



中国热带作物学会第十一次全国会员代表大会 暨 2024 年全国热带作物学术年会

产研融合共促热作产业高质量发展

论文集

2024年9月10-14日

海南·海口



目录

基于相关性分析和变异系数法对 46 份菠萝种质资源果实性状的分析与评价	1
菠萝产业发展情况报告及建议	8
广东雷州半岛‘芒果菠萝’高效优质栽培技术及发展建议	14
湛江农垦菠萝产业工作现状、问题与高质量发展措施探讨	20
诺丽精油微乳体系的构建及其稳定性和抑菌活性研究	23
菠萝蛋白酶的研究及其应用	37
广东农垦五一农场利用光伏板下土地	41
我国热带地区发展林下经济的一些思考	46
间种平托花生背景下不同钙镁硅肥用量对剑麻生长	
徐闻县红星农场菠萝品牌建设高质量发展实践报告	58
关于两广地区剑麻纤维抽检情况的报告	62
浅谈酵母在食用酒精发酵方式应用	66
湛江农垦 2022—2023 年农机装备建设现状与思考	68
入榨甘蔗品种配置对糖厂产糖率影响	73
First Report of Leaf Spot Disease on Avocado Caused by <i>Bipolaris setariae</i> in China	76
基于双因素方差分析探究覆膜和施肥对甘蔗出苗的影响	80
广东农垦南药种业创新发展现状及对策研究	90
化橘红种质资源改接换种试验初报	100
橡胶林下种植南药的可行性与发展策略探讨	106
粉蕉抗逆生理及成熟基因表达的研究	108
化零为整成规模，强化管理出效益	119
浅谈湛江垦区发展甘蔗分步式机收前	122
基于双因素方差分析探究覆膜和施肥对甘蔗出苗的影响	125
内生菌抑菌基因克隆及序列分析与表达产物的抑菌作用研究	133
3 种葛根叶绿体基因组的特征与比较分析	134
芋婆及其近缘种种质资源调查、评价及核心种质构建	135
榴槿重要害虫——马来异裂木虱 <i>Allocarsidara malayensis</i> (Crawford) (半翅目：裂木虱科) 在中国的发现 及识别	136
天然橡胶加工工艺中磷的迁移特征研究	137
滨海植物碱蓬、马鞍藤生物学分析和基因组解析	138



五个芒果品种的不同成熟度果实挥发物的鉴定	139
CC-type glutaredoxins regulate abiotic stress responses in cassava	140
柑橘木虱保幼激素合成酶 JHAMT 及降解酶 JHEH 对卵黄原蛋白的调控	141
PeWRKY20 通过抑制 PeMDH1 调控西番莲采后苹果酸代谢和风味形成	142
生防链霉菌 17-7 促生特性分析	143
Combined physiology, transcriptome and metabolome analysis reveals how potassium governs low-temperature tolerance in coconut (Cocos nucifera L.) seedlings	144





基于相关性分析和变异系数法对 46 份菠萝种质资源果实性状的分析与评价

苏增强 姚雷业 胡小忠 庞生 覃金转 经福林 张曼其*

(1. 广东省湛江农垦科学研究所, . 广东农垦热带农业研究院有限公司)

摘要: 为了深入了解评价菠萝种质资源果实性状的特征, 为菠萝种质资源的研究和开发利用提供理论依据和参考。以份菠萝种质种质资源为样本, 利用变异系数法和相关性分析对单果重、果实横径、果实纵径、果形指数、果肉可溶性固形物含量和糖酸比等果实性状进行分析评价。结果表明: 份地方菠萝种质果实的 个描述性状共检测出 个变异类型, 平均变异类型为. 个。其中, 果实颜色变异类型最多, 为 个; 其次为果肉颜色和质地成熟期, 均为 个; 各性状的变异类型频率分布不同。各性状的 Shannon-Weaver 指数差异也较大, 范围在 .-. 之间, 均值达到 ..

关键词: 菠萝; 种质资源; 相关性分析; 多样性分析; 果实性状

Analysis and evaluation of fruit traits in pineapple germplasm resources based on correlation analysis and coefficient of variation method

Su Zengqiang Yao Leiye Hu Xiaozhong Pan Sheng Qin Jinzhuan

Jing Fulin Zhang Manqi

Guangdong Agricultural Reclamation Institute of Tropical Crops Science Guangdong Agricultural Reclamation Academy of Tropical Agricultural Co.,Ltd.

Abstract: In order to gain a deeper understanding of the characteristics of fruit traits in evaluating pineapple germplasm resources, and to provide theoretical basis and reference for the research and development of pineapple germplasm resources. Using

作者简介 苏增强 (1992—), 男, 硕士研究生; 研究方向: 热带作物产业化技术研发与应用; E-mail: zjnkys@163.com

pineapple germplasm resources as samples, the coefficient of variation method and correlation analysis were used to analyze and evaluate fruit traits such as single fruit weight, fruit transverse diameter, fruit longitudinal diameter, fruit shape index, soluble solid content in fruit flesh, and sugar acid ratio. The results showed that a total of types of variation were detected in descriptive traits of local pineapple germplasm fruits, with an average of . types of variation. Among them, there are types of fruit color variation with the highest number; Next is the ripening period of flesh color and texture, both of which are ; The frequency distribution of variation types for each trait is different. The Shannon Weaver index of each trait also varies greatly, ranging from . to ., with a mean of ..

Keyword: Pineapple; Germplasm; Correlation analysis; Diversity analysis; Fruit traits



前言

菠萝[*Ananas comosus* (L.) Merr.]属于凤梨科凤梨属多年生单子叶常绿草本植物,原产于南美洲,是全球三大热带水果之一。我国是菠萝生产和消费大国,但不是菠萝贸易强国(刘海清,),据统计,全国菠萝种植面积的 %是皇后类品种巴厘(孙伟生),该品种已种植 多年,在品质和外观等方面缺乏竞争力(邓春梅,)。品种单一严重制约了我国菠萝产业的发展,需要选育新的优良的品种满足市场需求(金琰, 2013)。因此,需要研究菠萝种质资源的各性状变异情况,发掘优异种质,为育种亲本的选择提供科学数据。果实作为重要的商品器官,果实性状的鉴定评价尤为重要。近年来,我国生产企业和科研机构等从境外引进菠萝种质进行试种应用,市场上不断出现新的品种,市场的管理和规范也需要对进入流通和市场领域中的果实仅通过果实外观实现品种的快速识别和鉴定。菠萝果实性状包括外观性状和内在品质性状两方面。内在品质主要包括果实的糖、酸含量以及糖酸比、香气、果肉纤维素含量、矿质成分和维生素含量等;外观性状包括果实大小、形状、果实颜色、果眼大小、果眼深度等,这些性状也是消费者购买鲜果的重要依据。贺军虎等()对 份菠萝种质资源的株高、叶长、叶刺的多少、果实的大小、口感、风味等果实品质进行描述和评价,结果表明上海 号是较好的鲜食和加工皆宜品种,品种 ST 口感较好,是一个优良的鲜食品种;张锡铜等()利用主成分分析的方法对 份菠萝果实的一个外观性状进行评价比较,结果显示, Pattawia、冬蜜、无刺卡因、甜蜜蜜 个品种综合表现优良;严程明等()对一个菠萝品种的果眼深度和可溶性糖、可滴定酸和可溶性固形物含量进行比较分析,结果表明黄金菠萝的果实品质最优。还有不少研究者对不同品种菠萝果实的某些单一品质进行研究和评价,如采用高效液相色谱法分别对 份菠萝种质果实中可溶性糖组分和含量及 份菠萝种质果实中的有机酸组分和含量进行测定分析,以比较不同类群及种质间的差异和特点(陆新华,)。魏长宾()对一个菠萝品种香气成分及特征进行分析,李苗苗等()对不同品种菠萝的维生素组分及含量进行了评价和比较,杨祥燕等()对菠萝果实的颜色及色素组分进行了研究,但是目前对菠萝种质资源果实性状全面分析的研究报告比较少,本试验基于相关性分析和变异系数法对份菠萝种质资源果实性状进行分析评价,为菠萝种质资源的利用与开发提供参考。

1. 材料与方法

1.1 试验材料与果实性状调查

供试材料为湛江农垦科学研究所菠萝种质资源圃(位于广东省湛江市麻章区)中保存的份菠萝种质资源,来源和种质名称见表。

试验与一年进行,参照《NY/T2813-2015 热带作物种质资源描述规范 菠萝》(杜丽清 等, 2015)在各个试验材料果实成熟期随机收集 15 个成熟果实带回实验室保鲜储存,进行 25 个果实性状指标的观察和测定。其中 9 个描述性状采用目测观察法和品尝法,并对各类型性状赋值,见表 2。

表 试验所用的份种质资源

序号	收集号	种质名称	序号	收集号	种质名称
1	ZK01	红香菠萝	24	ZK24	台农 9 号
2	ZK02	神湾菠萝	25	ZK25	台农 11 号
3	ZK03	汕尾卡因	26	ZK26	台农 13 号
4	ZK04	小目手撕	27	ZK27	台农 16 号
5	ZK05	红顶巴厘	28	ZK28	台农 17 号



6	ZK06	黑皮菠萝	Heipiboluo	29	ZK29	台农 18 号	Tainong 18
7	ZK07	本地卡因	Zhanjiang Cayenne	30	ZK30	台农 19 号	Tainong 19
8	ZK08	福建卡因	Fujian Cayenne	31	ZK31	台农 20 号	Tainong 20
9	ZK09	广西卡因	Guangxikayi	32	ZK32	台农 21 号	Tainong 21
10	ZK10	美国卡因	Hawaiian Cayenne	33	ZK33	台农 22 号	Tainong 22
11	ZK11	沙撈越菠萝	Sarawak Ananas	34	ZK34	台农 23 号	Tainong 23
12	ZK12	泰国卡因	Thailand Cayenne	35	ZK35	236 菠萝	Pineapple 236
13	ZK13	无刺卡因	Smooth Cayenne	36	ZK36	136 菠萝	Pineapple 136
14	ZK14	台湾卡因	Taiwan Cayenne	37	ZK37	红菠萝	Hongboluo
15	ZK15	澳洲卡因	Australia Cayenne	38	ZK38	红果菠萝	Hongguoboluo
16	ZK16	云南卡因	Yunan Cayenne	39	ZK39	马来西亚菠萝	Malaysia Ananas
17	ZK17	丰收卡因	fengshou Cayenne	40	ZK40	新华 1 号	XihuaNO.1
18	ZK18	黄金菠萝	MD-2	41	ZK41	粤脆菠萝	Yuecui boluo
19	ZK19	海南无刺	Hainan Cayenne	42	ZK42	自选 1 号	ZK NO.1
20	ZK20	本土 8 号	Zhanjiang NO.8	43	ZK43	珍珠菠萝	Zhenzhuboluo
21	ZK21	皇后菠萝	Queen Ananas	44	ZK44	开台 1 号	Kaitai 1
22	ZK22	台农 4 号	Tainong 4.	45	ZK45	本地巴里	Zhanjiangbali
23	ZK23	台农 6 号	Tainong 6	46	ZK46	菲律宾巴里	Philippines Ananas

