

甘蔗/凉粉草间作对作物产量、品质及经济效益的影响

兰 秀¹ 李恒锐¹ 何洪良¹ 马仙花¹ 黄小娟¹ 李天元¹

韦海球¹ 江清梅¹ 阮丽霞¹ 杨海霞¹ 刘炳继² 汤丹峰³

(¹广西南亚热带农业科学研究所, 532415, 广西龙州; ²广西宇峰保健食品有限公司, 530000, 广西南宁;

³广西壮族自治区药用植物园, 530000, 广西南宁)

摘 要 为探讨不同甘蔗/凉粉草间作模式对作物农艺性状、品质及经济效益等的影响, 在大田栽培条件下, 以甘蔗品种“桂南蔗 08212”和凉粉草品种“灵山大叶草”为试验材料, 设置单作甘蔗 (T₁) 和单作凉粉草 (T₂) 2 个对照处理、甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草 (T₃)、甘蔗等行距 2.4 m 间作凉粉草 (T₄)、甘蔗宽窄行 (1.2 m+2.4 m) 间作凉粉草 (T₅) 3 个间作模式处理。结果表明, 与单作相比, 间作处理提高了甘蔗的单茎重、凉粉草的叶长和分枝长。除甘蔗锤度和糖度外, 间作处理的甘蔗品质指标与单作处理相比差异显著。不同间作模式降低了甘蔗和凉粉草产量, 但经济总产值较单作处理增加。不同处理的土地当量比表现为 T₃ (1.60) > T₄ (1.50) > T₅ (1.28), 说明甘蔗和凉粉草间作表现出间作优势。T₃ 处理净收益高于其他处理, 产值为 46 124.04 元/hm², 产投比为 1.94, 高于其他间作处理。综上可知, 甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草模式是甘蔗凉粉草间作的最佳模式, 可在甘蔗间作凉粉草生产中推广应用。

关键词 甘蔗; 凉粉草; 间作模式; 产量; 品质; 经济效益

甘蔗是我国乃至世界最重要的糖料及能源作物, 也是广西的主要经济作物之一^[1]。由于甘蔗生育期长、前期生长慢以及宽行距等特点, 故对蔗行进行合理间作不仅能有效提高光能利用率^[2-3]和土地利用效率^[4-5], 增加复种指数, 还可以改善土壤肥力^[6]和作物品质^[7], 减少病虫害的发生^[8]。凉粉草 (*Platostoma palustre*) 是唇形科逐风草属的草本宿根型植物, 是重要的药食同源作物, 其生长期短, 易栽培管理^[9], 开展甘蔗/凉粉草间作模式研究, 对促进作物的增产增收及甘蔗和凉粉草产业的可持续发展具有重要意义。在生产上, 甘蔗间作模式多样, 主要有甘蔗间作玉米^[10]、甘蔗间作绿豆^[11]、甘蔗间作花生^[12]、甘蔗间作西瓜^[13]、甘蔗间作大豆^[14]等模式。甘蔗与许多作物间作都具有明显的间作优势, 例如, 杨文亭等^[5]探讨了甘蔗与大豆间作对大豆鲜荚产量和农艺性状的影响, 结果表明, 间作并未降低大豆的单株鲜荚产量, 对大豆的农艺性状也无负面影响。孟庆宝等^[15]研究发现, 甘蔗间种菜用大豆总效益要高于甘蔗单作, 间种后甘蔗的蔗糖分、视纯度、重力纯度等指标都要优于甘蔗单作。吴海宁等^[16]探究

甘蔗与花生间作下不同氮磷钾配施处理对花生养分吸收及产量效益的影响, 得出了最佳的施肥配比为 80 kg/hm² N、70 kg/hm² P₂O₅、80~90 kg/hm² K₂O。这些报道多集中于甘蔗与豆科、矮秆作物等的间作, 针对农艺性状、产量、品质、养分吸收等其中 1 个或 2 个方面进行研究。前期研究^[17]发现, 木薯间作凉粉草的种植模式带来的纯利润高达 40 000 元/hm²。何洪良等^[12]研究表明, 甘蔗/花生宽窄行间作模式可增加甘蔗经济效益。由此可见, 甘蔗间作其他作物在提高作物产量、改善品质及提高经济效益方面有诸多益处。甘蔗和凉粉草生长期差异较大, 加上甘蔗前期生长慢、行距宽, 严重浪费光、热、水以及土地等资源。在甘蔗地间作凉粉草是否会对作物的农艺性状、品质及产量等造成影响鲜见报道。因此, 本研究通过田间试验, 设置不同的甘蔗凉粉草间作模式, 研究不同间作模式对甘蔗和凉粉草农艺性状、品质、光合性能的影响, 并比较分析单作和间作甘蔗和凉粉草的产量和经济效益, 筛选甘蔗凉粉草间作的最佳模式, 为科学推广甘蔗/凉粉草间作种植提供理论指导和技术支持。

作者简介: 兰秀, 主要从事经济作物选育、栽培、加工研究, E-mail: 1335668244@qq.com

何洪良为通信作者, 主要从事甘蔗栽培技术研究, E-mail: 260324690@qq.com

基金项目: 广西创新驱动发展专项 (桂科 AA20302020-1); 广西农业科学院稳定资助科研团队项目 (桂农科 2021YT158); 崇左市科技计划项目 (崇科 20220622); 广西农业科学院基本科研业务专项项目 (桂农科 2023YM26)

