

## 不同农用酵素对百香果品质及产量的影响

陈 媚<sup>1,2#</sup>, 张荣萍<sup>1\*</sup>, 高 玲<sup>2\*</sup>, 刘迪发<sup>2</sup>, 徐 丽<sup>2</sup>, 冯红玉<sup>2</sup>, 赵亚南<sup>2</sup>

(1. 海南大学 热带农林学院, 海南 儋州 571737 中国; 2. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101 中国)

**摘要:** 为筛选出一种有效提高百香果 (*Passiflora edulis*) 品质及产量的农用酵素, 采用网室盆栽和大田露地栽培相结合的方式, 通过测定果实大小、产量、品质指标等, 比较用百香果果皮、百香果秸秆、圣女果秸秆和玉米秸秆 4 种不同底物发酵生产的农用酵素和化肥处理对百香果品质及产量的影响。结果表明, 百香果果皮酵素处理的百香果果实大小、单果质量、一级果率与化肥相当, 产量比化肥处理增加 6.38%, 效果均优于其他 3 种酵素处理; 在品质方面, 百香果果皮酵素显著提高果汁钙、总糖含量, 降低有机酸含量, 固酸比和糖酸比均最高, 效果优于百香果秸秆酵素和玉米秸秆酵素; 圣女果秸秆酵素显著提高果实的铁、锌、总有机酸、总氨基酸、维生素 C 含量, 但酸含量过高导致其固酸比、糖酸比偏低, 果实综合品质欠佳。综合 2 年的数据, 百香果果皮酵素处理对提高百香果的综合品质及产量效果最优, 果实商业价值更高, 为最佳处理。

**关键词:** 百香果; 农用酵素; 底物; 品质; 产量

**中图分类号:** S667.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2026)01-0049-08

陈媚, 张荣萍, 高玲, 等. 不同农用酵素对百香果品质及产量的影响[J]. 热带生物学报 (中英文),

2026, 17(1): 49–56. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20250008 CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswwb.

20250008



百香果 (*Passiflora edulis*), 学名西番莲, 属于西番莲科 (Passifloraceae) 西番莲属 (*Passiflora*) 植物, 原产于巴西。因其可同时散发出如草莓 (*Fragaria ananassa*)、菠萝 (*Ananas comosus*)、荔枝 (*Litchi chinensis*)、柠檬 (*Citrus limon*) 等多种水果的浓郁香味而得名“百香果”, 在国外还以“果汁之王”、“摇钱树”等著称。百香果因其含有丰富的营养且风味独特而备受世界各地消费者的喜爱<sup>[1]</sup>, 其果实含有 160 多种对人体有益且必需的营养成分<sup>[2]</sup>, 酸甜可口, 具有独特的口感和香味。百香果含有丰富的消炎、抗氧化、抗癌等活性成分物质, 可降低心血管疾病、代谢性疾病和癌症等风险<sup>[3]</sup>, 同时还具有美容养颜、促进新陈代谢<sup>[4]</sup>、降低血脂<sup>[5]</sup>等功效, 是一种不可多得的药食同源的经济作物。

农用酵素主要是以植物为原料, 添加 (或不加) 辅料, 通过微生物发酵而成的酵素产品, 主要用于

种植业、养殖业和土壤改良等方面<sup>[6]</sup>。相对于普通有机肥, 农用酵素将农作物废弃物资源化利用, 含有丰富的活性代谢产物、营养元素和有益微生物, 是一种多元化新型肥料, 具有生态、用途广泛的特点, 被广泛用作液态肥、杀虫剂和土壤改良剂<sup>[7]</sup>。大量研究表明, 农用酵素含有丰富的作物所需营养元素和酶、有机酸、植物激素等高活性的生长调节物质, 不仅具有提高产量的作用, 还可以改善收获物的品质<sup>[8-9]</sup>。刘宇等<sup>[10]</sup> 研究指出, 农用酵素与有机肥结合使用, 可以有效提高番茄果实中的番茄红素含量、维生素 C 含量和糖酸比; 于占晶等<sup>[11]</sup> 通过对比单施酵素和酵素与普通施肥结合等施肥方式, 发现 500 倍液的酵素结合普通施肥的方式可以显著提高鸭梨的可溶性糖含量; 高潼等<sup>[12]</sup> 研究了在草莓盛花期浇灌不同稀释浓度的苹果酵素对果实品质的影响, 发现在酵素与水的体积比为



收稿日期: 2025-01-06

修回日期: 2025-03-13

基金项目: 海南省物种资源保护项目 (YSH22410170004)