果实数量性状中，分别采用 ATORN 便携式电子游标卡尺、爱拓糖酸度计、电子天平、DV2T 质构仪测定果实横径、纵径、冠芽长度、可溶性固形物、单果质量、果实硬度和质地；采用 2,6-二氯靛酚滴定法（GB/T6195-1986 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法）、3,5-二硝基水杨酸比色法（NY/T 2742-2015 水果及制品可溶性糖的测定）、酸碱滴定法测定维生素 C 含量、可溶性糖含量和可滴定酸含量。

1.2 数据分析

采用 Excel 和 SPSS24.0 进行数据的整理、多样性指数计算及差异显著性分析。描述性状以各类型相应赋值计算；数量性状划分为 10 级，1 级为 $< x - 2\sigma$ ，10 级 $\geq x + 2\sigma$ ，中间每级相差 0.5σ ， σ 为标准差。果实性状多样性以 Shannon-Weaver (H') 指数估算，即 $H' = -\sum P_i \ln(P_i)$ ， P_i 指该性状第 i 个类型种质份数所占总份数的百分比（潘存祥 等，2015）

表 2 菠萝的 9 个描述性状和赋值

性状	各类型赋值 Assignment of each type						
Character	1	2	3	4	5	5	7
形状	扁圆形	圆形	卵圆形	圆柱形	圆锥形	锥形	橄榄形
颜色	黑色	深绿色	绿色	浅黄色	黄色	金黄色	红色
果肉质地	极粗	粗	中	细	极细		



果肉类型	紧实	脆	中	柔软	细腻		
风味	酸	微酸	酸甜	淡甜	甜		
果心大小	大	中	小				
果肉粗纤	多	中	少				
维含量							
成熟期	三月下旬	四月	五月	六月	七月	八月	九月

2. 结果与分析

2.1 果实描述性状分析

如图 1 所示, 46 份地方菠萝种质果实的 9 个描述性状共检测出 55 个变异类型, 平均变异类型为 3.7 个。其中, 果实颜色变异类型最多, 为 7 个; 其次为果肉颜色和质地成熟期, 均为 4 个; 各性状的变异类型频率分布不同。各性状的 Shannon-Weaver 指数差异也较大, 范围在 0.324-1.660 之间, 均值达到 1.107, 最大为果皮颜色, 最小为果点明显程度, 表明供试菠萝种质的果实描述性状变异类型丰富。

果实外观性状: 果实形状的 7 个类型中, 以圆锥形最多, 其次为扁圆形, 圆柱形和橄榄形种质各 1 份; 果皮颜色多为黄色、绿色和金黄色, 分别占比为 24.0%、22.0%和 20.0%。

内在感官性状: 果肉质地中等和粗类型较多, 占供试种质的 87.0%, 发现 1 份肉质极细种质, 为台农 16; 果肉脆和中等类型居多, 分别占 50.0%和 40.0%, 其余为果肉极粗和细腻, 各 4 份和 1 份; 果肉粗纤维量主要为中等类型, 占 44.4%; 风味酸甜较多, 占 50.0%, 其次为淡甜, 占 24.0%, 发现风味酸类型 3 份, 分别为自选 3 号、‘136 菠萝’、‘本土 8 号’; 试验中的菠萝种质 54%果心小, 果心中等和大分别占 22.0%和 24.0%。

成熟期: 果实成熟期从 3 月下旬至 9 月中旬, 整体偏向于中晚熟, 主要集中在 5 月下旬、6 月中旬和七月下旬 3 个时期, 分别占总种质份数的 18.0%、32.0%和 30.0%, 共占 80%; 而台农 23 号和丰收卡因在 10 月中旬成熟, 为极晚熟种质。

表 3 菠萝的 9 个描述性状变异类型频率

性状	各类型变异频率 % Assignment of each type						
Character	1	2	3	4	5	5	7
形状	7	16	10	20	40	5	2
颜色	2	10	24	18	黄 22	20	4
果肉质地	7	35	52	6		20	2
果肉类型	4	50	40	4	2		
风味	12	8	50	24	6		
果心大小	22	54	24				
果肉粗纤	27.8	44.4	27.8				
维含量							
成熟期	4	8	28	20	24	18	10

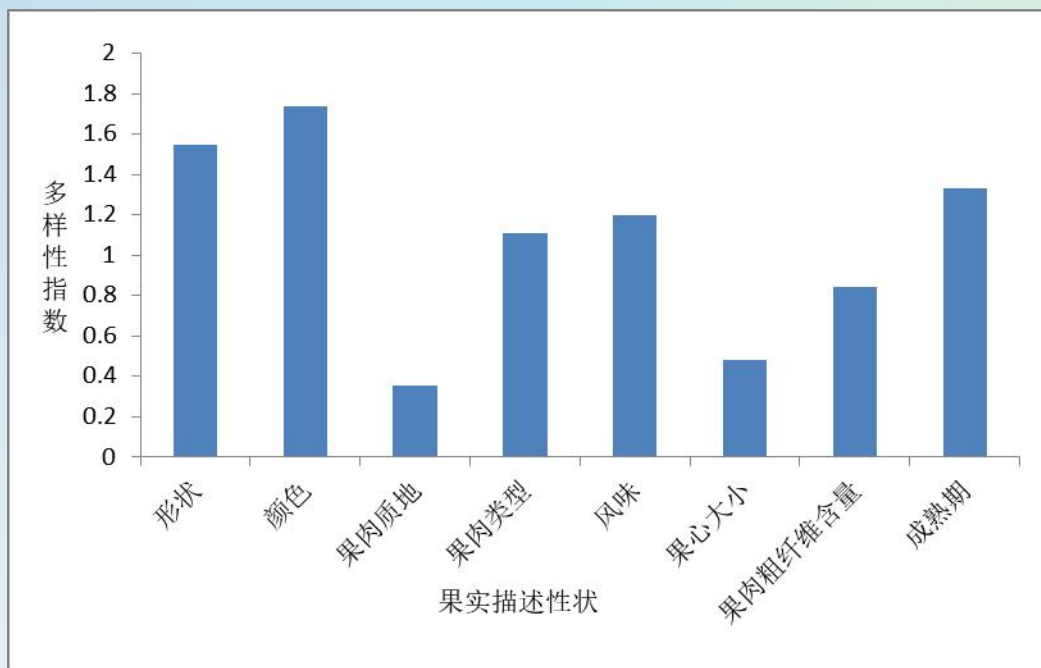


图 1 果实描述性状多样性指数

2.1.2 数量性状

46 份地方菠萝种质果实的 9 个数量性状变异系数范围为 9.83%~67.60% (表 4), Shannon-Weaver 多样性指数达到 1.698~2.341, 表明试验菠萝种质果实数量性状多样性丰富。

果实大小: 单果质量、横径、纵径和果形指数均值分别为 1426 g、12.87cm、17.56 cm 和 0.97, 其中单果质量变异系数最大为 54.32%, 多样性指数均超过 1.80。单果质量最大为‘台农 21 号’ 4684.4 g, 最小为‘珍珠菠萝’ 323.30g, 其中 1500 g 以上种质份数占 70.3%, 2000 g 以上种质占 20%; 纵径最长为‘台农 21’ 达 42.67 cm, 最短为‘珍珠菠萝’ 6.95 cm; 横径最长为‘台农 6 号’ 11.81 cm, 最短为‘海南无刺’ 5.21 cm; 果形指数最大为‘台农 21’, 最小为‘马来西亚’ 0.78。

冠芽性状: 冠芽长度和粗度均值分别为 8.91 cm 和 3.05 mm, 变异系数 36.22%和 21.09%, 多样性指数达 1.901 和 1.843。最长为‘垦引 1911’ 达到 25.31 cm, 最短为‘台农 23’和‘红顶巴厘’ 3.05 cm; 最粗为‘台农 21’, 5.60 cm。

果肉性状: 果肉硬度、可溶性固形物、可溶性糖和可滴定酸含量均值分别为 4.96 kg · cm⁻²、16.81%、8.61%和 0.64%, 变异系数最大为果肉可滴定酸含量(48.26%), 而可溶性糖含量多样性指数达到 2.074。果肉硬度最大为‘丰收无刺’ 7.38 kg · cm⁻², 最小为‘台农 16’ 1.64 kg · cm⁻²; 可溶性固形物含量平均值为 16.81%最高为‘自选 3 号’ 24.61%, 最低为‘红皮菠萝’ 11.24%; 可溶性糖含量最高为‘台农 17’ 达 10.64%, 最低为‘广西卡因’ 4.54%; 可滴定酸含量最高为‘黑皮菠萝’ 4.614%, 最低为‘台农 16’ 1.207%。果肉固糖酸比的平均值分别达到 45.24, 变异系数分别达到 41.14%; 糖酸比最大为‘本土 8 号’ 50.28, 最小为‘黑皮菠萝’ 10.98; 果肉维生素 C 含量的平均值为 0.0570 mg · g⁻¹, 最高为‘粤脆菠萝’ 0.1026mg · g⁻¹。