收稿日期: 2024-04-08; 修回日期: 2024-05-25; 网络出版日期: 2024-11-28

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于广西龙州县广西南亚热带农业科学研究所(107°12'E, 22°44'N), 海拔 200~1045 m, 坡度 8~15°; 属明显的南亚热带季风气候, 热量丰富, 日照充足, 年均气温 22.3~23.0 °C, 年极端高温为 41.6 °C, 年极端低温为 -3.0 °C, 日照时数 1582.7 h, 无霜期达 350 d 以上, 雨量充沛, 年均降水量 1174~1752 mm, 年蒸发量 1569 mm, 雨热同期^[18]。试验地为旱地红壤, 肥力中等。试验前地块的土壤基本理化性状为 pH 5.0、有机质 21.8 g/kg、全氮 1.48 g/kg、全磷 0.85 g/kg、全钾 16.90 g/kg、碱解氮 120.00 mg/kg、有效磷 30.20 mg/kg、有效钾 129.00 mg/kg。

1.2 试验材料

供试凉粉草为“灵山大叶草”, 甘蔗品种为“桂南蔗 08212”, 分别由广西宇峰保健食品有限公司和广西南亚热带农业科学研究所提供。

1.3 试验方法

采用田间试验, 以甘蔗单作行距 1.2 m 常规种植(T_1)和凉粉草单作(T_2)为对照, 设 3 种间作种植模式, 即 T_3 处理: 甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草(甘蔗行距 2.0 m, 在行间间作 3 行凉粉草); T_4 处理: 甘蔗等行距 2.4 m 间作凉粉草(甘蔗行距 2.4 m, 在行间间作 4 行凉粉草); T_5 处理: 甘蔗宽窄行套种凉粉草(甘蔗宽行行距 2.4 m, 窄行行距 1.2 m, 在宽行行间间作 4 行凉粉草)。3 次重复, 完全随机排列, 小区面积 100.0 m², 凉粉草按株行距 30 cm×40 cm 定植, T_2 处理种植密度 66 000 株/hm², T_3 处理种植密度 49 500 株/hm², T_4 处理种植密度 55 500 株/hm², T_5 种植密度 37 500 株/hm², 甘蔗每个处理下种量为 99 000 芽/hm²。试验地周设 2.0 m 的保护行。甘蔗和凉粉草种植时间均为 2022 年 2 月 3 日, 凉粉草收获时间为 7 月 30 日, 甘蔗收获时间为 2023 年 2 月 3 日。试验期间同种作物的管理水平一致, 其中凉粉草基肥用量为有机肥 1 500 kg/hm², 种植 30 d 后追施尿素 202.5 kg/hm², 对水冲施。第 2 次追肥是在种植后 60 d 凉粉草即将盖满地面前, 施用复合肥(15:15:15)和钾肥(含钾 60%), 复合肥用量 150 kg/hm², 钾肥用量 75 kg/hm², 对水冲施。甘蔗整个生长期施肥量为甘蔗专用肥(蔗年好品牌)1500 kg/hm²和钾肥(含钾

60%) 225 kg/hm²。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 农艺性状 在凉粉草收获期每个小区随机取 20 株测定主要农艺性状, 包括叶长、叶宽、叶厚、分枝数、分枝长、基径等指标, 生理指标为叶片相对叶绿素含量(SPAD 值)。用便携式 SPAD(502)叶绿素仪随机测定 10 片成熟叶片的 SPAD 值, 用游标卡尺测定叶厚, 用钢卷尺测定叶长、叶宽和分枝长。待收获后, 计算每个小区的产量。从各小区第 3 行连续取 20 株甘蔗测定主要农艺性状, 包括株高、茎径、有效茎数、单茎重等指标, 按常规方法进行调查^[19]。

1.4.2 品质性状 于凉粉草成熟期在每个小区随机取 20 株凉粉草, 烘干后粉碎待测品质性状。其品质性状主要测多糖、总黄酮和酚类物质含量。采用苯酚-硫酸法测定多糖含量, 用分光光度法测定总黄酮含量, 用高效液相色谱法测定酚类物质含量^[20]。于每小区中间 2 行随机取 6 株甘蔗测定品质性状, 按照甘蔗制糖化学管理分析方法进行样品预处理和品质分析, 其中, 采用 WZZ-ZSS 自动旋光仪(上海精密科学仪器厂)测定甘蔗蔗糖分指标, 采用日本 ATAGO 公司的数显锤度计测定甘蔗锤度, 用广州甘蔗糖业研究所开发的 Sugar 2000 软件计算^[10]甘蔗重力纯度、甘蔗纤维分、蔗渣纤维分和甘蔗蔗糖分等。

1.4.3 光合性能 分别在甘蔗伸长初期(6 月 1 日)、伸长盛期(7 月 19 日)、伸长末期(11 月 20 日)和凉粉草幼苗期(3 月 1 日)、生长盛期(5 月 20 日)、成熟期(7 月 20 日), 选择无云的晴天上午 10:30~12:00, 采用 LI-6400 便携式光合气体分析系统测定植株顶部第 1 片全展叶的光合参数, 包括净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)等, 每个处理重复 3 次。测定前进行仪器校正, 采用人工光源, 光通量密度为 2000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 叶温与测定当天最高温度相当。

1.4.4 产量及经济效益 取每个小区中间 4 行甘蔗进行测产, 取每个小区连续 20 m²凉粉草实收、测产。其中, 间作总面积作物产量(Y)=实收产量/间作总面积; 作物单位面积产量(Y)=实收产量/实际种植面积。土地当量比(LER)=(Y_{iw}/Y_{sw})+(Y_{im}/Y_{sm}), 式中, Y_{iw} 和 Y_{im} 分别代表间作总面积上甘蔗和凉粉草的产量, Y_{sw} 和 Y_{sm} 分别为甘蔗和凉粉