\*第一作者: 陈媚 (1985—), 女, 农艺师, 海南大学热带农林学院 2022 级硕士研究生。E-mail: chenmei.mm@163.com

\*通信作者: 张荣萍 (1975—), 女, 副教授。研究方向: 热带作物栽培。E-mail: zhangrp75@163.com

高玲 (1982—), 女, 研究员。研究方向: 植物品种测试技术及西番莲等特色作物种质资源保存评价。E-mail: gaoling\_0898@163.com

1:1 时效果最好,维生素 C 含量、果实单果质量、类黄酮含量、花青素含量和总酚含量都得到了不同程度的提高。关于农用酵素在百香果上的应用研究不多,仅有百香果果渣有机肥、核桃青皮生物有机肥应用于百香果种植<sup>[13-14]</sup>等少量报道。本研究利用不同底物制备农用酵素,对比农用酵素和化肥对百香果果实品质及产量的影响,旨在筛选一种可以显著提高百香果果实品质的农用酵素,为百香果有机、优质、绿色生产提供参考。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验材料** 试验于海南省儋州市宝岛新村五队良种繁育试验基地进行,供试材料为‘琼选黄金 1 号’百香果嫁接苗,芽长 10 cm。百香果果皮、百香果秸秆、圣女果秸秆、玉米秸秆等发酵的底物,均来源于试验地附近的种植地。化肥为金正大集团荣誉出品的高塔硝硫基复合肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 为 15-15-15 和 15-5-25,总养分 $\geq$ 45%);红糖采购于广西田林和平糖业有限公司,原料为甘蔗;岛本酵素菌由昆明邦特生物工程技术有限公司生产(粉剂,有效活菌 $\geq$ 7.8 $\times$ 10<sup>8</sup> CFU $\cdot$ g<sup>-1</sup>)。有机肥为陕西佳尔沃农业科技有限公司生产(有机质 $\geq$ 40%,总养分 $>$ 5%)。ATAGO 糖酸一体机型号为:PAL-BXIACID1。

供试土壤为砖红壤, pH6.13, 有机质含量为 1.01%, 碱解氮、有效磷、速效钾的含量分别为 3.40、6.01、54.82 mg $\cdot$ kg<sup>-1</sup>。

**1.2 农用酵素制作** 4 种底物切小块,按照红糖、底物和水比例为 1:3:10(质量比),岛本酵素菌添加量为水的添加量的 2%,分别将各原料装于 100 L 的塑料密封罐中,搅拌均匀,置于没有太阳直射的环境中发酵。待发酵完成后,密封备用。

**1.3 盆栽试验** 试验在拉有防虫网的简易棚中进行,共设 5 个处理,分别为百香果果皮酵素(PP)、百香果秸秆酵素(PS)、圣女果秸秆酵素(TS)、玉米秸秆酵素(CS)和 PS+PP(营养期施 PS,生殖期施 PP);以化肥(CF)和清水(WT)为对照。每处理 3 次重复,每次重复 12 株,分别移栽定植在 40 cm $\times$ 45 cm 无纺布袋中,采用完全随机设计进行布置。栽培基质统一按照表土:椰糠=1:1(V:V)的比例混合,添加 0.3% 的复合肥(15-15-15),充分混匀后分装到布袋中,按 1.5 m $\times$ 2.0 m 的株行距摆放。移

栽定植 15 d 后开始施肥,酵素处理:根施为稀释 15 倍,叶面喷施为稀释 10 倍;化肥处理为营养期施复合肥(15-15-15),稀释 1 000 倍,生殖期施复合肥(15-5-25),稀释 800 倍。所有处理,每周根部施肥、叶面喷施各 1 次,每株用量分别为 1 L 和 500 mL,根部、叶面同时进行。试验时间为 2023-07-14—2024-01-26。

**1.4 大田栽培试验** 在盆栽试验的基础上筛选两个最优处理:PP 和 TS,以施用化肥为对照,每个处理 3 个重复。株行距为 1.5 m $\times$ 2.5 m,每个重复种植 12 株苗。定植前每个种植穴统一施 5 kg 有机肥作为底肥。移栽定植 15 d 后开始施肥,酵素处理为根施,营养期稀释 10 倍,生殖期稀释 5 倍,叶面喷施稀释 10 倍;化肥处理施肥类型和稀释倍数同盆栽试验。所有处理施肥频率同盆栽试验,每次用量为根施 2 L $\cdot$ 株<sup>-1</sup>,叶面喷施为 500 mL $\cdot$ 株<sup>-1</sup>,根部、叶面同时进行。试验于 2024-04-17 移栽种植,当年 9 月 20 日开始采收,12 月 20 日采收结束。

**1.5 测定指标及方法** 取样方法:在果实的盛产期,每处理各随机取大小相当,完全转色的健康果实 15 个,取果汁混合均匀用于品质指标测定。

表型指标:采摘 3 次,每次每处理各取健康果实 15 个,使用游标卡尺测量果实的纵、横径,使用电子天平称量单果重。登记各重复每次采收果实质量,并参照《DB 45T 2100—2019 百香果商品果等级规格要求》<sup>[15]</sup>,分别统计一级果( $\geq$ 60.0 g)的果实质量。最后计算一级果率(一级果率=一级果总质量/每重复总产量 $\times$ 100%),统计小区产量,以 2 550 株 $\cdot$ hm<sup>-2</sup>折算单位面积产量。

品质指标:使用糖酸一体机测定可溶性固形物含量和可滴定酸含量,固酸比为可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值。矿物质元素含量测定方法参照文献[16];有机酸含量参照文献[17]的方法测定,使用分光光度计法测定总黄酮、总酚的含量;氨基酸参照文献[18]的方法测定;维生素 C 按照文献[19]的方法测定;总糖的测定使用蒽酮试剂法;总酸为所有有机酸含量的总和;糖酸比为总糖含量与总酸含量的比值。