表 4 46 份地方种质资源果实 9 个数量性状多样性分析

性状	平均值	最大值	最小值	标准差	变异系数%	多样性指数
横径/cm	12.87	22.31	8.66	19.87	20.81	1.826



纵径/cm	17.56	36.97	9.12	29.57	28.33	1.856
果眼数/个	35	59	23	25.6	37.82	1.876
果形指数	0.97	1.49	1.01	0.17	12.44	2.003
冠芽长度/cm	8.91	25.31	3.05	17.76	15.52	1.677
单果质量/g	1426.7	4684.4	323.3	587.6	54.32	2.341
可溶性糖含量/%	8.61	10.64	4.54	3.41	28.76	2.074
可滴定酸含量/%	0.79	1.08	0.48	0.35	48.26	1.932
糖酸比	45.24	116.32	14.70	42.41	41.14	1.901
可溶性固溶物含量/%	16.81	24.61	11.24	13.16	30.15	1.843
维生素 C 含量	0.0570	0.1026	0.0280	0.0197	31.88	1.769

• 菠萝种质资源果实性状间的相关分析结果如表 5 所示。菠萝种质资源果实单果质量与果实横径、纵径冠芽长度等性状呈极显著相关，其中菠萝单果质量、果实横径、果实纵径体现的是菠萝果实的大小相一致，冠芽的长度也在一定程度上与果实大小有关。菠萝果眼数与果形指数呈极显著正相关，有可能是小果数量增多时，小果发育相互拥挤，倾向纵向生长，使得小果的果眼也纵向发育，同时小果数增多形成更长的果实纵径，导致较高的果形指数。决定菠萝果实加工利用率的果眼深度、果形指数与单果质量、果实横径、果实纵径等体现菠萝果实大小的性状彼此不相关，表明选育品种时需要同时兼顾两类性状，才能选择到符合要求的个体。

性状	横径	纵径	果眼数	果形指数	冠芽长度	单果质量	可溶性糖含量	可滴定酸含量	糖酸比	可溶性固形物含量	维生素 C 含量
横径	1.00										
纵径	0.931**	1.00									
果眼数	0.467	0.607*	1.00								
果形指数	0.089	0.474	0.712**	1.00							
冠芽长度	0.584*	0.674**	0.377	0.518	1.00						
单果质量	0.934**	0.947**	0.898**	0.226	0.831**	1.00					
可溶性糖含量	-.0343	-0.388	0.176	-0.211	-0.275	0.188	1.00				
可滴定酸含量	-0.688*	-0.576*	-0.684*	.0321	-0.284	-0.48	-0.718*	1.00			
糖酸比	0.414	0.371	0.458	0.446	-0.156	-0.43	0.886**	-0.910**	1.00		
可溶性固形物含量	0.304	-.0189	0.337	-0.286	0.341	-0.40	0.784**	-0.240	0.689	1.00	
维生素 C 含量	-0.264	0.34	0.567*	-0.372	0.220	0.463	-0.549*	0.667*	0.507	0.468	1.00

表 5 菠萝种质资源果实数量性状相关性分析



3. 结论与讨论

本文对 46 份菠萝种质资源果实品质性状进行遗传多样性、相关性分析和变异性分析结果表明:在果实的 11 个主要数量性状中, 变异系数变化很大, 其中, 单果重的变异幅度最大, 变异系数为 54.32%; 果形指数的变异系数最低, 仅为 12.44%; 其余 9 个数量性状变异系数在 15%-48% 之间。变异系数大, 表明性状具有较为丰富的遗传信息和利用潜力; 变异系数小, 说明遗传较为稳定。不同菠萝种质各性状指标间差异极显著。

相关性分析结果表明: 单果重与果实纵径、果实横径和果汁率呈极显著的正相关, 与可食率呈显著的正相关; 果汁率与固酸比呈显著的正相关; 可滴定酸含量与单果重、果实纵径、果实横径、果汁率和固酸比呈显著的负相关; 可溶性固形物与其它 8 个数量性状相关性不显著。

陆新华(2010)采用“合理-满意度”和多维价值理论的合并规则对菠萝果实品质进行综合比较分析, 贺军虎(2009)、孙佩光(2022)、刘胜辉(2019)等主要用方差分析对菠萝果实品质进行了评价, 而采用变异系数法与相关分析在菠萝种质资源果实的研究尚不多见。近年来, 对菠萝种质资源的多样性分析与评价主要采用 SSR 分子标记法、RAPD、AFLP 和 ISSR 分析(刘卫国, 2008; 童和林, 2010; 张如莲, 2006) 本文对菠萝果实品质采用主成分分析法进行综合评价, 可为菠萝果实品质的综合评价提供了新的思路和方法。

参考文献

- 金琰, 刘海清, 侯媛媛等. 中国菠萝产业国际竞争力: 基于 RCA 和“钻石”模型的分析 [J]. 世界农业, 2013, (09): 118-121.
- 伍丽朝. 中国菠萝产业国际竞争力研究[D]. 广东: 华南农业大学, 2010.
- 孙伟生, 吴青松, 孙光明. 我国菠萝产业发展现状及对策[J]. 中国热带农业, 2013(3): 22-24.
- 邓春梅, 李玉萍, 梁伟红, 叶露. 我国菠萝产业发展现状及对策[J]. 山西农业科学, 2018, 46(6): 1031-1034.
- 贺军虎, 陈业渊, 王芳, 刘少芬, 曾垂凤, 赵小青. 10 份菠萝种质资源的描和评价[J]. 热带作物学报, 2009, 30(12): 1731-1735.
- 张阳梅, 曾建生, 赵志平, 高世德, 刘代兴. 菠萝种质资源果实主要数量性状的主成分分析[J]. 热带农业科技, 2016, 39(2): 10-13.
- 陆新华, 吴青松, 刘胜辉, 孙伟生, 张秀梅, 李运合, 孙光明. 菠萝种质果可溶性糖组分及含量分析[J]. 热带作物学报, 2012, 33(5): 936-940.
- 魏长宾, 刘胜辉, 陆新华, 吴青松, 孙光明. 6 个菠萝品种香气成分及特征香气分析[J]. 广东农业科学, 2015, 42(24): 111-117.
- 杨祥燕, 蔡元保, 孙光明. 菠萝果肉颜色的形成与类胡萝卜素组分变化的关系[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 135-139.
- 张如莲, 傅小霞, 漆智平等. 菠萝 17 份种质的 ISSR 分析[J]. 中国农学通报, 2006(06): 428-431.
- 王健胜, 贺军虎, 陈华蕊, 等. 47 份菠萝种质遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(8): 1392-1397.
- 童和林, 冯素萍, 陈友, 等. 菠萝基因组 SSR 分子标记的开发[J]. 果树学报, 2010, 27(4): 551-555.
- 韩志萍, 黄茂芳, 许逵, 等. 菠萝中蛋白酶及其他组份在品种间的差异分析[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(2): 320-323.



菠萝产业发展情况报告及建议

刘青，黄秋燕，苏临宴，李强有
湛江农垦现代农业发展有限公司，广东湛江 534022

摘要 本报告主要分析了菠萝产业发展情况，包括产业概况、我国菠萝产业发展趋势、存在问题和风险，为广东农垦菠萝产业未来发展提出建议。

关键词 菠萝；产业；问题和风险；建议

为了准确把握菠萝产业发展趋势，确保菠萝产业顺利推进，做大做强菠萝产业，现将菠萝产业发展情况收集整理汇报如下，仅供参考：

一、产业概况：

1、地域分布

菠萝是深受消费者喜爱的热带水果之一，2020 年全世界菠萝种植面积为 117.75 万公顷（折合 1766.32 万亩），年总产菠萝鲜果 3045.57 万吨。我国 2021 年菠萝种植面积为 6.58 万公顷（折合 98.7 万亩），占世界菠萝总面积的 5.59%，种植面积全球排名第四（表 1）；鲜果产量为 195.5 万吨，占世界菠萝总产量的 6.06%，总产量全球排名第五（表 2）。

表 1：2020 年菠萝种植面积全球排名前十
Table : Top Pineapple Planting Areas Worldwide in

国家（地区） Country (Region)	种植面积（万公顷） Planting area (hectares)	折合万亩 Equivalent to acres	排名 ranking
印度 India	.	.	
泰国 Thailand	.	.	
菲律宾 the Philippines	.	.	
中国 China	.	.	
巴西 Brazil	.	.	
哥斯达黎加 Costa Rica	.	.	
越南 Vietnam	.	.	
墨西哥 Mexico	.	.	
哥伦比亚 Columbia	.	.	
秘鲁 Peru	.	.	

（数据来源：FAO 数据库官方数据）
(Data source: official data from FAO database)

作者简介 刘青 (1982—)，男，农艺师；研究方向：现代热带农业产业化技术研发与应用；E-mail: zkjn88@126.com



表 2：2020 年菠萝产量全球排名前十

Table : Top Pineapple Production Rankings in the World in

国家（地区） Country (Region)	产量（万吨）Production (tons)	排名 ranking
菲律宾 the Philippines	.	
哥斯达黎加 Costa Rica	.	
巴西 Brazil	.	
印度尼西亚 Indonesia	.	
中国 China	.	
印度尼西亚 Indonesia	.	
泰国 Thailand	.	
尼日利亚 Nigeria	.	
墨西哥 Mexico	.	
哥伦比亚 Columbia	.	

（数据来源：FAO 数据库官方数据）
(Data source: official data from FAO database)

中国菠萝种植主要分布在广东、海南、云南、广西及福建地区，其中广东、海南、云南较多。产量分布以广东、海南为主，两省菠萝产量合计在全国占比达 90.75%（表 3）。2020 年广东省菠萝种植面积为 58.44 万亩，占全国种植面积的 59.21%，鲜果产量为 121.02 万吨，占全国总产量的 65.52%。

表 3：2022 年国内菠萝产量排名

Table : Ranking of Domestic Pineapple Production in

省份 province	产量（万吨） Production (tons)	排名 ranking
广东 Guangdong		
海南 Hainan	.	
云南 Yunnan	.	
广西 Guangxi	.	