草单作时的产量。当 $LER=1$ 时,表明间作与相应单作群体具有相同的资源利用效率; $LER>1$ 表现出间作优势; $LER<1$ 则为间作劣势^[21]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 Origin 2018 软件进行数据整理和作图,采用 SPSS 15.0 软件进行方差分析,采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan 法进行方差分析,采用 LSD 法($\alpha=0.05$)进行组间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同间作模式对甘蔗和凉粉草主要农艺性状的影响

2.1.1 对甘蔗农艺性状的影响 由表 1 可知,不同处理的甘蔗株高和茎径差异不显著,与 T_1 处理相比,间作处理的有效茎数和单茎重差异显著,即 T_3 、 T_4 、 T_5 处理有效茎数分别比 T_1 处理降低了 11.5%、23.7%、9.3%,单茎重比 T_1 处理分别提高

表 1 不同间作模式对甘蔗主要农艺性状的影响
Table 1 Effects of different intercropping patterns on main agronomic characteristics of sugarcane

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎径 Stem diameter (mm)	有效茎数 Effective stalk number (/hm ²)	单茎重 Weight per stem (kg)
T ₁	335.67±12.03a	26.36±2.63a	72 705±700a	1.58±0.20c
T ₃	330.33±4.69a	26.27±2.62a	65 205±1791b	1.74±0.23a
T ₄	341.00±16.03a	27.24±2.72a	58 755±1959c	1.74±0.12a
T ₅	332.00±4.17a	27.01±2.70a	65 970±1500b	1.67±0.25b

同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。
Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same below.

了 10.1%、10.1%和 5.7%。

2.1.2 对凉粉草农艺性状的影响 由表 2 可知,不同处理的叶宽和叶厚无显著差异,单作处理的分枝数比间作处理多,与 T_2 处理相比,间作处理(T_3 、 T_4 、 T_5)的叶长、分枝长和基径都差异显著, T_3 、

T_4 、 T_5 处理的叶长分别比 T_2 处理长 16.01%、21.60%、11.73%,分枝长分别比 T_2 处理长 11.46%、38.20%、20.13%。说明甘蔗/凉粉草间作模式在一定程度上促进了作物生长,甘蔗与凉粉草进行间作可提高 2 种作物对光、热及养分的利用效率。

表 2 不同间作模式对凉粉草主要农艺性状的影响
Table 2 Effects of different intercropping patterns on the main agronomic traits of *P. palustre*

处理 Treatment	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)	叶厚 Leaf thickness (mm)	分枝数 Branch number	分枝长 Branch length (cm)	基径 Base diameter (mm)
T ₂	5.37±0.25c	3.37±0.32a	0.21±0.05a	37.00±2.65a	74.17±5.2d	4.24±0.35b
T ₃	6.23±0.25ab	3.17±0.15a	0.18±0.02a	21.33±3.51c	82.67±2.08c	5.18±0.88a
T ₄	6.53±0.15a	3.57±0.06a	0.19±0.01a	34.33±2.08a	102.50±13.44a	5.07±0.41a
T ₅	6.00±0.10b	3.20±0.10a	0.18±0.01a	28.33±1.53b	89.10±5.89b	3.52±0.65c

2.2 不同间作模式对甘蔗和凉粉草品质的影响

2.2.1 对甘蔗品质的影响 由表 3 可知,除了甘蔗锤度和甘蔗糖度外,间作处理的其他甘蔗品质指标与单作处理相比均差异显著。各处理甘蔗纤维分在 9.20%~10.84%,适榨性好。除了 T_3 处理的甘蔗纤

维分低于单作处理外,其他处理的品质指标均高于单作处理。各处理的甘蔗重力纯度在 80.97%~84.55%,均达到一级原料蔗标准。甘蔗糖度、甘蔗蔗糖分和甘蔗重力纯度的排序均为 $T_3>T_4>T_5>T_1$ 。

表 3 不同间作模式对甘蔗品质的影响
Table 3 Effects of different intercropping patterns on sugarcane quality %

处理 Treatment	甘蔗纤维分 Sugarcane fiber	甘蔗锤度 Sugarcane weight	甘蔗糖度 Sugarcane content	甘蔗蔗糖分 Sugarcane sucrose content	甘蔗重力纯度 Gravity purity of sugarcane	蔗渣纤维分 Bagasse fiber content
T ₁	9.41±0.38c	19.79±0.12a	16.23±0.34a	16.01±0.24d	80.97±2.21d	25.62±2.24c
T ₃	9.20±0.25c	19.90±0.24a	17.37±0.18a	16.86±0.31a	84.55±3.78a	29.93±2.10a
T ₄	10.10±0.26b	20.25±0.15a	17.22±0.23a	16.70±0.23ab	83.05±3.23ab	29.08±1.71b
T ₅	10.84±0.15a	19.94±0.40a	17.00±0.42a	16.45±0.13c	82.22±4.12c	29.74±2.35a

2.2.2 对凉粉草品质的影响 由表 4 可知,不同处理的凉粉草总糖、多糖、总酚和总黄酮差异显著,且均是 T₄ 处理的最高。间作 (T₃、T₄、T₅) 处理的凉粉草多糖含量分别比单作 (T₂) 处理高 22.10%、43.86%、1.10%。总糖和多糖含量的顺序均为 T₄>T₃>T₅>T₂,总酚含量顺序为 T₄>T₂>T₃>T₅。可见甘蔗/凉粉草间作对甘蔗和凉粉草的品质均有所提升。