**1.6 数据处理和分析** 方差分析和单因素显著性分析使用 SPSS 26 软件进行,多重比较采用 Duncan 新复极差法,绘图采用 Excel 进行。

## 2 结果与分析

**2.1 果实表型指标** 从图 1-A—C 可知, 在盆栽条件下不同农用酵素对百香果的纵径、横径、单果质量均没有显著影响。在大田栽培条件下, 农用酵素对百香果的纵、横径有显著影响(图 1-D、图 1-E), 对单果质量影响不显著(图 1-F), PP 处理的果实纵径、单果质量与 TS 处理的差异不显著, 果实横径显著大于 TS 处理。

PP 处理的一级果率与 CF 处理没有显著差异, TS 处理的一级果率显著小于 CF 处理, PP 高于 TS 处理 16.68%(图 1-G)。小区产量和折总产量与 CF 处理对比, PP 处理增产了 6.38%, TS 处理减产了 12.43%(图 1-H、图 1-I)。PP 处理的折算总产量高于 TS 处理 14.92%。由盆栽和大田栽培试验看出, 与 CF 处理相比, PP 处理不影响果实大小和质量, 但产量略有升高, 效果优于 TS 处理。

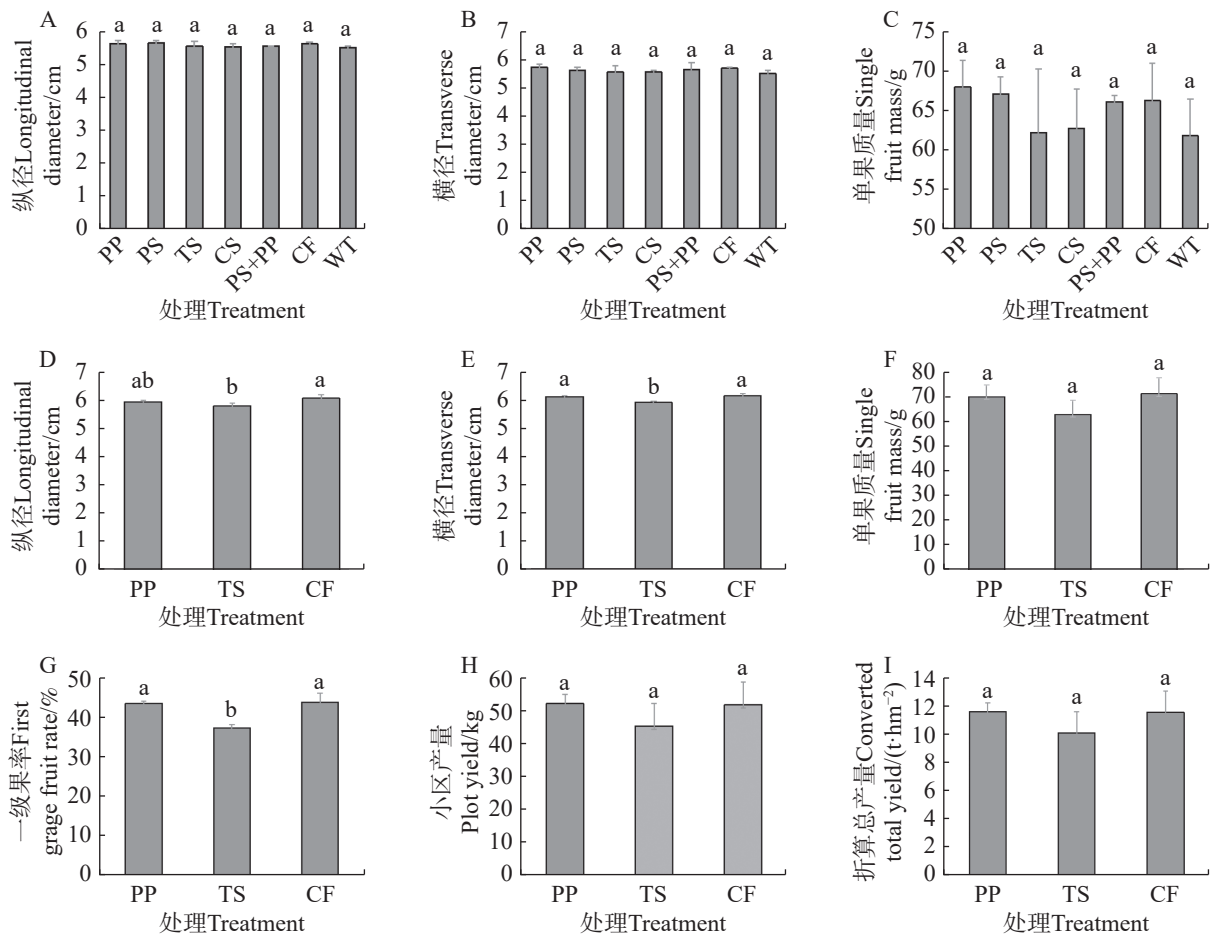


图 1 不同处理对百香果果实大小和产量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on fruit size and yield of passion fruits

注: 图 A、B、C 和 D、E、F 分别为盆栽试验和大田试验下不同处理果实的纵径、横径、单果质量大小, 图 G、H、I 分别为大田试验下不同处理的一级果率、小区产量和折算总产量。相同图片中 a、b、c、d 分别表示在  $P < 0.05$  水平上的显著差异, 下同。

Note: A, B, C and D, E, F in Fig.1 were the longitudinal diameter, transverse diameter and single fruit weight of fruits under different treatments in pot and field experiments, respectively; G, H and I in Fig.1 are the first-grade fruit rate, plot yield and converted total yield of different treatments under field experiment, respectively. The letters a, b, c, and d represent significant differences at the  $P < 0.05$  level, respectively, similarly hereinafter.