福建 Fujian		
四川 Sichuan		

(数据来源: 2021 中国农村统计年鉴)

(Data source: 2021 China Rural Statistical Yearbook)

2020 年湛江市种植菠萝面积 48.11 万亩, 占广东菠萝种植面积的 82.32%; 鲜果产量 109.60 万吨, 占全省总产量的 94.10%。湛江菠萝主要分布在雷州半岛南渡河以南的区域, 菠萝是湛江第一大水果产业是特色高效的热带经济作物, 也是热区农民重要的经济来源。

湛江农垦菠萝产区主要分布在雷州半岛南部各农场, 位于全国菠萝产业优势区域的核心区内, 2020 年湛江农垦种植菠萝 17.48 万亩, 约占湛江市种植面积的 36%, 鲜果产量 41.99 万吨, 约占湛江市鲜果产量的 38.31%。2021 年湛江农垦种植菠萝 17.15 万亩, 同比减少 1.89%, 收获鲜果 42.10 万吨, 同比增加 0.3%。(以上统计数据包括农垦糖业)

2、品种分布

国内菠萝主栽品种均为鲜食品种, 主要是“巴厘”, 其种植面积约占我国菠萝总面积的 76.0%; 其次为“卡因”类, 主要种植区域为福建、粤东、云南等地; 近年引进了“台农”系列、“MD2 金菠萝”“神湾菠萝”等鲜食品种, 种植面积占比有逐年增长趋势。

3、种植方式

我国菠萝种植以散户种植为主, 主要分布在广东、海南、云南、广西及福建地区。规模较大的种植企业有广东省湛江农垦集团有限公司下属红星农场、友好农场、湛江农垦现代农业发展有限公司、南华农场、幸福农场、金星农场等; 以及海南省农垦投资控股集团有限公司、海南菠萝企业管理有限公司、海南农垦东昌农场有限公司、海南天地人生态农业股份有限公司等。

4、消费方式

菠萝上市季多集中在清明节至农历五月。消费形式以鲜果为主, 加工品有果汁、果干、果酱及罐头。销售体系以传统渠道为主, 电商渠道表现一般。国际贸易以菠萝鲜果进口为主, 且进口量增长较快, 主要进口来源国为菲律宾。

5、产品加工

菠萝加工产品以菠萝罐头为主, 另有菠萝汁、菠萝浓缩汁、菠萝果馅、蜜饯、菠萝酒等加工产品。我国菠萝加工量占总产量 10%左右, 加工过程人工依赖度高, 果品利用率约为 50%。菠萝加工厂多分布在广东、广西两省。

6、流通形式

流通形式仍较传统主要有两种, 一种为传统渠道, 即常规整车物流配送, 也是我国菠萝主要流通渠道。另一种为网上电商平台营销渠道, 以“MD2 金菠萝”“台农”系列菠萝品种为主。鲜果运输保质期较短, 鲜果库存较少, 仅少许经冷冻储藏后供给餐饮业作为商品辅料使用。

7、进出口情况

不同菠萝产品出口量与出口金额排名均是: 菠萝罐头>鲜或干的菠萝>菠萝汁。

世界菠萝贸易以菠萝糖水罐头为主。海关数据显示, 2020 年全球菠萝罐头贸易总量 88 万吨, 同比 2019 年下降 6%, 总金额十亿美元, 同比 2019 年提高 19%。

我国菠萝罐头进出口贸易量差较大。2020 年中国进口菠萝罐头 3.2 万吨, 占全球贸易总量近 4%, 金额总计 3000 万美元。同比 2019 年数量下降 12%, 金额基本持平。主要包括进口菲律宾、泰国和印尼菠萝罐头分别为 19000 吨、7600 吨和 5300 吨。同年中国菠萝罐头仅出口 0.74 万吨。

我国鲜干菠萝国际贸易以进口为主, 进出口贸易量差同样较大。2019 年, 我国鲜干菠萝进口量 24.9 万吨, 进口额 2.3 亿美元; 出口量 0.6 万吨, 出口额 674.3 万美元, 进出口贸易对象比较集中, 主要进口来源国为菲律宾, 出口对象国为俄罗斯、日本、韩国及港澳地区。

8、市场价格

近几年我国菠萝批发市场价格基本呈季节性周期波动。其中台农系列品种市场价格相对较高且稳定, “巴厘”品种价格较低且波动较大。以湛江徐闻县周边收购价格为例:



2018 年 5 月，我国菠萝出现滞销现象。由于受到天气影响，鲜果受害严重，巴厘品种收购价最高峰为 3.2-4 元/公斤，最低跌至 0.46-1.3 元/公斤，同区域台农系列菠萝产地收购价格仍维持在 5 元/公斤，且市场稳定。

2019 年菠萝市场价格基本稳定。巴厘品种产地收购价在 1.6-2.8 元/公斤，台农系列菠萝产地收购价一直稳定在 4-5 元/公斤。

2020 年受到疫情影响，疫情期间巴厘品种收购价跌至 0.6 元/公斤，3-5 月恢复至 2.5 元/公斤，台农系列收购价为 4-8 元/公斤，市场相对平稳。

2021 年 3 月初巴厘品种收购价为 3.5 元/公斤，受气候影响，水菠萝多，4 月底收购价跌至 0.6 元/公斤，市场波动较大；台农系列收购价 3 月初为 6 元/公斤，5 月份为 2 元/公斤，也受到气候影响。

2022 年 3 月初巴厘品种收购价最高位为 3.12 元/公斤，受春节两次寒害的影响，逐渐降至目前 1.75 元/公斤；台农 17 号收购价为 5.6 元/公斤左右，台农 16 号收购价为 4.4 元/公斤左右，受寒害影响，目前菠萝品质受到影响，价格在持续下降。

9、成本收益

(1) 菠萝种植周期长、成本高。菠萝种植周期需要至少 18 个月，加上培育、采收种苗时间需要 2 年之久，种植投入产出周期较长，成本较高。同时由于地租、经营主体、种植技术及种植品种等因素影响，菠萝种植成本差异较大。新植菠萝种植成本约为 7000-9800 元/亩（两年）。与世界其他国家相比，我国菠萝种植成本较高，主要是人工成本及土地成本高。

表 4：菠萝种植成本表（元/亩）
Table 4: Pineapple Planting Cost Table (Yuan/Mu)

品种 varieties	种苗 Seed seedlings	农资 Agricultural inputs	机耕 tractor-ploughing	人工 Artificial	土地流转 Land transfer	合计 total
巴厘 Bali						
台农系列 Taiwan Agriculture Series						

(2) 种植收益尚可。因种植技术差异，菠萝亩产差异较大，其中：

“巴厘”产量平均为 3000 公斤/亩。成本收益平衡点约为 1.8 元/公斤（含种苗销售收益）。按照目前的市场价格，产量达到 3000 公斤以上可平本，若前期种植使用自有种苗，收益可达 1600 元/亩。

“台农”系列产量平均为 2000-2500 公斤/亩。成本收益平衡点约为 3 元/公斤（含种苗销售收益）。按照目前市场价格每亩可收益 1200-1400 元（不含种苗销售收益），若包括种苗销售收入，另可增加收益 2240 元/亩。

二、我国菠萝产业发展趋势

1、生产稳定，品种逐步优化。预计我国菠萝种植面积将稳定在 100 万亩，种植区域仍集中在海南及广东两大优势区。品种以“巴厘”为主，但“台农”系列等优质品种种植面积将逐年扩大，随着菠萝加工业的进一步壮大，以加工罐头原料为方向的定向栽培“卡因”品种也将逐渐扩大种植规模。未来将按照加工、鲜食等不同市场需求订单种植不同品种，以保证产品质量和品质。

2、菠萝加工业发展缓慢向好发展。由于市场偏好，预计菠萝消费仍将长期以鲜果为主。菠萝加工业受资源及成本制约，发展缓慢，随着农业部菠萝跨县产业园项目不断推进，大量的资金和技术投入到菠萝加工板块，推动菠萝加工板块发生质的提升。同时项目也开始对菠萝废弃物循环利用等深加工进行投资建设，菠萝精深加工及综合利用能力将发生巨大的提升。

3、文化、休闲、康养功能将进一步拓展。菠萝不仅具有食用价值，还具有文化、休闲、康养等功能。利用徐闻“菠萝的海”地理文化优势，开展以菠萝为主题的文化节、音乐节等文创活动，建设菠萝小镇、创新开发旅游资源等带动整个菠萝产业的发展。目前徐闻县“菠萝的海 3A 级旅游景区项目”已开工建设，未来将有更多的文化、休闲、农旅、康养项目落地建设，带动整个菠萝产业的发展。

三、菠萝产业发展存在的问题和风险



1、主要问题

(1) 品种结构单一老化。主栽品种单一、品种老化，一直是影响我国菠萝产业升级的主要因素之一。占我国 76% 种植面积的“巴厘”菠萝已有 90 年历史，不仅上市期集中，品质不高，长期种植已出现品质退化现象。鲜食、加工品种未能精准定位，目前主要种植品种均为鲜食为主，加工利用率低，往往是鲜果市场不好，才想到进行加工，严重制约了菠萝加工产业发展。

(2) 品牌效益未能全面覆盖。近年来随着产业的发展，现已形成“愚公楼菠萝”、“神湾菠萝”等区域品牌。湛江农垦立足徐闻菠萝优势产区，结合农垦产业基础，创建“红土金菠”产品品牌，经过多年的推广，取得了较好的经济效益。但由于菠萝分散经营模式，未能全部纳入品牌管理，市场上仍以大路货居多，品质管控不够到位，品牌效益无法全面覆盖。

(3) 标准化、机械化种植困难。在生产环节，由于台农系列菠萝对管理技术要求较高，同时受到分散经营模式影响，难以实现标准化种植；“巴厘”菠萝存在一定的药剂大量使用问题，易导致其果型大，品质下降，不耐储运。定植标准、管理模式的差异性影响了种植、采收机械化的发展，菠萝种植机械、采收机械均处于试验应用阶段，未能大规模推广。

(4) 鲜食菠萝质量分级分选能力不足。由于菠萝分选设备推广度不够广泛，目前市场上大部分菠萝鲜果商品未经过质量分选，常见的菠萝黑心、上水等品质隐患未能准确发现并剔除，品质难以保证使得大宗商品难以进入高端市场。

(5) 产品精深加工能力弱，市场竞争能力不强。发达国家果品加工能力占生产能力的 70%，而我国菠萝加工率低不足总产量的 10%，广东省菠萝加工率也仅占 20%-30%。一是受品种影响，缺乏加工专用品种，加工利用率低，影响加工产业发展。二是菠萝加工产品档次不高，综合利用水平低，目前仍以加工菠萝罐头、菠萝汁、菠萝馅料等初级加工品为主，产品附加值较低，深加工开发冻干、纤维、蛋白酶等方面还未能实现效益。三是目前加工机械化水平低，对人工作业依赖度高。随着人工费及其他费用逐年增长，加工厂收益普遍堪忧。