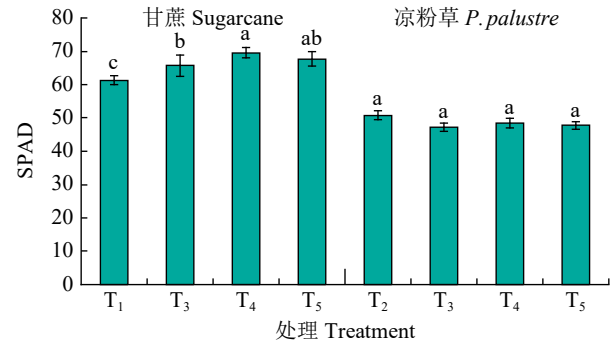
表 4 不同间作模式对凉粉草品质的影响
Table 4 Effects of different intercropping patterns on *P. palustre* quality

处理 Treatment	总糖 Total sugar	多糖 Polysaccharide	总酚 Total phenols	总黄酮 Total flavone
T ₂	99.94±4.38c	89.30±3.35c	25.39±1.38b	54.90±3.25b
T ₃	105.38±2.32b	109.04±5.28b	23.34±1.12c	62.88±2.32ab
T ₄	136.73±3.34a	128.47±2.43a	28.08±1.23a	65.28±1.38a
T ₅	105.67±3.25b	90.28±4.32c	23.33±2.12c	58.80±3.21c

2.3 不同间作模式对甘蔗和凉粉草光合性能的影响

2.3.1 对叶绿素含量的影响 叶绿素含量是反映叶片生理活性的重要指标之一。由图 1 可以看出,甘蔗的 SPAD 在不同处理间差异显著。与 T₁ 处理

相比,间作提高了甘蔗叶片 SPAD,即 T₃、T₄、T₅ 处理分别比 T₁ 处理高了 7.19%、13.39%、10.38%。与单作凉粉草相比,间作降低了凉粉草叶片 SPAD,即 T₃、T₄、T₅ 处理分别比 T₂ 处理低了 7.01%、4.65%、5.97%。



同一作物不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Different lowercase letters in the same crop indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 1 不同间作模式对甘蔗和凉粉草 SPAD 的影响
Fig.1 Effects of different intercropping patterns on SPAD of sugarcane and *P. palustre*

2.3.2 对叶片光合参数的影响 甘蔗和凉粉草的叶片光合参数见图 2 和图 3。随生育时期的推移,甘蔗叶片的 C_i 、 G_s 、 P_n 、 T_r 均明显下降,不同间作模式下,甘蔗叶片整个生育期的 C_i 和 G_s 变化趋势

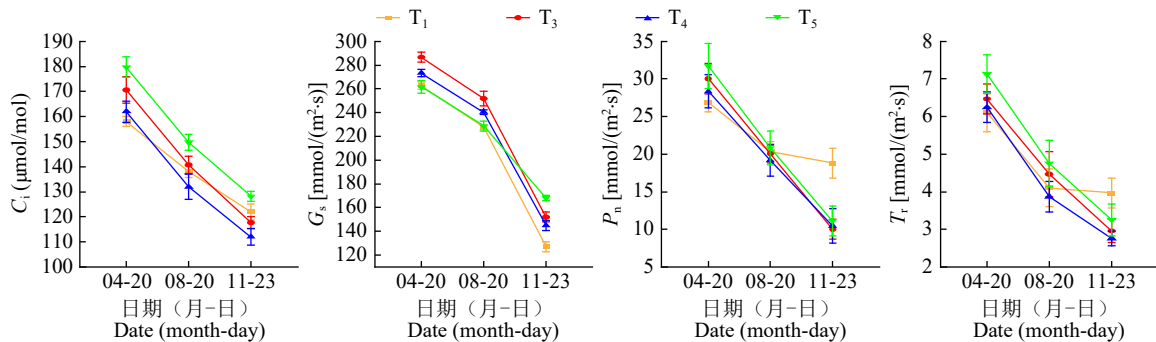


图 2 不同间作模式对甘蔗叶片光合参数的影响
Fig.2 Effects of different intercropping patterns on photosynthetic parameters of sugarcane leaves

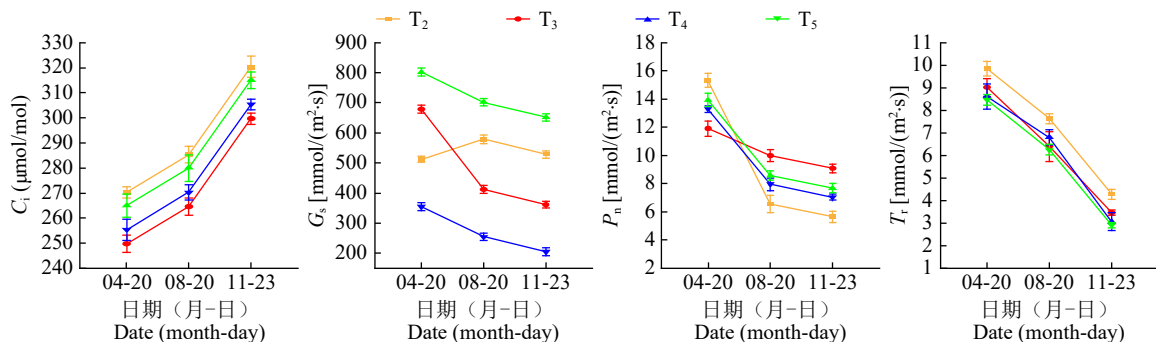


图 3 不同间作模式对凉粉草叶片光合参数的影响
Fig.3 Effects of different intercropping patterns on photosynthetic parameters of *P. palustre* leaves