## 2.2 果实品质指标

**2.2.1 固酸比相关指标** 如图 2 所示, 与 CF 相比, 不同酵素处理对固酸比相关的指标影响不同。PP 处理表现为高可溶性固形物(图 2-A、图 2-D)、低可滴定酸(图 2-B、图 2-E), 高固酸比(图 2-C、图 2-F), TS 处理表现为低可溶性固形

物、高可滴定酸, 低固酸比, PS+PP 处理与 TS 处理相近。由此可见, 盆栽试验和大田试验表现一致, 所有处理中, 以 PP 处理的可溶性固形物含量、固酸比最高, 可滴定酸含量最低。

**2.2.2 矿物质营养** 从表 1 可以看出, 与 CF 处理相比, PP 处理对提高钙含量效果显著, 果汁的钙

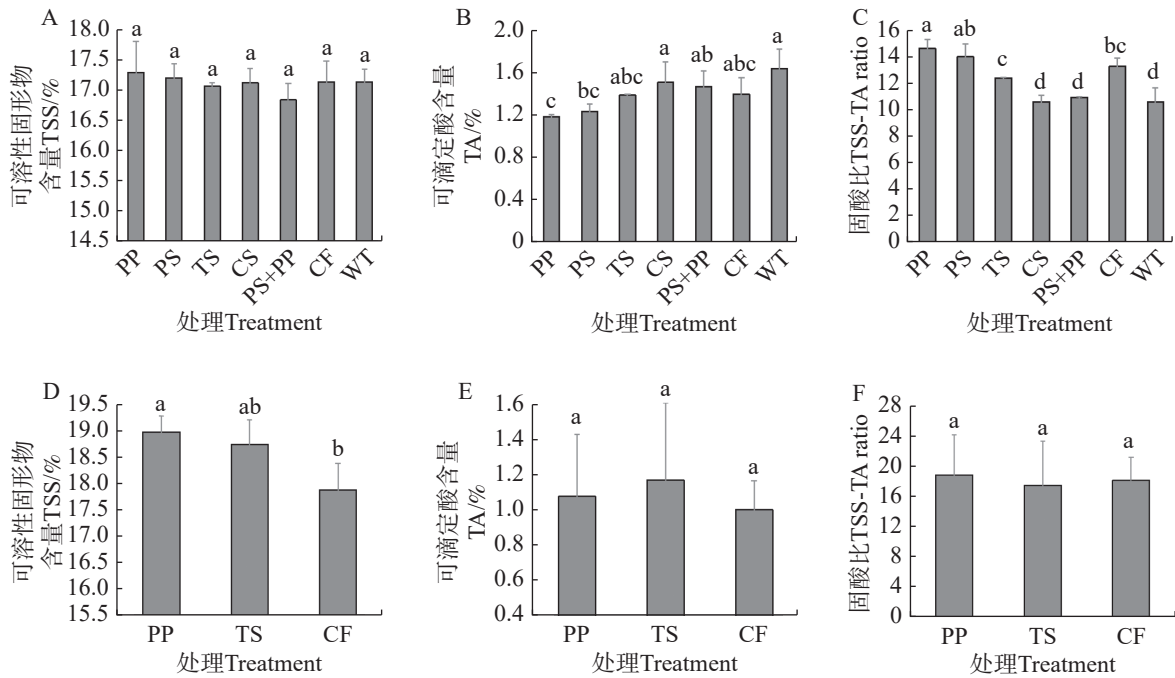


图 2 不同处理对百香果固酸比影响

Fig. 2 Effects of different treatments on solid-acid ratio of passion fruits

注: 图 A、B、C 和 D、E、F 分别为盆栽试验和大田试验下不同处理百香果果汁可溶性固形物含量、可滴定酸含量和固酸比。

Note: Picture A, B, C and D, E, F were the TAA, TA and TSS-TA ratio of passion fruit juice under different treatments in pot experiment and field experiment, respectively.

表 1 不同处理百香果果汁中矿物质元素含量

Tab. 1 Contents of mineral elements in passion fruit juice with different treatments