2、风险分析

(1) 成本增长风险。近几年来，菠萝种植的地租、化肥、农药、人工等价格均持续上涨，特别是化肥价格大幅上涨，使得菠萝种植成本不断攀升，但菠萝市场销售价格却波动剧烈，尤其是传统的“巴厘”品种本身售价就较低，导致农民种植菠萝意愿有所下降。

(2) 劳动力缺乏风险。与其他农业生产相似，菠萝用工日趋紧缺，年轻劳动力更愿意在城市务工。菠萝专业化农业机械发展较为缓慢，由于种植株距紧密，施肥、催花、采收均需人工完成，已存在农忙时雇不到工人现象。

四、广东农垦菠萝产业未来发展的建议

1、科学制定产业发展规划。一是利用建设广东菠萝跨县集群产业园（湛江垦区）的契机，编制菠萝产业区域发展规划，结合地理标志性菠萝产品和独特的地理条件资源，以新发展理念引领菠萝产业发展，将菠萝一、二、三产业有机结合，协同发展，打造垦区新型支柱产业。通过统一规划，加强领导，分级分年实施，全面推进菠萝产业的可持续发展。二是围绕菠萝全产业链经营，统筹种植、加工、营销、科研、文化宣传等环节，构建品种研发、物资供应、种植加工、物流配送、文化传播、旅游康养为一体的现代农业经营体系，引导技术、人才、资本等要素向优势区聚集，打造具有世界影响力和竞争力的菠萝产业区。

2、积极优化品种结构，规范种植技术。一是进一步加大台农系列等优质菠萝新品种的推广，通过种苗支持、技术服务等方式，带动垦区及周边种植户种植，提高鲜食菠萝商品品质，满足鲜食市场的需求。二是将鲜食及加工两个市场分开供应，引进“卡因”品种作为菠萝加工的专用品种，确保加工板块的原料供应，促进菠萝加工提质增效。三是规范种植技术，建立高标准生产栽培基地，推广标准化种植，加强病害防治，提升果品质量，支持有机菠萝等高端果品生产，进一步提升产品附加值。

3、提升菠萝商品品质，提升品牌形象。一是充分发挥菠萝运营中心分选储运功能，实施菠萝商品质量分级工程，推广菠萝商品质量分级标准，倒逼生产环节，规范菠萝生产环境、种植过程、品质监测、加工包装、流通储运保鲜等众多环节，形成全产业链质量控制标准体系。二是深入挖掘品牌文化，依托菠萝故事、菠萝科普、菠萝综艺、菠萝直播等形式进行传播推广，加大“红土金菠”等现有菠萝品牌的宣传力度，打造菠萝文化，将企业文化融入品牌内涵，提升品牌综合效益。

4、加大菠萝精深加工及综合利用。通过产业园项目带动菠萝精深加工，开发新的加工产品满足市场需求。通过菠萝酶制剂、纤维等高质量副产品的研发和生产，努力实现食品级乃至药用级菠萝蛋白酶的生产，使得“副产品”努力向“主产品”转变，延长了菠萝加工产业链条，提高菠萝加工品的附加值，



提升菠萝产业整体效益。

5、引导菠萝产业信息化、机械化发展。建立菠萝产业信息化服务平台，加强产业链各主体间联系，为种植户推送技术及市场信息，引导电子商务等销售途径。同时，加大菠萝种植、收获机械的研发应用推广力度，提升垦区菠萝种植机械化程度，促进垦区菠萝产业长远可持续发展。

6、探索“走出去”战略。学习垦区天然橡胶、甘蔗产业“走出去”战略的成功经验，以加工业为龙头，种植加工一体化，向东南亚地区进行先行先试。充分东南亚在气候、土地等资源及劳动力资源方面的优势，降低种植成本，提升菠萝产业综合效益，抢占菠萝加工品国际市场份额。



广东雷州半岛‘芒果菠萝’高效优质栽培技术及发展建议

经福林 胡小忠 苏增强 徐杨玉 李志勇 李华富 黄香武* 陈士伟

广东省湛江农垦科学研究所； 广东农垦热带农业研究院有限公司； * 广东省湛江农垦集团有限公司；
广东省农垦集团公司； 广东农垦红星农场有限公司

摘要：本文介绍了‘芒果菠萝’的高效优质栽培技术，并从园地规划、种植准备、定植技术、田间管理、花果管理、病虫害防治、果实采收等各个环节阐述在湛江地区的发展建议，探讨了‘芒果菠萝’在雷州半岛的未来发展潜力，旨在为湛江地区的‘芒果菠萝’生产及菠萝产业高质量发展提供参考。

关键词：‘芒果菠萝’；高效优质栽培技术；湛江；发展建议

Efficient and Quality Cultivation Techniques and Development

Strategies for ‘Mango Pineapple’ in Leizhou Peninsula

Guangdong Province

Jing Fulin¹, Hu Xiaozhong¹, Su Zengqiang¹, Xu Yangyu, Li Zhiyong³, Li Huafu⁴, Huang Xiangwu^{2*}, Chen Shiwei¹

1. Guangdong Zhanjiang State Farms Research Institute, Zhanjiang, Guangdong, China
2. Guangdong Agribusiness Tropical Agriculture Institute, Guangzhou, Guangdong;
3. Guangdong Zhanjiang Agricultural Reclamation Group Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong, China
4. Guangdong Agribusiness Group Corporation, Guangzhou, Guangdong, China
5. Guangdong Agricultural Reclamation Red Star Farm Co., Ltd, Zhanjiang, Guangdong, China

Abstract: This article comprehensively and systematically introduces the efficient and high-quality cultivation techniques of mango pineapple and its development strategies in Zhanjiang. Detailed explanations are provided for various aspects, including garden planning, planting preparation, planting techniques, field management, flower and fruit management, pest and disease control, and fruit harvesting, aiming to provide a comprehensive and practical reference for mango pineapple production in Zhanjiang. At the same time, this article also delves into the future development potential of mango pineapple in Leizhou Peninsula, aiming to promote the high-quality development of the pineapple industry in the region.

Keywords: mango pineapple; efficient and high-quality cultivation techniques; Zhanjiang region; development suggestions

菠萝 [*Ananas comosus* (L.) Merr.] 又称凤梨、黄梨等，属凤梨科 (Bromeliaceae) 凤梨属 (*Ananas*)，是多年生草本果树^[1]。作为全球菠萝的主要生产国之一，我国菠萝产量稳居世界第四。广东省是我国菠萝生产第一大省^[2]，据年国家统计局数据显示，广东菠萝的种植面积高达.万 hm²，占全国总种植面积的约%，总产量.万 t，占全国菠萝产量的.%。雷州半岛作为我省菠萝种植的核心产区，其产量约占据全省的九成，其中广东农垦湛江垦区的菠萝种植面积稳定在.万 hm²左右，产量约万 t，占雷州半岛菠萝种植面积和产量的^[3]。

然而，尽管雷州半岛菠萝产业基础坚实，但当前种植品种以‘巴厘’品种为主，品种单一、种植结构不合理等问题日益凸显。尽管已引进如‘台农号’‘台农号’等优质品种，但栽培面积仍然有限。产期过于集



基金项目：资助项目 中央财政资金“耕地建设与利用资金项目”(2130122)；广东省菠萝产业研究院种苗繁育及示范推广项目菠萝技术研发与示范（2022440809000086）

作者简介：经福林(1984—)，男，高级农艺师；研究方向：土肥研究、菠萝栽培及农业技术推广示范，E-mail: 1004596264@qq.com。

***通信作者：**黄香武，从事热带农业产业技术研究及集成创新应用。E-mail: zjnkys@163.com。

中，滞销现象频发，同时高端市场供应不足。此外，现有主栽品种品质下降的问题也日益严重，成为制约菠萝产业进一步发展的主要因素^[1]。

为了克服这些难题，推动菠萝产业的可持续健康发展，引进和推广优良新品种显得尤为关键。其中，‘芒果菠萝’（又名‘台农号’）^[2]作为一种风味独特、品质优良的菠萝品种，在雷州半岛具有广阔的种植前景。如图，其植株高大紧凑，叶片暗浓绿色，果实短圆筒形，果肉金黄、带有芒果的特殊香味，口感细腻爽滑，几乎无纤维感，口味香醇，春季糖度为 $\sim$ %.，可滴定总酸含量 $\sim$ %.，单果重约 $\sim$ kg，亩产约 $\sim$ kg，产期主要集中在月至月，深受消费者喜爱，使其在市场中具有较高的竞争力。‘芒果’菠萝在雷州半岛种植，易催花、抗寒性好、叶片不带刺、生长整齐，在种植过程中深受农户喜欢。同时，该品种的果实货架期长，耐运输。



图 芒果菠萝植株及果实形状 (A 植株, B 挂果植株, C 果实, D 果实内部)



为推动‘芒果菠萝’在广东雷州半岛的发展，本文在对‘芒果菠萝’高效优质栽培的基础上，提出发展建议，助力‘芒果菠萝’在广东雷州半岛的发展。

园地选择与规划

· 园地选择

在选择‘芒果’菠萝种植园地时，应选择土质疏松透气、富含有机质、pH 值在 $5.5 \sim 6.5$ 之间、生态条件优越、开阔向阳、灌溉便利且排水性能良好的缓坡地。低洼易积水地带由于水分过多，不利于芒果菠萝的生长，易发生病害，因此不宜作为建园地点。

· 园地规划

.. 种植小区划分

根据园地的地形地貌特点，合理划分种植小区。每个种植小区的面积宜控制在 $0.1 \sim 0.2$ hm²，以确保作业和管理的便捷性。同时，种植小区应尽量与园地道路相连通，便于机械作业和运输。

.. 道路系统规划

根据园地的地势和面积大小，合理规划主干道和支干道的布局。主干道宽度为 $3 \sim 4$ m，以确保大型运输车辆的通行顺畅；支干道宽度为 $1.5 \sim 2$ m，便于农机具的作业和移动。

.. 排灌系统建设

在定植前，应做好‘芒果’菠萝种植园地的排灌系统建设。首先，挖设排水沟，确保畦沟具备排水功能，以便在台风暴雨等恶劣天气条件下，园地能够顺利排水，避免积水对‘芒果’菠萝的生长造成不利影响。此外，根据生产实际需求，可在园地建设蓄水池储备水源供灌溉使用。同时，优先考虑安装喷灌系统或滴灌系统，结合水肥一体化管理技术，实现节水节肥、降低人工成本的目标。