一致，均是间作处理大于单作处理，但 P_n 和 T_r 在生育后期表现为单作处理大于间作处理。甘蔗的叶片光合参数高于凉粉草，凉粉草叶片 G_s 、 P_n 和 T_r 呈下降趋势， C_i 呈上升趋势。与单作凉粉草相比，间作种植明显降低了凉粉草叶片的 G_s 、 P_n 和 T_r 。不同间作模式相比， C_i 在整个生育期均表现为 $T_2 > T_4 > T_5 > T_3$ ， T_4 处理的 G_s 明显高于其他处理，单作处理的 T_r 明显高于其他处理。

2.4 不同间作模式对甘蔗和凉粉草产量及经济效益的影响

2.4.1 对产量与土地当量比的影响 由表 5 可看出，各处理的间作总面积产量差异显著，甘蔗和凉粉草间作处理产量均比单作处理低，甘蔗间作总面积产量最高为 115 083.33 kg/hm²，凉粉草最高为 5680.02 kg/hm²。T₃ 处理的总产量比其他处理高，

各处理间差异显著，总产量排序为 $T_3 > T_1 > T_5 > T_4 > T_2$ 。这与作物种植面积的比例有密切关系，需分析作物单位面积产量进一步说明甘蔗/凉粉草间作对产量的影响。从单位面积产量来看，T₃、T₄、T₅ 处理的甘蔗单位面积产量较单作 T₁ 处理分别提高了 96.92%、76.94%、26.96%，各处理间差异显著。同样，T₃、T₄、T₅ 处理的凉粉草单位面积产量较单作 T₂ 处理分别提高了 23.72%、17.90%、22.13%，但 3 个间作处理间差异不显著，说明间作模式对甘蔗和凉粉草均有增产作用，但更有利于甘蔗的增产。*LER* 作为衡量间作产量优势的指标，甘蔗/凉粉草间作的土地当量比均较单作提高，说明甘蔗/凉粉草间作对土地资源的利用较好，不同处理的土地当量比表现为 $T_3 > T_4 > T_5$ ，说明甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草模式对土地资源的利用最佳。

表 5 不同间作模式对甘蔗和凉粉草产量的影响
Table 5 Effects of different intercropping patterns on yield of sugarcane and *P.palustre*

处理 Treatment	间作总面积产量 Yield of total intercropping area (kg/hm ²)		总产量 Total output (kg/hm ²)	产量 Yield (kg/hm ²)		土地 当量比 LER
	甘蔗 Sugarcane	凉粉草 <i>P.palustre</i>		甘蔗 Sugarcane	凉粉草 <i>P.palustre</i>	
T ₁	115 083.33±5119.58a	—	115 083.33±5119.58c	115 083.33±5119.58d	—	1.00
T ₂	—	5680.02±1609.20a	5680.02±1609.20d	—	5680.02±1609.20b	1.00
T ₃	113 308.33±4876.37b	3513.53±368.72b	116 821.86±1125.12a	226 616.66±9752.74a	7027.06±737.44a	1.60
T ₄	101 812.50±1159.39c	3468.77±611.30b	105 281.27±2002.23b	203 625.00±2318.78b	6937.54±1222.60a	1.50
T ₅	109 583.33±2638.89c	1871.09±170.70c	111 454.42±1504.36c	146 111.11±1759.26c	6936.80±227.60a	1.28

2.4.2 对经济效益的影响 如表 6 所示，不同处理的净收益在 23 358.78~46 124.04 元/hm²，产投比在 1.45~3.07。T₃ 和 T₄ 处理比甘蔗单作（T₁）处

理净收益分别高 87.67%和 55.67%，同时 T₃ 处理比凉粉草单作 T₂ 处理净收益高 9.44%。T₃ 处理的产投比为 1.94，高于甘蔗单作处理（1.75）和其他

表 6 不同处理经济效益比较
Table 6 Analysis for economic benefits in different treatments

处理 Treatment	投入（元/hm ² ）Input (yuan/hm ²)			总投入（元/hm ² ） Total input (yuan/hm ²)	产出（元/hm ² ） Output (yuan/hm ²)	净收益（元/hm ² ） Net income (yuan/hm ²)	产投比 Output-input ratio
	种苗 Germchit	人工 Labor	物资 Materials				
T ₁	6000.00	27 339.58	5625.00	32 964.58	57 541.67	24 577.09	1.75
T ₂	19 200.00	10 300.00	10 036.00	20 336.00	62 480.22	42 144.22	3.07
T ₃	15 900.00	38 601.84	10 577.11	49 178.95	95 303.00	46 124.04	1.94
T ₄	17 100.00	39 414.20	11 488.50	50 902.70	89 062.72	38 160.02	1.75
T ₅	13 500.00	38 748.88	13 266.00	52 014.88	75 373.66	23 358.78	1.45