mg·kg<sup>-1</sup>

处理 Treatment	钾 K	钙 Ca	镁 Mg	铁 Fe	锌 Zn	硒 Se
PP	918.13±54.23 <sup>d</sup>	71.99±0.22 <sup>a</sup>	194.52±0.84 <sup>ab</sup>	4.41±0.02 <sup>d</sup>	3.90±0.02 <sup>e</sup>	15.81±0.90 <sup>e</sup>
PS	950.37±32.94 <sup>d</sup>	55.03±0.64 <sup>b</sup>	196.96±2.35 <sup>a</sup>	6.39±0.02 <sup>b</sup>	4.56±0.17 <sup>b</sup>	21.08±1.47 <sup>a</sup>
TS	1708.33±6.56 <sup>b</sup>	38.92±2.38 <sup>d</sup>	190.23±9.62 <sup>ab</sup>	8.08±0.41 <sup>a</sup>	6.33±0.28 <sup>a</sup>	9.47±1.24 <sup>d</sup>
CS	1816.53±5.33 <sup>a</sup>	35.93±0.78 <sup>e</sup>	152.59±2.70 <sup>c</sup>	4.26±0.28 <sup>d</sup>	4.17±0.24 <sup>c</sup>	16.73±1.16 <sup>bc</sup>
PP+PS	1615.40±2.26 <sup>c</sup>	36.48±3.12 <sup>de</sup>	154.49±6.02 <sup>c</sup>	5.84±0.37 <sup>c</sup>	4.52±0.21 <sup>b</sup>	19.82±3.53 <sup>ab</sup>
CF	1810.30±29.70 <sup>a</sup>	47.63±0.06 <sup>c</sup>	193.74±0.16 <sup>ab</sup>	4.33±0.02 <sup>d</sup>	4.10±0.04 <sup>c</sup>	22.55±2.04 <sup>a</sup>
WT	1699.50±29.53 <sup>b</sup>	46.98±0.07 <sup>c</sup>	187.58±0.28 <sup>b</sup>	3.48±0.01 <sup>e</sup>	3.20±0.01 <sup>d</sup>	2.04±0.31 <sup>e</sup>

注: 不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference level ( $P < 0.05$ ) similarly hereinafter.

含量显著高于 CF 处理和其他酵素处理; TS 处理对提高铁、锌的含量效果明显, 两者含量显著高于其他处理。与其他处理相比, PS 处理和 PS+PP 处理的硒含量明显增高, 但与 CF 处理无显著差异, 其他元素含量也相对较低。

**2.2.3 有机酸** 农用酵素对百香果有机酸的含量影响显著(表 2), TS 处理的莽草酸、柠檬酸、乳酸的含量显著高于 CF 和其他酵素处理, PP 处理、PS 处理和 PS+PP 处理的苹果酸含量均显著高于其他处

理。对于总酸含量, TS 处理最高, 显著高于 CF 处理, PP 和 PS+PP 处理最低, 均显著低于 CF 处理。

**2.2.4 其他活性成分** 从表 3 可知, 酵素处理对百香果果实的其他活性成分含量有影响。总糖含量和糖酸比以 PP 处理最高, 且显著高于 CF 处理, PP 处理的糖酸比显著高于其他酵素处理。TS 处理的总氨基酸、维生素 C 的含量均较高, 均显著高于 CF 处理和其他酵素处理; 总黄酮和总酚含量与 CF 处理差异不显著, 但均显著高于其他酵素处理。

表 2 不同处理对有机酸含量影响

Tab. 2 Organic acid content of passion fruit juice in different treatments

mg·kg<sup>-1</sup>

处理 Treatment	草酸 Oxalic acid	莽草酸 Shikimic acid	柠檬酸 Citric acid	乳酸 Lactic acid	苹果酸 Malic acid	总酸 Total acid
PP	160.17±2.73 <sup>f</sup>	18.29±2.81 <sup>e</sup>	14 132.36±253.89 <sup>e</sup>	245.66±40.57 <sup>d</sup>	2 402.67±85.54 <sup>b</sup>	16 923.45±284.60 <sup>e</sup>
PS	206.26±8.11 <sup>d</sup>	20.08±0.68 <sup>de</sup>	20 356.03±269.63 <sup>d</sup>	253.10±21.98 <sup>d</sup>	2 841.04±54.55 <sup>a</sup>	23 676.49±302.09 <sup>e</sup>
TS	183.99±7.66 <sup>e</sup>	35.47±2.30 <sup>a</sup>	30 668.50±963.87 <sup>a</sup>	730.77±78.98 <sup>a</sup>	2 071.72±50.83 <sup>c</sup>	33 607.46±1 079.98 <sup>a</sup>
CS	273.11±9.43 <sup>c</sup>	22.09±1.41 <sup>cd</sup>	21 563.12±482.40 <sup>c</sup>	360.61±6.18 <sup>c</sup>	1 867.76±63.67 <sup>d</sup>	24 086.70±559.70 <sup>c</sup>
PP+PS	288.06±18.17 <sup>c</sup>	20.76±1.86 <sup>cde</sup>	14 005.72±534.80 <sup>e</sup>	265.83±11.23 <sup>d</sup>	2 283.90±179.23 <sup>b</sup>	16 886.73±701.45 <sup>e</sup>
CF	325.07±3.69 <sup>b</sup>	27.55±1.36 <sup>b</sup>	24 867.30±794.06 <sup>b</sup>	644.76±20.27 <sup>b</sup>	2 105.93±65.99 <sup>c</sup>	27 928.99±821.44 <sup>b</sup>
WT	359.54±6.85 <sup>a</sup>	23.39±0.69 <sup>c</sup>	19 368.87±100.38 <sup>d</sup>	631.24±4.45 <sup>b</sup>	2 031.38±52.42 <sup>c</sup>	22 368.86±140.69 <sup>d</sup>

表 3 不同处理百香果果汁中其他活性成分含量

Tab. 3 Contents of other active components in passion fruit juice under different treatments