园地准备

· 深耕整地

在‘芒果’菠萝种植前的 $1 \sim 2$ 个月，提前展开备耕工作，以确保种植园地表杂物得到彻底清除。在整地环节，应坚持多犁少耙的原则，通过机械方式犁耙两次，具体为完成清表半个月后，使用拖拉机对土地进行 $20 \sim 30$ cm 的深耕，并随后进行暴晒，待土壤得到充分的疏松后，再次进行深耕，确保土块大小控制在 $5 \sim 10$ cm，这样的处理方式不仅能有效提升土壤的通透性，为后续的种植工作奠定了坚实的基础。

· 旋耕施有机肥料

在起畦前，将充分沤熟的有机肥料均匀撒布于地块之中，随后利用机械耙进行翻拌，使肥料与土壤充分混合均匀。每亩土地应施入腐熟的有机肥料 $1000 \sim 1500$ kg。

· 施化肥、起畦、铺地膜与滴管

在已备好的园地上，采用一体化机械来完成施化肥、起畦、盖地膜以及铺设滴灌管等作业。为了满足作物不同生长阶段养分需求，每亩施入过磷酸钙 $10 \sim 15$ kg、复合肥（氮、磷、钾比例为 $15:15:15$ ） $100 \sim 150$ kg。起畦时，将畦面高度控制在约 $10 \sim 15$ cm，宽度控制在约 $1.2 \sim 1.5$ m，并保持畦间距约为 $0.5 \sim 0.6$ m。如果园地条件允许且有水源，可选择铺设滴灌系统，以提高肥料利用率并节省成本。布置滴灌系统主管、支管和滴管时，根据种植园地畦面的走向进行合理规划，确保灌溉系统能够全面且均匀地覆盖整个园地。黑色农用塑料地膜规格为宽度 $1.2 \sim 1.5$ m、地膜上孔径为 $5 \sim 10$ mm。

种植

· 种植期

广东雷州半岛地区全年都适宜芒果菠萝的种植，但最佳的种植时间通常选择在每年的 $3 \sim 4$ 月和 $9 \sim 10$ 月。可根据所选用种苗的类型以及预期的上市时间，合理安排定植时间。雷州半岛地区，通常选择在秋季进行种植，在次年秋季进行催花处理，以便来年春季顺利上市。



· 种苗挑择、分级与预处理

在挑选芒果菠萝的种苗时，应优先选择株高在 $\sim$ cm 之间，生长健壮且无病虫害的吸芽进行栽培。在定植前，还需对种苗进行晒苗处理，以提高其适应环境的能力和成活率。根据芽苗的种类、大小进行分级，并实行分片种植的方式，以便于后续的田间管理工作。完成种苗分级后，剥除种苗基部干枯的叶片、修剪过长叶片，并使用%多菌灵可湿性粉剂按 $\sim$ 倍液的比例浸泡种苗基部 $\sim$ min 进行消毒，倒置晾干后种植。

· 种植密度

‘芒果’菠萝的种植采用双行定植的方式，畦面宽度为 cm，畦沟宽度为 cm。株距控制在 $\sim$ cm，行距为 cm。按照这样的种植密度，每亩地一般可种植 $\sim$ 株。

· 种植方法

在种植过程中，应确保芒果菠萝苗直立放置于定植穴中，并确保定植深度适宜，通常保持在 $\sim$ cm 之间为最佳。培土时不要超过中央生长点，以免影响植株的正常生长。同时，需扶正植株并培土压实定植穴土壤，确保土壤不会覆盖或落入株心。完成定植后，若条件允许，应进行一次全面的淋水，以促进种苗快速生根。此外，还需定期查看苗木的生长状况，一旦发现缺苗或倒株，应立即进行补苗和扶正。

田间管理

· 水分管理

针对土壤情况，结合水肥一体化技术，定期进行淋水作业，以滴灌为宜，以免因干旱缺水影响后期果实品质和产量。在台风雨季时，应及时对种植园进行排涝处理，防止积水导致菠萝苗沤根，以防心腐病的发生。

· 土壤管理

当芒果菠萝在定植后遭遇暴雨冲刷，导致菠萝的根系裸露在外时，应立即进行培土操作，覆盖住裸露的根系，以确保植株的根系能够正常生长。

· 施肥管理

为了更有效地进行施肥管理，应遵循“前期勤施薄施、中期重施、后期补施”的科学原则^[1]。在施肥方式上，应有机肥料与无机肥料配比，以满足作物的全面营养需求。在营养生长期，主要施用氮肥，辅以适量的磷钾肥；进入现蕾期，氮、磷、钾三元素应平衡施用，确保植株的健壮生长；果实发育期则以钾肥为主，氮磷肥为辅，促进果实的品质和产量提升。根际追肥可采用水肥冲施和穴施的方式，以确保肥料能够直接作用于根部，提高肥料利用率。对于有条件的种植园，还可以结合水肥一体化技术，采用滴灌设施进行水肥滴灌，实现精准施肥和节水灌溉的双重效果。在施用固体肥料时，应将肥料放置在距离根部约 cm 的地方，并覆盖土壤，以防止肥料直接接触植株的叶槽或株心，避免造成肥害。而根外追肥则采用叶面喷施的方式，使肥料能够迅速被叶片吸收利用。在催花前的个月内应停止施肥。

.. 营养生长期追肥

‘芒果’菠萝作为喜肥作物，在定植后的次月，需进行一次追肥操作。此时，建议使用尿素倍液搭配复合肥（N:PO:KO 比例为::）倍液以及矿物黄腐酸钾倍液进行淋施，每株植株根部浇灌 mL 的混合液。随后，每月需进行一次叶面喷施，共计五次。在前两次喷施中，采用尿素倍液与复合肥（N:PO:KO 比例为::）倍液混合使用；而后三次则采用复合肥（N:PO:KO 比例为::）倍液与硫酸钾倍液混合喷施。在催花前至个月，还需通过机械开沟、施肥、覆土的方式进行追肥，每亩施用复合肥（N:PO:KO 比例为::）至公斤，以满足芒果菠萝后期果实膨大的营养需求。

.. 其他时期追肥

在芒果菠萝的生长过程中，若发现植株出现营养元素缺乏的症状，应及时采用叶面追肥法进行补充。通过喷施植株所需的营养元素，可有效促进芒果菠萝的健康生长。

· 除草管理

新植园地应勤除草、早除草，可采用人工锄草或化学除草剂。在芒果菠萝生长期间，畦面或小行间



的杂草应优先采用人工清除方式。对于大行间的恶性杂草，可结合人工除草或化学除草剂进行防除，可选用莠灭净、莠去津等除草剂进行定向喷雾，防止除草剂喷洒到植株和苗叶上，以免对作物造成不良影响。

花果管理

· 催花

根据果实上市时间，优化芒果菠萝催花时间。通常情况下，从催花到果实成熟大约需要~个月。芒果菠萝植株在株高达到 cm 以上，且叶片数量超过片时，即可进行催花处理。在催花方法的选择上，推荐使用电石（碳化钙）药剂，即将电石配制成.%~.% 的水剂作为催花药剂，每株植株灌心~mL 的药剂，以灌满心为准，共进行两次灌心，两次操作间隔~ d。为了提高催花效果，建议在晴天进行催花操作，尤其是在清晨或傍晚时段，这样效果更佳，如果催花后的小时内遇到大雨冲淋，为了确保催花效果，需进行第二次补催。

· 促果

在开花末期，建议使用%的硝酸钾溶液喷洒叶片以促进果实生长。喷洒后个月，再次使用%的硝酸钙镁溶液对果实和叶片进行次喷施。在此过程中，可以结合叶面施肥，及时为植株补充生长所需的微量元素，预防水心病的发生。不建议使用赤霉素、萘乙酸等膨大剂来增强果实生长。

· 护果

为了避免果实遭受烈日灼伤，可采取了套袋等防护措施。在果实明显膨大且果眼逐渐张开的关键阶段，利用牛皮纸袋对果实进行套袋保护。在进行套袋操作之前，为确保果实健康生长，建议对整个果园进行一次全面的杀菌剂喷施。

病虫害防治

雷州半岛的芒果菠萝在生长过程中病虫害相对较少，但在苗期易感心腐病，其主要的病虫害包括心腐病、凋萎病和粉蚧。在生产过程中，应严格遵循“预防为主，综合防治”的原则，以农业防治为基础，积极推广使用生物防治和物理防治方法，将病虫害的发生控制在经济阈值以下，以确保芒果菠萝的果品质量安全。

· 主要病害防治

心腐病易在高温多雨季节以及地势低洼的园地发生，主要攻击芒果菠萝幼苗的茎部及叶片的幼嫩区域，导致植株心部出现软腐现象^[1]。发病初期，可以采用%恶霜灵·锰锌可湿性粉剂倍液或%精甲·百菌清悬浮剂倍液进行喷施防治，每隔~ d 施药次，连续防治~ 次。凋萎病是由病毒引发的，尤其在高温干旱季节更为严重，易导致芒果菠萝叶片干枯，植株变得弱小且生长受阻。防治凋萎病的主要措施包括选择来自无病田的健壮幼苗或脱毒苗，一旦发现病株应立即挖除并烧毁，同时及时消灭菠萝粉蚧等害虫，以控制病害的蔓延和传播^[2]。

· 主要虫害防治

在芒果菠萝的整个生长期中，粉蚧的成虫和若虫均会刺吸叶片、茎干及果实的汁液，造成严重损害，甚至可能诱发煤烟病。为了有效控制粉蚧的危害，建议在虫卵孵化高峰期，喷施%噻虫胺悬浮剂倍液或%螺虫乙酯悬浮剂倍液，每隔~ d 施用次，并持续进行~次的防治，以达到良好的治理效果。

果实采收标准

芒果菠萝的果实成熟与采收标准因季节而异。在春季，采收的果实成熟度相对较高，通常要求果实基部/的小果变黄；而夏秋季时，果实基部只需/的小果变黄即可进行采收。在采摘鲜食用商品果时，应保留冠芽，并保留~cm 长的果柄，以确保果实的完整性和美观度。在采收和搬运过程中，需注意避免