甘蔗种苗 6000 元/hm²，凉粉草苗 0.2 元/株，甘蔗市场价 500 元/t，凉粉草市场价 11 元/kg。甘蔗专用肥 3500 元/t，氯化钾 5000 元/t，尿素 2400 元/t，有机肥 700 元/t，复合肥 5000 元/t。其中甘蔗微耕机重新整碎地块 3000 元/hm²，播种 3000 元/hm²，打药 300.00 元/hm²，中耕除草 900.00 元/hm²，甘蔗收获 175 元/t；薄膜和喷带 6345 元/hm²，凉粉草整地开沟、施基肥、铺薄膜、拉喷带 3500.00 元/hm²，播种 1000.00 元/hm²，中耕除草 800.00 元/hm，收获 5000.00 元/hm²。
The sugarcane seedlings was 6000 yuan/hm², the seedling of *P.palustre* was 0.2 yuan/plant, the market price of sugarcane was 500 yuan/t, and the market price of *P.palustre* was 11 yuan/kg. Sugar cane special fertilizer 3500 yuan/t, potassium chloride 5000 yuan/t, urea 2400 yuan/t, organic fertilizer 700 yuan/t, compound fertilizer 5000 yuan/t. Among them, the sugarcane micro-cultivator rebroke the plot 3000 yuan/hm², sown 3000 yuan/hm², sprayed 300.00 yuan/hm², cultivated and weeding 900.00 yuan/hm², and sugarcane harvest 175 yuan/t; the cost for film and spray tape is 6345 yuan/hm², the cost for preparing the land, digging ditches, applying base fertilizer, laying film and pulling spray tape with *P.palustre* is 3500.00 yuan/hm². The cost for sowing is 1000.00 yuan/hm², the cost for hoeing and weeding is 800.00 yuan/hm², the cost for harvesting is 5000.00 yuan/hm².

间作处理，可见， T_3 处理即甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草模式的经济效益相对最优。

3 讨论

3.1 间作模式对作物农艺性状和品质的影响

甘蔗间作凉粉草是作物间作系统中的一种形式。在用地养地的前提下，通过本研究中可以确定合理的间作套种模式，使相同面积的田块在同一生长期内发挥其最大潜能。苗数、株高、茎径、有效茎数和单茎重等是甘蔗产量形成的重要农艺性状^[22]，李志贤等^[10]研究表明，间作模式对甘蔗产量构成因子（农艺性状）影响显著，同一施氮水平下，间作甘蔗茎径显著高于单作甘蔗 14.13%；间作甘蔗有效茎数、株高、单株生物量分别显著低于单作甘蔗 25.95%、15.81%和 16.91%。何洪良等^[12]研究发现，甘蔗宽窄行间作花生种植模式的甘蔗出苗率、分蘖率和有效茎数有所下降，茎径比对照提高了 5.12%。本研究结果表明，间作模式对甘蔗和凉粉草主要农艺性状影响不大，不同处理的甘蔗株高和茎径差异不显著，这与杨文亨等^[5]的研究结论一致。但本研究间作处理的有效茎数较单作处理低，单茎重比单作处理高，此结果与李志贤等^[4]在甘蔗间作花生模式下得出的结论相反，其研究表明间作条件下甘蔗有效茎数较单作处理高，单茎重比单作处理低，结果不同的原因可能与间作作物品种、种植密度和栽培管理技术等有关。本研究间作处理的凉粉草叶长和分枝长也比单作处理高，但分枝数比间作处理小，因为随着甘蔗生长，凉粉草受到的遮阴影响愈加严重，越到生育后期截获的直射光能越少，只能通过增加株高、减少分蘖来改善自身的受光环境，植株形态上表现为株高增加，叶片变长^[23]。在农作物的日常生产实践已经表明，间作和套种可通过改善种植区内的生态小环境，或利用作物自身特有的生理特点而达到品质改善的目的^[24]。本研究发现，甘蔗/凉粉草间作对甘蔗和凉粉草的品质都有所提升，各间作处理甘蔗品质指标均高于甘蔗单作处理，除了甘蔗锤度和甘蔗糖度外，其他与对照相比均差异显著。特别是甘蔗重力纯度，其范围为 80.97%~84.55%，已达到一级原料蔗标准^[11]。不同处理的凉粉草品质性状也差异显著，间作处理的总黄酮、总糖和多糖含量均高于凉粉草单作处理。凉粉草的多糖含量是评价凉粉草品质优劣的最主要指标，多糖含量的高低决定着凉粉

草的加工用途^[25]，本研究凉粉草多糖含量最高，比对照高 43.86%，说明甘蔗/凉粉草间作对凉粉草的品质提升明显。这与甘蔗间作对作物品质有所提升的研究一致^[10-11]。

3.2 间作模式对作物光合性能的影响

光合产物积累是作物产量形成的基础，绿色植物生产积累的干物质有 90%~95%直接或者间接来自光合作用，仅有 5%~10%来自根部对营养物质的吸收^[26]。焦念元等^[27]研究发现，玉米/花生间作有利于提高叶面积指数，间作玉米和花生分别比单作玉米和单作花生高出 18.48%和 63.63%。武岩岩等^[28]研究表明，在芝麻或玉米与花生间作行比为 2:4 的条件下，芝麻花生间作体系的花生 P_n 要高于玉米花生间作体系。甘蔗是 C_4 作物，也是高光效作物，其光饱和点较高，凉粉草是草本植物，在甘蔗中间作凉粉草不会造成甘蔗的郁闭，同时可以提高光能利用效率^[29]。在本研究中，凉粉草属于低位作物，甘蔗属于高位作物，由于低位作物受到高位作物遮阴的影响，受光条件相对处于劣势，光合效率总体有所下降^[26]。间作凉粉草功能叶的 P_n 明显低于间作甘蔗，但间作降低了凉粉草的光饱和点，在相同非饱和光（弱光）下，间作凉粉草的 P_n 高于单作凉粉草。钱必长等^[30]分析认为在花生棉花间作系统中，间作降低了花生叶片叶绿素含量和 P_n ，但在本研究中凉粉草的 P_n 随着生长发育是逐渐增大的，因为凉粉草的生育期短，当凉粉草处于生长旺盛期时，甘蔗还处于幼苗期，甘蔗对凉粉草的遮阴影响不显著，因此，间作处理的凉粉草叶绿素和单作处理相比差异也不显著。从不同间作模式来看， T_4 处理即甘蔗等行距 2.4 m 间作凉粉草模式的凉粉草平均 P_n 和 T_r 高于其他 2 种间作模式，但对于甘蔗， T_5 处理即甘蔗宽窄行间作凉粉草模式的平均 P_n 和 T_r 比其他处理高，可能是由于不同间作模式叶片受到的遮阴程度不同，而该模式更有利于改善作物的受光状况，协调间作体系对光能的利用^[1]。