处理 Treatment	总黄酮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total flavonoids	总酚/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total phenols	总氨基酸/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total amino acid	维生素C/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Vitamin C	总糖/% Total sugars	糖酸比 Sugar-acid rate
PP	25.36±1.03 <sup>d</sup>	29.32±0.97 <sup>e</sup>	1 837.60±19.60 <sup>e</sup>	205.10±3.21 <sup>e</sup>	12.51±2.11 <sup>a</sup>	7.40±1.33 <sup>a</sup>
PS	25.36±0.15 <sup>c</sup>	34.95±0.72 <sup>d</sup>	3 393.99±48.8 <sup>d</sup>	219.63±0.57 <sup>e</sup>	8.45±0.19 <sup>b</sup>	3.57±0.04 <sup>e</sup>
TS	29.99±0.11 <sup>ab</sup>	41.19±2.25 <sup>abc</sup>	5 417.84±23.18 <sup>a</sup>	259.71±0.35 <sup>a</sup>	10.79±0.73 <sup>ab</sup>	3.21±0.12 <sup>c</sup>
CS	28.78±0.67 <sup>b</sup>	38.90±2.49 <sup>c</sup>	3 542.57±10.75 <sup>c</sup>	243.47±0.44 <sup>b</sup>	10.30±1.91 <sup>ab</sup>	4.27±0.74 <sup>c</sup>
PP+PS	29.11±0.5 <sup>b</sup>	40.56±1.27 <sup>b</sup>	1 992.34±77.46 <sup>f</sup>	212.83±0.31 <sup>f</sup>	9.54±0.55 <sup>b</sup>	5.66±0.54 <sup>b</sup>
CF	31.60±1.79 <sup>a</sup>	44.03±2.29 <sup>a</sup>	4 247.57±59.29 <sup>b</sup>	236.53±1.14 <sup>c</sup>	9.73±1.65 <sup>b</sup>	3.50±0.68 <sup>e</sup>
WT	30.22±0.66 <sup>ab</sup>	43.5±0.55 <sup>ab</sup>	3 005.86±63.02 <sup>c</sup>	223.75±0.09 <sup>d</sup>	12.46±0.34 <sup>a</sup>	5.57±0.12 <sup>b</sup>

### 3 讨 论

糖酸组分的种类、含量及糖酸比是对果实品质和口感影响最大的因素,在很大程度上决定了果实商品价值<sup>[20]</sup>,糖酸比高的果实受消费者喜爱的程度往往更高。本研究得出,不同农用酵素对百香果品质的影响不同。盆栽试验中,与单施化肥相比,追施百香果果皮酵素在提高果汁钙、总糖含量,降低有机酸含量上效果明显,果实的糖酸比、固酸比最高,综合品质最好,商业价值最高,为最佳处理;百香果秸秆酵素和玉米秸秆酵素在提高果实品质上效果不显著;圣女果秸秆酵素对提高铁、锌、总有机酸、总氨基酸、维生素 C 含量上效果显著;PS+PP 处理与相应的单一处理比较无增效表现;大田试验中,百香果果皮酵素处理果实大小、单果质量和一级果率与化肥处理相当,产量略高于化肥处理,圣女果酵素处理的果实大小、单果质量和一级果率均小于化肥处理,产量低于化

肥处理;对于固酸比和糖酸比,百香果果皮酵素大于化肥处理,而圣女果秸秆酵素则小于化肥处理,这与盆栽试验一致。

**3.1 农用酵素对果实大小及产量的影响** 农用酵素具有促进作物生长、提高产量和品质的作用<sup>[21-22]</sup>。在本研究中,盆栽试验和大田试验表现一致,农用酵素 PP 对百香果的表型品质均无影响。从产量指标看,PP 处理比化肥处理增产 6.38%。可以看出,在以 5 kg·株<sup>-1</sup>有机肥为底肥的前提下,全程仅施百香果果皮酵素可以达到比单施化肥更高的产量,而品质上更优于化肥。刘宇等<sup>[10]</sup>在研究有机番茄的栽培中指出,在适宜的有机肥用量的条件下,农用酵素具有提质增产的效果;李洁等<sup>[23]</sup>的研究表明,适当增加有机肥的用量,农用酵素对黄瓜(*Cucumis sativus*)的增产效果更显著。因而,农用酵素在不同有机肥用量的条件下对百香果产量和品质的影响有待进一步研究。

**3.2 农用酵素对糖、酸含量的影响** 本试验结果

显示,除圣女果秸秆酵素处理外,其他酵素处理的有机酸含量均比化肥处理的低,这与徐智等<sup>[13]</sup>的采用西番莲果渣有机肥可降低有机酸总量的研究结果是一致的。李丹萍等<sup>[24]</sup>研究指出,钾使用量对百香果的总酸具有显著影响,钾肥用量越高,总酸含量越高。本研究中,化肥处理和圣女果秸秆处理的百香果总酸含量最高,可能是因为在化肥处理中,由于在百香果生殖期一直施用高钾肥促进了酸的积累,而圣女果秸秆处理则可能具有促进土壤中钾元素释放的作用。在简易网室条件下百香果果皮酵素处理果实固酸比显著高于化肥处理,而大田栽培条件下固酸比差异不显著。这可能是由于百香果果皮酵素具有较强的促进叶片光合速率的作用<sup>[25]</sup>,在简易网室光照不够充足的条件下,更有利于糖酸的转化。