果实受到机械损伤。最佳采收时间应为晴天上午或阴天，避免在雨天进行采收，以防果实受潮或受损。果实采收后，应及时搬运至鲜果包装间或阴凉通风的场所存放，并按照果实的大小和成熟度进行分级、包装和贮运，以确保果实品质和延长保鲜期。

发展建议

近年来，雷州半岛逐渐引入了‘芒果菠萝’的种植，尽管其发展规模尚处于起步阶段，但其出色的品质已经赢得了广泛的赞誉^[1]。更值得一提的是，‘芒果菠萝’的株形十分适合机械化管理，有助于大幅提升生产效率。然而，当前种植面积的拓展却受到了较大的制约，主要原因是种苗价格居高不下。具体来说，每株种苗的价格普遍在~元之间，使得每亩地的种苗成本高达~元，这无疑增加了种植成本，提升了投资风险，令许多种植户望而却步。

为了推动‘芒果菠萝’的广泛种植，必须解决种苗繁育与供应的问题。目前，有多种方法可以实现大量繁育菠萝种苗，包括组培^[2]、腋芽扦插^[3]和茎块繁殖等。然而，在实际操作中，种植户更倾向于采用茎块繁殖的方式。这主要是因为茎块繁殖具有时间短、变异小的优势，相比之下，组培和腋芽扦插的繁育周期较长，且存在较大的变异风险。

因此，为了促进‘芒果菠萝’在广东雷州半岛的规模化种植，应重点关注茎块繁殖技术的推广与应用，同时努力降低种苗成本，提高种植户的收益预期，从而激发他们的种植积极性。这将有助于推动菠萝产业的高质量发展，为当地经济注入新的活力。

参考文献

- [1]孙伟生,吴青松,刘胜辉,等.台农系列菠萝品种特性的比较分析[J].热带作物学报,,():-.
- [2]邓修文,吕建秋,张雪艳,等.湛江地区菠萝产业发展现状及对策研究[J].热带农业科学,,():-.
- [3]方伟.广东省菠萝产业现状及发展建议[J].中国果树,():-.
- [4]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,():-.
- [5]吕润,邹海平,陈小敏,等.台农系列菠萝品种在海南地区的引种表现[J].热带农业科学,,():-.
- [6]林明辉.昌江地区金菠萝高效优质栽培技术[J].农业科技通讯,():-.
- [7]秦海利.海南金菠萝心腐病致病菌的分离鉴定及生防效应研究[D].海口:海南大学,.
- [8]罗志文,范鸿雁,冯学杰,等.海南万宁产区菠萝凋萎病(MWP)田间发生情况调研初报[J].中国热带农业. ():-.
- [9]蒋剑.以农垦力量带动广东菠萝产业高质量发展[J].中国农垦,():-.
- [10]沈林晨,薛坤鹏,朱寒豹,等.菠萝组培工厂化育苗设计和设备应用[J].现代农业装备,,():-.
- [11]尤小婷,张曼其,刘建荣,等.菠萝叶芽扦插繁殖技术研究[J].热带农业科学,,():-.



湛江农垦菠萝产业工作现状、问题与高质量发展措施探讨

黄香武¹ 欧阳帅¹ 骆争明¹ 陈泽凡¹ 丁勇¹ 经福林² 文尚华¹ 陈士伟²

1 广东省湛江农垦集团有限公司, 广东湛江 524044

2 广东省湛江农垦科学研究所, 广东湛江 524000

摘要: 本文介绍了湛江农垦菠萝产业现状及当前主要工作成效情况, 摆出了主要存在问题, 围绕菠萝产业高质量发展目标针对存在问题, 提出了依靠科技创新提质、标准机械化提效、加工综合利用提值和市场品牌提益等措施。

关键词: 湛江农垦; 菠萝; 产业; 发展; 措施

中国菠萝看广东, 广东菠萝看湛江, 湛江菠萝看农垦。近年来, 湛江农垦牢牢把握高质量发展任务, 全面推进“百千万”工程深入实施, 按照打造菠萝全产业链思路, 抓好种苗培育、示范种植、产品加工、品牌营销等各个环节工作, 加快新技术、新工艺、新设备的应用, 全面提升广垦菠萝竞争力和影响力。截至目前, 湛江农垦菠萝种植面积 9.35 万亩, 共有 9 家种植单位分别为红星农场、友好农场、南华农场、五一农场、东方红农场、幸福农场、火炬农场、金星农场、现代农业公司; 国有经营面积 0.76 万亩, 占比 8.2%; 非国有经营面积 8.59 万亩, 占比 91.8%; 其中新品种种植面积 8350.3 亩 (国有经营 5730.3 亩, 非国有经营 2620 亩)。2024 年预计菠萝产量 16.63 万吨, 预计实现农业产值 4 亿元。菠萝产业已成为湛江农垦的特色优势产业之一, 为推动垦区菠萝产业高质量发展, 我们将近年主要工作情况、存在问题及下一步工作设想 (对策) 报告如下, 以抛砖引玉、方便交流和集思广益。

一、主要工作做法

(一) 抓种苗培育

1. 打造菠萝良种繁育体系。从以前的“一苗难求”到现在年繁育菠萝健康种苗 2 亿株以上, 实现了从海南“求”苗到自主育苗的转变, 示范带动周边农户种植新品种凤梨 1 万多亩, 满足了雷州半岛对菠萝健康种苗的需求。

2. 加快推进巴厘提纯复壮。垦区种植巴厘品种面积占菠萝总面积 90% 以上, 主栽传统品种巴厘因长期采用裔芽繁殖, 已出现种性退化问题, 通过优选母株和顶芽, 采取切茎或组培方法, 实现提纯复壮。

3. 积极引进凤梨新品种。按照“选育一批、试种一批、推广一批”的思路, 联合科研院所积极开展“台农”系列、金菠萝、红香菠萝等新品种试验工作, 筛选出果肉嫩滑, 酸甜适中的芒果凤梨等优良品种示范推广, 目前已繁育芒果凤梨种苗 100 万株, 预计 2024 年种植芒果凤梨 160 亩, 计划用 3—5 年逐步扩大种植规模, 力争达到千亩。

(二) 抓示范种植

1. 编制生产技术规程。编制《菠萝大田去蕾育苗技术规程》、《菠萝大田钻心育苗技术规程》、《菠萝杂交少刺品种生产技术规程》、《鲜食菠萝品种栽培技术规程》等多个生产技术规程, 进一步规范统一垦区菠萝种植技术标准。依托湛江研究所, 通过比较不同品种菠萝的植物学性状、果实外观性状、内在品质及农艺技术等, 筛选出适宜本地区栽培、综合性状好、市场潜力大的菠萝品种, 助力菠萝种植结构调整优化。

2. 培育专业服务团队。从以前的“一盆散沙”到培育了 7 支专业服务团队, 自主开展凤梨覆膜及膜下滴灌、凤梨套袋栽培、电石催花技术服务, 实现亩均成本降低超 600 元。推行职业经理人科学管理菠萝标准化示范种植基地, 灌溉保证率从 50% 提高到 90%, 实行高效节水灌溉的菠萝生长期缩短 2—3 个月, 产量提高 30% 以上。

3. 不断提高机械化水平。联合科研机构加大机械化研发力度, 投入新型菠萝种植机, 成本约 15 万元/辆, 每日可种植菠萝 20 亩, 效率可抵 16 个人工, 生产成本可降低三分之一。采取北斗导航定位种植, 为后期田间机械化管理及采收打好基础。依托自走式高低隙拖拉机初步实现了菠萝机械化田管工作。无人机喷施叶面肥效率可提高 5.3 倍, 亩均可节省 14 元。



（三）抓产品加工

1. 延长加工产业链。将鲜食及加工两个市场分开供应，确定“卡因”品种作为加工的原料品种，建设 1000 亩卡因菠萝加工专用品种种植示范基地，延长加工原料供应时间。建立菠萝精深加工及综合利用体系，优化加工工艺，引进通用设备。

2. 推进菠萝精深加工及综合利用。建设年产罐头、果汁、果酱果馅超 2 万吨的智能生产线，预计今年 6 月底全面完成设备的安装调试。建设年产中档超肽酶制剂产品（水产专用）、低档超肽酶制剂产品（饲料添加剂专用）超 3000 吨酶制剂生产线，并探索植物纤维加工，实现一颗菠萝“吃干榨尽”。

3. 有效利用出口资质。紧贴广东“12221”市场体系，把握 RCEP 徐闻菠萝国际采购交易中心挂牌机遇，主动积极融入 RCEP，收获罐头食品公司获得出口菠萝加工品（浓缩汁和菠萝罐头）备案证明，加工基地获得广东省农产品出口示范基地，“红土金菠”产品先后出口日本、新加坡等国家。

（四）抓品牌营销

1. 抓好仓储分选环节。建设菠萝产地运营中心自动分选线年产能 6 万吨，完成分选分级、品质检测、降温预冷、冷链储运等菠萝采后工厂化预处理，确保产品品质稳定、供应稳定、标准统一。在菠萝智能化分选线的数字化中控台可随时了解每颗菠萝的内外在品质数据和入库实况，光电分选机可以测出每颗菠萝的糖分、黑心、水心等情况并自动检测单颗菠萝的重量，菠萝从农产品转变成商品只需要几分钟。

2. 打造大营销平台。发挥全国名特优新农产品的品牌优势，建立“广垦菠萝”大营销平台，通过“统一品牌、统一包装制作、统一标准、统一快递”，年节约营销费用超 12 万元。与阿里巴巴数字乡村联合打造徐闻菠萝区域公用品牌——“红土金菠”，在采收采后处理、分选分级、包装及分装出库、售后服务等标准上均有严格限定，“红土金菠”甜蜜蜜凤梨、香水菠萝上架盒马官方旗舰店，开展线上销售，并对接 10 余位淘宝明星及主播直播带货，销量突破 4 万单；芭芭农场作为淘宝日活最高的互动类游戏，广东农垦菠萝上线两天商品曝光量破亿。

3. 畅通市场营销渠道。按照省农业农村厅“12221”市场体系部署，加强与阿里巴巴、京东、拼多多、百果园、每日优鲜等企业合作，从以前的“地头贱卖”到在北京新发地、浙江金华、重庆双福、广州江南、浙江嘉兴等 10 多个城市建立销地仓，创新电商、直播带货及销地仓线上线下联动的菠萝鲜果营销模式，打通农产品流通的“最先 1 公里”和“最后 1 公里”。目前，与广东优果、重庆金果源、广州茂衡、沈阳曲牌、湖南果之友、盒马鲜生、永辉、昌大昌等连锁商超签订了菠萝供货协议。

