海,何双凌,等. 云南澳洲坚果园土壤和叶片养分评价 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(8): 2269-2274.
- [11] 庞观胜,谭施北,吴浩,等. 广东、广西和海南菠萝主产区土壤养分状况调查 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(18): 40-42.
- [12] 吴浩,习金根. 海南省万宁市菠萝土壤养分状况比较研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16592, 16646.
- [13] 郭继阳,张汉卿,杨越,等. 基于因子-聚类分析的菠萝园土壤养分状况评价 [J]. 土壤通报, 2019, 50(1): 137-143.
- [14] NESTBY R, LIETEN F, PIVOT D, et al. Influence of

- mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2005, 5(1): 139-156.
- [15] 张丽芳, 胡海林. 土壤酸碱性对植物生长影响的研究进展 [J]. *贵州农业科学*, 2020, 48(8): 40-43.
- [16] 刘芯瑜, 李婉云, 陈彩霞, 等. 土壤健康与药用植物生长及品质形成关系研究进展 [J]. *中草药*, 2026, 57(1): 375-389.
- [17] 高国震. 土壤酸化对柠檬果实酸度的影响及生理机制 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [18] 李慧. 扬州市典型设施土壤的障碍分析及其矫正 [D]. 扬州: 扬州大学, 2023.
- [19] 张越, 刘忠喜. 浅析土壤酸化及其影响与治理措施 [J]. *现代化农业*, 2025(6): 21-24.
- [20] 闫全辉, 周奇明, 闫林, 等. 广西全州耕地酸化土壤治理模式初探 [J]. *矿产与地质*, 2025, 39(6): 1261-1266.