**3.3 农用酵素对其他营养品质的影响** 矿物质元素与植物的生长发育和品质形成息息相关,且不同的矿物质元素与品质指标的相关性也各不相同<sup>[26]</sup>。本研究得出,不同农用酵素可以不同程度提高百香果果实的矿质元素,这可能是由于农用酵素可以促进植株的生长<sup>[27]</sup>,也可能是由于酵素富含有机酸,而有机酸具有大量的极性基团,可与土壤中的矿物质元素发生较好的螯合作用<sup>[28]</sup>,从而有利于根系的吸收所致。维生素C、酚类和黄酮等化合物都是果实中主要的抗氧化活性成分<sup>[29]</sup>,对人体的代谢具有促进和保健的作用。徐青等<sup>[30]</sup>研究指出,维生素C、总酚和总黄酮含量与DPPH自由基、OH自由基的清除效果具有较大的正相关性。圣女果秸秆酵素处理下的维生素C、总酚和总黄酮含量均比其他酵素处理高,说明圣女果秸秆酵素处理下百香果的抗氧化能力最强。酵素清除自由基,激活抗氧化酶体系、促进果实抗氧化活性物质的积累与酵素中高含量的酚类、黄酮类化合物、有机酸、酶等活性成分息息相关<sup>[31-32]</sup>,酵素品质的差异取决于不同底物配比<sup>[33]</sup>,本试验中4种酵素底物各不相同,酵素的物理性质也不相同。Viera等<sup>[34]</sup>的研究结果表明,维生素C含量与总糖含量存在显著负相关性。这说明,果实在积累维生素C、黄酮等化合物时,会影响糖、酸等物质的转化。有机无机肥配施在调控百香果果实氨基酸含量方面具有极其重要的作用,在较高肥力的条件下,有利于氨基酸的富集<sup>[35]</sup>,不同酵素处理下百香果的总氨基

酸含量差异显著,说明不同酵素所含的营养不同,促进土壤养分的释放水平也不相同。

## 4 结 论

综合2年的栽培试验,与化肥处理相比,施用百香果果皮酵素,百香果表现出了果大、高糖、低酸、高钙含量及高产量的优势,效果优于百香果秸秆、圣女果秸秆和玉米秸秆等酵素处理。百香果果皮酵素处理实现了全程不施化肥、不施农药、优质、高产。这说明了农用酵素代替化肥具有可行性,研究结果可为农作物废弃物的资源化利用以及百香果有机、优质生产提供参考。

## 参考文献:

- [1] Qiu W, Su W, Cai Z, et al. Combined analysis of transcriptome and metabolome reveals the potential mechanism of coloration and fruit quality in yellow and purple *Passiflora edulis* Sims [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(43): 12096–12106. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03619>
- [2] 王标明. 百香果的营养特性及栽培管理措施[J]. *中国果菜*, 2020, 40(7): 111–113.
- [3] Li C, Xin M, Li L, et al. Transcriptome profiling helps to elucidate the mechanisms of ripening and epidermal senescence in passion fruit (*Passiflora edulia* Sims) [J]. *PLoS One*, 2020, 15(9): e0236535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236535>
- [4] 张伟, 张德安, 辛乐, 等. 百香果北方保护地引种研究[J]. *现代农业科技*, 2018(15): 89–90.
- [5] 李妙芳. 福安市溪尾镇百香果产业深化发展探讨[J]. *中国果业信息*, 2018, 35(7): 16–18. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-1514.2018.07.006>
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部. 植物酵素: QB/T 5323—2018 [S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2018.
- [7] 张越, 赵宇宾, 蔡亚凡, 等. 农用植物酵素的生态效应研究进展[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(3): 25–35. <https://doi.org/10.11841/j.issn.1007-4333.2020.03.04>
- [8] Kim D H, Kim M J, Kim D W, et al. Changes of phytochemical components (urushiol, polyphenols, gallotannins) and antioxidant capacity during *Fomitella fraxinea*-Mediated fermentation of *Toxicodendron vernicifluum* bark [J]. *Molecules*, 2019, 24(4): 683. <https://doi.org/10.3390/molecules24040683>
- [9] 庞敏晖, 左强, 宋大平, 等. 植物酵素营养液在农业上的应用研究进展[J]. *北方农业学报*, 2019, 47(5): 60–64.
- [10] 刘宇, 陈娇月, 赵飞, 等. 农用酵素对有机番茄高品质生产的作用[J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(6): 137–152.
- [11] 于占晶, 梁魁景, 王芳芳, 等. 酵素对鸭梨果实品质的