3.3 间作模式对作物产量和经济效益的影响

多个研究^[12-15]表明，甘蔗间套种其他作物，不仅能够甘蔗产量上得到一定的保障，而且还能够提高土地单位面积的产出和收益。例如，甘蔗间种菜用大豆试验表明，在保证甘蔗品质和产量的前提下，以第 2 播期间种 2 行中熟大豆品种效果最好^[15]。若要综合经济效益最高，则是第 2 播期间种 2 行的晚熟大豆品种最好。李志贤等^[10]研究表明甘蔗一甜

玉米间作是实现甘蔗优质、高效种植的可行途径,其中甘蔗/甜玉米 1:1 间作模式更为优化,其经济效益和土地利用效率分别高于单作 26.25%和 36.00%。本研究结果表明,甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草比甘蔗单作净收益高 87.67%,该模式的产投比为 1.94,是比较优化的种植模式。有研究^[3]表明,甘蔗/玉米间作,甘蔗产量及效益成本较单作甘蔗均有提高,实施宽窄行甘蔗间作玉米能很好地改良田间小气候,提高经济效益。何洪良等^[12]的研究也表明甘蔗宽窄行间作花生种植模式可增加蔗地综合经济效益,每亩纯收益增加 403 元。而本试验实施的宽窄行甘蔗间作凉粉草所得的产量和经济效益比其他处理低,与上述研究结果不一致,说明宽窄行种植模式不适用于甘蔗间作凉粉草,原因在于实施宽窄行间作时,凉粉草可种植的株数相对要少,导致凉粉草收益少,总的经济效益就比其他间作模式少。本研究等行距 2.0 m 甘蔗间作凉粉草模式的产量和经济效益最高,说明该模式更适合甘蔗和凉粉草间作种植。有研究^[31]表明,当 2 种作物间作时,按照生物学原理,竞争作用小于促进作用时,表现出间作优势,竞争作用大于促进作用时,则表现为间作劣势。本研究不同甘蔗/凉粉草间作模式的土地当量比均比单作高,说明甘蔗和凉粉草间作表现出了间作优势,其中甘蔗等行距 2.0 m 套种凉粉草模式的土地当量比最高,净收益和产投比均较高,说明该模式是适用于生产上甘蔗间作凉粉草种植的。

4 结论

甘蔗/凉粉草间作种植模式下作物的品质、总产量及经济效益明显优于单作。甘蔗和凉粉草间作表现出间作优势,土地当量比表现为 $T_3(1.60) > T_4(1.50) > T_5(1.28)$,净收益表现为 $T_3 > T_2 > T_4 > T_1 > T_5$,综上可得,甘蔗等行距 2.0 m 间作凉粉草模式是甘蔗凉粉草间作的最佳模式。

参考文献

- [1] 杨建波,彭东海,覃刘东,等. 低氮条件下甘蔗-大豆间作对甘蔗产量、品质及经济效益的影响. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1426-1432.
- [2] Govinden N, Anason J T. The relative importance of competition for water and for light in intercropping of sugar-cane with maize. Agricultural Water Management, 1990, 17: 233.
- [3] Kamruzzaman M, Hasanuzzama M. Factors affecting profitability of sugarcane production as monoculture and asintercrop in selected areas of Bangladesh. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 2007, 32: 433-444.
- [4] 李志贤,王建武,杨文亨,等. 甘蔗/大豆间作减量施氮对甘蔗产量、品质及经济效益的影响. 应用生态学报, 2011, 22(3): 713-719.
- [5] 杨文亨,李志贤,舒磊,等. 甘蔗/大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响. 生态学报, 2011, 31(20): 6108-6115.
- [6] Suman A, Lal M, Singh A K, et al. Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugar-cane intercropping systems. Agronomy Journal, 2006, 98: 698-704.
- [7] Bokhtiar S M, Hossain M S, Mahmud K, et al. Site specific nutrient management for sugarcane potato and sugar-cane onion intercropping systems. Asian Journal of Plant Sciences, 2003, 2: 1205-1208.
- [8] 沈君辉,聂勤,黄得润,等. 作物混植和间作控制病虫害研究的新进展. 植物保护学报, 2007, 34(2): 209-216.
- [9] 罗玉. 凉粉草多糖对不同直链含量玉米淀粉凝胶特性的影响及凉粉草布丁产品的研发. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [10] 李志贤,杨文亨,王建武. 甘蔗-甜玉米间作对甘蔗产量、品质及经济效益的影响. 生态学杂志, 2014, 33(1): 98-104.
- [11] 谢金兰,王维赞,李长宁,等. 不同间种绿豆方式对甘蔗产量和品质的影响研究. 西南农业学报, 2014, 27(2): 555-558.
- [12] 何洪良,韦海球,江清梅,等. 甘蔗宽窄行间作花生对甘蔗产量、品质及经济效益的影响. 中国热带农业, 2021(6): 55-58.
- [13] 肖健,韦星璇,杨尚东,等. 间作西瓜对甘蔗产量效益和根际土壤理化性质及微生态的影响. 作物学报, 2023, 49(2): 526-538.
- [14] 杨建波,彭东海,覃刘东,等. 低氮条件下甘蔗-大豆间作对甘蔗产量、品质及经济效益的影响. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1426-1432.
- [15] 孟庆宝,方锋学,龙明华,等. 甘蔗间种菜用大豆对甘蔗产量、品质及间种后综合经济效益的影响. 中国农学通报, 2011, 27(24): 169-173.
- [16] 吴海宁,黄志鹏,唐秀梅,等. 甘蔗花生间作下不同氮磷钾配施对花生养分吸收及产量效益的影响. 中国油料作物学报, 2023, 45(1): 155-163.
- [17] 黎萍,黄小娟,梁振华,等. 木薯与凉粉草套种高产高效栽培技术研究. 农业研究与应用, 2021, 34(1): 15-19.
- [18] 谭秋锦,王文林,陈海生,等. 石漠化澳洲坚果园土壤养分及 pH 值空间异质性分析. 中国农学通报, 2020, 36(2): 80-83.
- [19] 杨文亨,李志贤,赖健宁,等. 甘蔗-大豆间作和减量施氮对甘蔗产量和主要农艺性状的影响. 作物学报, 2014, 40(3): 556-562.
- [20] 赖志明,宋晓娟,魏星任,等. 基于主成分分析的不同产地凉粉草质量评价. 安徽农业科学, 2022, 50(10): 172-176.
- [21] 黄渝岚,刘文君,李艳英,等. 木薯田间作不同密度南瓜对作物产量、经济效益及土地生产力的影响. 作物杂志, 2024(5): 125-130.
- [22] 丘立杭,范业磨,周慧文,等. 合理密植下强分蘖甘蔗品种性状及产量分析. 热带作物学报, 2019, 40(6): 1075-1082.
- [23] 夏微. 基于 SLAF-seq 技术的凉粉草居群遗传多样性分析. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [24] 张旭升. 甘蔗间种菜用大豆对其产量品质及土壤理化性状的影响. 南宁: 广西大学, 2014.
- [25] 林丽华. 凉粉草多糖提取优化、理化性质及流变凝胶特性研究. 南昌: 南昌大学, 2018.
- [26] 熊军,闫海锋,韦绍丽,等. 木薯+花生间作对作物光合特性、农艺性状和产量的影响. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 165-168.
- [27] 焦念元,宁堂原,赵春,等. 玉米花生间作复合体系光合特性的研究. 作物学报, 2006, 32(6): 917-923.