- 影响研究[J]. 河北果树, 2024(1): 11-13.
- [12] 高潼, 盛夏薇, 吴琦杰, 等. 根施苹果酵素对草莓植株生理特性及果实品质的影响[J]. 河北农业科学, 2023, 27(2): 44-48.
- [13] 徐智, 汤利. 西番莲果渣有机肥对西番莲生长发育、品质和产量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2012, 27(3): 457-460.
- [14] 朱佳敏, 杨霞, 赵玉雪. 核桃青皮生物有机肥的制备及其在百香果上的应用初探[J]. 中国果树, 2023(4): 63-67.
- [15] 凭祥市人民政府. DB 45/T 2100—2019, 百香果商品果等级规格要求[S]. 南宁: 广西壮族自治区市场监督管理局, 2019.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定: GB 5009.268—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中有机酸的测定: GB 5009.157—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [19] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [20] 吴斌, 苏金生, 邢文婷, 等. 不同品种百香果果实转色期糖酸品质性状评价[J]. 果树学报, 2024, 41(12): 2532-2542.
- [21] 谢育利, 邓秀泉, 李楠, 等. 植物酵素对茄子产量及品质的影响[J]. 江西农业学报, 2023, 35(6): 49-53.
- [22] 沈奕, 赏莹莹. 复合酵素和生物炭配施对番茄生长发育和产量、品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(5): 133-135.
- [23] 李洁, 周娴, 郝小燕, 等. 植物酵素对大棚黄瓜生长及产量的影响[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(12): 29-32. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-9577.2014.12.007>
- [24] 李丹萍, 寸待泽, 李晶, 等. 不同氮钾肥用量对百香果生长、品质及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(12): 123-132. <https://doi.org/10.11838/sfsc.1673-6257.21611>
- [25] 陈媚, 刘迪发, 徐丽, 等. 不同农用酵素对土壤理化性状及百香果生长的影响[J]. 中国果树, 2025(4)73-82.
- [26] 张建, 杨瑞东, 陈蓉, 等. 贵州遵义辣椒矿质元素含量与其品质相关性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 215-221. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201810033>
- [27] 杨文静, 田估, 张杰. 芳香植物营养液对苹果生长及果实品质的影响[J]. 北京农学院学报, 2015, 30(1): 19-21.
- [28] 张乔丽, 戚亚平, 邵微, 等. 苹果发酵液对 Fe<sup>2+</sup>的螯合能力及对缺铁平邑甜茶幼苗的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 517-522. <https://doi.org/10.11674/zwyf.2013.0230>
- [29] Gulcin İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview[J]. Archives of Toxicology, 2020, 94(3): 651-715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- [30] 徐青, 杨江, 李安定. 不同产地百香果黄果主要功能成分含量及抗氧化活性比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 94-102.
- [31] 段晓宇, 曾莉, 樊睿, 等. 草莓菠萝复合酵素成分及其体外生物活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(10): 1635-1642.
- [32] 范昊安, 沙如意, 方晟, 等. 苹果梨酵素发酵过程中的褐变与抗氧化活性[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 116-123. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20190515-151>
- [33] Gao Y, Zheng Z, Cheng X, et al. An innovative way to treat cash crop wastes: The fermentation characteristics and functional microbial community using different substrates to produce Agricultural Jiaosu [J]. Environmental Research, 2023, 227: 115727. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115727>
- [34] Viera W, Shinohara T, Samaniego I, et al. Phytochemical composition and antioxidant activity of *Passiflora* spp. germplasm grown in Ecuador [J]. Plants, 2022, 11(3): 328. <https://doi.org/10.3390/plants11030328>
- [35] 彭熙, 张丽敏, 李安定, 等. 施肥对百香果氨基酸的组分影响及营养评价[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(4): 881-885.

# Effects of different Agricultural Jiaosu on the quality and yield of *Passiflora edulis*

Chen Mei<sup>1,2#</sup>, Zhang Rongping<sup>1\*</sup>, Gao Ling<sup>2\*</sup>, Liu Difa<sup>2</sup>,  
Xu Li<sup>2</sup>, Feng Hongyu<sup>2</sup>, Zhao Yanan<sup>2</sup>

(1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China)

**Abstract:** In order to select an agricultural Jiaosu that can effectively improve the quality and yield of passion fruit (*Passiflora edulis*), passion fruit seedlings were treated with agricultural Jiaosu formulations prepared from four different substrates, namely passion fruit peel, passion fruit straw, cherry tomato straw and corn straw, and chemical fertilizer as control to observe the effects of the treatments on the quality and yield of passion fruits in pot culture under anti-insect net and field experiments. The results showed that the fruit size, single fruit weight and first-class fruit rate of passion fruit under the passion fruit peel Jiaosu treatment were similar to those of the chemical fertilizer treatment, with the yield being 6.38% higher, and that this Jiaosu treatment was better than other Jiaosu treatments. In terms of quality, the passion fruit peel Jiaosu treatment significantly increased the content of Ca and total sugar in juice, decreased the content of organic acid, and had the highest TSS-TA ratio and sugar-acid ratio, and this treatment was better than the passion fruit straw Jiaosu and corn straw Jiaosu treatments. The cherry tomato straw Jiaosu treatment significantly increased the contents of Fe, Zn, total organic acids, total amino acids and vitamin C in the fruit. However, the fruits in this treatment were low in TSS-TA ratio and sugar-acid ratio due to the high acid content, and hence were poor in comprehensive quality. Based on the data of 2 years of experiments, the passion fruit peel Jiaosu treatment had the best effects on improving the comprehensive quality and yield of passion fruits, and the fruits under this treatment had a higher commercial value, which was suggested to be the best treatment.

**Keywords:** *Passiflora edulis*; agricultural Jiaosu; substrate; quality; yield

(责任编辑:潘学峰)