- [28] 武岩岩, 汪江涛, 李雪, 等. 花生与玉米和芝麻间作的产量及经济效益分析. 中国生态农业学报, 2021, 29(8): 1285-1295.
- [29] 黄进勇, 李新平, 孙敦立. 平原冬小麦—春玉米—夏玉米复合种植模式生理生态效应研究. 应用生态学报, 2003, 14(1): 51-56.
- [30] 钱必长, 赵晨, 赵继浩, 等. 不同花生棉花间作模式对花生生育后期生理特性及产量的影响. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2422-2430.
- [31] 程玉柱, 李龙, 周琴, 等. 玉米/大豆不同配置下的玉米生长和产量形成研究. 南京农业大学学报, 2016, 39(1): 34-39.

Effects of Intercropping of Sugarcane and *Platostoma palustre* on Crop Yield, Quality and Economic Benefit

Lan Xiu¹, Li Hengrui¹, He Hongliang¹, Ma Xianhua¹, Huang Xiaojuan¹, Li Tianyuan¹, Wei Haiqiu¹, Jiang Qingmei¹, Ruan Lixia¹, Yang Haixia¹, Liu Bingji², Tang Danfeng³

(¹Guangxi South Subtropical Agricultural Sciences Research Institute, Longzhou 532415, Guangxi, China;

²Guangxi Yufeng Health Food Co., Ltd., Nanning 530000, Guangxi, China;

³Guangxi Botanical of Medicinal Plants, Nanning 530000, Guangxi, China)

Abstract In order to investigate the effects of different sugarcane/*Platostoma palustre* intercropping patterns on crop agronomic traits, quality and economic benefits, the sugarcane variety “Guinanzhe 08212” and the *Platostoma palustre* variety “Lingshandayecao” were used as experimental materials under field cultivation conditions. The two control treatments of single cropping sugarcane (T₁) and single cropping *P. palustre* (T₂) were set, and three intercropping patterns including sugarcane with an equal row-spacing of 2.0 m intercropped with *P. palustre* (T₃), sugarcane with an equal row-spacing of 2.4 m intercropped with *P. palustre* (T₄), and sugarcane with narrow and wide rows intercropped with *P. palustre* (1.2 m+2.4 m) (T₅). The results showed that, compared with single cropping treatment, the single stem weight of sugarcane and the leaf length and branch length of *P. palustre* were increased by intercropping. In addition to cane malleability and sugarcane sugar content, other sugarcane quality indexes of intercropping were significantly different from those of single cropping. Different intercropping patterns decreased the yield of sugarcane and *P. palustre*, but the total economic output value increased compared with single cropping treatment. The land equivalent ratio of different treatments was T₃ (1.60) > T₄ (1.50) > T₅ (1.28), indicating that the intercropping of sugarcane and *P. palustre* was superior. The net income of T₃ treatment was higher than that of other treatments, and the output value was 46 124.04 yuan/ha, and the output-input ratio was 1.94, which was higher than those of other intercropping treatments. In conclusion, the sugarcane equal row-spacing 2.0 m intercropped with *P. palustre* is the best pattern for sugarcane intercropping. It can be widely applied in the production of sugarcane intercropping.

Key words Sugarcane; *Platostoma palustre*; Intercropping pattern; Yield; Quality; Economic benefit