4. 产业效益稳中有升。今年 2 月底到 5 月中旬近 80 天，销售凤梨 1253 万斤，已完成销售收入 2894 万元（不含苗的销售收入），亩均利润达 3000 元，比传统巴厘价格高一倍以上。广东农垦湛江菠萝入选中国特色农产品优势区；广垦红星凤梨和湛江现代农业凤梨入选 2023 年度全国名特优新农产品；广垦红土金菠牌凤梨和湛江现代农业凤梨入选 2023 年度全国特质农产品。

二、存在问题和困难

（一）品种优化有待加强

种植的菠萝品种单一且质量档次不高，鲜食、加工和鲜食加工两用型品种结构不够合理。巴厘品种种苗供应采用裔芽繁殖为主，导致品种退化严重、品种质量不稳定等问题；受种植技术和成本限制，凤梨品种推广慢。

（二）生产环节机械化水平低

标准化种植技术规程应用推广不足，易受天气等环境因素影响，抗风险程度低。种植、管理、采收等环节机械化作业水平偏低，大多依靠人工操作或半机械化作业，生产成本较高。

（三）精深加工与综合利用不足

以菠萝罐头、菠萝干、菠萝汁、菠萝点心（凤梨酥）等初加工产品为主，产品附加值较低，边角肉、果渣作为废弃物缺乏综合利用，菠萝酶、菠萝叶纤维等多元化产品开发尚未形成规模，精深加工能力有待挖掘。



（四）市场开拓力度有待提高

种植基地与运销企业未能进行良好对接，鲜果采时和采后各环节损伤损耗较多，鲜果质量很难稳定，一定程度上造成鲜果和加工产品在国内外市场占有率较低，品牌溢价率不高，市场竞争力不强。

三、下步工作措施探讨

（一）以打好种业翻身仗为重点，实现科技创新突破

发挥科研院所优势，持续推进台农 16 号、17 号、金菠萝等优良种苗体系建设，做好品种抗病性、稳定性、一致性等提纯复壮更新换代工作，以确保优质菠萝品种种苗质量和可持续供应。优化卡因绿色高效种植技术，为产品加工打好基础。推广优质凤梨种苗供应和高成功率催花技术，计划性调整凤梨成熟供应市场，实现凤梨产期调控，提高凤梨产品的市场竞争力和种植效益。

（二）以推进标准化机械化为重点，实现生产环节突破

针对菠萝种植、采收过程中人工劳动强度大、效率低等问题，加大科技研发力度，推广集成标准化生产技术。积极利用新型农机购置补贴项目资金，探索“企业+科研团队+农户”合作模式，拓展开发新品种种植。加大机械化采收巴厘菠萝装备的攻关力度，强化人工智能、机器人、智能制造等技术与农业装备融合。

（三）以提升产品附加值为重点，实现产品加工突破

逐步建立起智能生产线和酶制剂生产线的运营体系，开展试运行工作，加快研发高精尖、高附加值的菠萝加工新产品，有效拉长菠萝产业链，提升产业综合效益。优化生产流程，结合实际制定生产计划，充分利用次级果，提高加工产能。积极探索多种经营模式，酶制剂项目已与宝库绿源农业科技签订合同协议，采用保底收益和增量分成方式开展合作。

（四）以加大开拓市场力度为重点，实现品牌效益突破

创新营销模式，进一步优化农产品流通体系建设，加强电商、产地仓与销地仓三者联动，稳步提升菠萝运营中心对菠萝鲜果分级分选的规模，降低长途运输损耗率。利用数字化营销推动消费者触达和销量双提升，加快培育垦区直播带货人才，构建多产品多品类联动的换季销售体系，有序开展农产品错峰营销，解决菠萝销售因季节性问题产生的成本负担。



诺丽精油微乳体系的构建及其稳定性和抑菌活性研究

汪雪凤¹, 江芊^{*}, 范佐旺³, 赵建平¹, 谢小丽¹, 林嘉欣¹, 胡璇¹, 王凯¹, 黄梅¹, 于福来^{**}, 王丹^{**1}

1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业农村部中药材生物学与栽培重点实验室/海南省热带药用植物工程研究中心, 海南 海口 571101;
2. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665000;
3. 三明医学科技职业学院, 福建 三明 365000;
4. 海南医科大学, 海南 海口 571199

摘要 构建诺丽精油微乳体系, 并进行稳定性考察和抑菌活性评价。通过表观观察和伪三元相图法, 结合相转化滴定法, 从四种聚氧乙烯型非离子表面活性剂和四种短链醇助表面活性剂中筛选, 确定适宜诺丽精油的微乳体系。进一步从温度、离心速率、酸碱度、盐离子浓度、贮藏时间等因素对微乳稳定性进行考察。分别采用纸片扩散法、微量二倍稀释法研究诺丽精油微乳对热带假丝酵母菌药物敏感度和最小抑菌浓度。结果表明, 以蓖麻油聚氧乙烯醚 40 为表面活性剂, 丙三醇为助表面活性剂, $K_m=3$, 混合表面活性剂与精油质量比为 7:3 时, 所构建的诺丽精油微乳体系较优, 70%含水量的拟三元相图的乳化面积达到 83.6%, 粒径为 25.88 nm, 多分散指数为 0.18。诺丽精油微乳的贮藏稳定性较好, 低速离心不破坏其稳定性, 不同盐离子浓度对微乳形成影响较小, 适宜在偏酸性环境下以及 50 °C 以下使用。诺丽精油微乳的抑菌圈显著高于诺丽精油, 抑菌圈直径为 17.73 mm, 为高敏, 微乳最小抑菌浓度为 512 $\mu\text{g/mL}$ 。本研究的诺丽精油微乳体系制备方法简单、载药量高、外观良好, 显著提高了诺丽精油的稳定性、贮藏时间以及抑菌活性, 为后续诺丽精油的应用提供良好的基础。

关键词: 诺丽精油; 微乳; 伪三元相图; 稳定性; 热带假丝酵母菌; 抑菌活性

Study on the construction, stability and antifungal activity of microemulsion system of Noni essential oil

WANG Xue-feng^{1,2}, JIANG Qian¹, FAN Zuo-wang³, ZHAO Jian-ping¹, XIE Xiao-li¹, LIN Jia-xin^{1,4}, HU Xuan¹, WANG Kai¹, HUANG Mei¹, YU Fulai¹, WANG Dan¹

¹. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Cultivation of Herb Medicine, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R. China/Hainan Provincial Engineering Research Center for Tropical medicinal plants, Haikou, China;

². College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er, China;

³. Sanming Medical and Polytechnic Vocational College, Sanming, China;

⁴. Hainan Medical University, Haikou, China

Abstract The microemulsion system of Noni essential oil was constructed, and its stability and antifungal activity were evaluated. Four kinds of polyoxyethylene non-ionic surfactants and four kinds of short-chain alcohol cosurfactants were selected by the

收稿日期 --

基金项目 海南省重点研发计划项目 (ZDYFSHFZ); 海南省重大科技计划项目 (ZDKJ); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金 ()。

作者简介 汪雪凤 (-), 女, 本科, 研究方向: 中草药栽培与鉴定。*同等贡献作者: 江芊 (), 女, 学士, 研究方向: 南药资源研究与开发。**通讯作者 (Corresponding author): 王丹 (Wangdan), E-mail: wang_dan@.com; 于福来 (YU Fulai), E-mail: fulai.yu@.com。



method of apparent observation, pseudo-ternary phase diagram and phase conversion titration to determine the suitable microemulsion system for Noni essential oil. The stability of microemulsion was investigated by temperature, centrifugation rate, pH, salt ion concentration and storage time. The drug sensitivity and minimum inhibitory concentration of Noni essential oil microemulsion to *Candida tropicalis* were studied by disk diffusion method and microdouble dilution method. The better microemulsion system was established for Noni essential oil, with castor oil polyoxyethylene ether as the surfactant, glycerol as the cosurfactant, K_m =, the mass ratio of mixed surfactant to essential oil was $\therefore$. The emulsion area of the pseudo-ternary phase diagram with % water content is .%, the particle size is . nm, and the polydispersion index is .. This microemulsion with good storage stability, and then low speed centrifugation and different salt ion concentration could not destroy its stability. In addition, it microemulsion is suitable for use in acidic environments and below °C. The inhibition zone diameter of Noni essential oil microemulsion was . mm, indicating high sensitivity, which was significantly higher than that of Noni essential oil. The Noni essential oil microemulsion system has the advantages of simple preparation method, high drug loading and good appearance, which significantly improves the stability, storage time and antifungal activity of Noni essential oil. This research provides a good basis for the subsequent application of Noni essential oil.

Key words: Noni essential oil; microemulsion; pseudo-ternary phase diagram; stability; *Candida tropicalis*; antifungal activity

诺丽（Noni）为茜草科海巴戟天属海滨木巴戟 *Morinda citrifolia* L. 的新鲜果实^[1]，现代研究证实，诺丽果具有抗菌、抗病毒、抗氧化、镇痛、降血压、抗炎等多种生理活性^[2]，是非常适合的广谱性天然植物食品和药源^[3]，被广泛应用于食品、医药和农药等领域^[4]。前期研究发现，诺丽精油具有显著的抑菌活性，尤其是对较常见的、致病力强、感染后难自愈^[5]的热带假丝酵母菌^[6]（*Candida tropicalis*）等真菌显示出良好的抑制作用。但是，由于诺丽精油具有特殊的“臭乳酪”味，且难溶于水、见光易分解、易挥发、稳定性差等特点，限制了诺丽精油的在食品保鲜、药物防腐等方面的应用。因此，需要改善和提升诺丽精油的水溶性和稳定性。

微乳液是由水、油、表面活性剂和助表面活性剂按照一定比例自发结合，形成的透明的或半透明稳定均一的热力学稳定体系^[7]。微乳液能提高难溶药物的溶解度，对药物具有缓释、控释作用，对于易水解和挥发性强的药物，有很好的保护作用^[8]，能有效地提高非水溶性物质抵抗外界环境破坏的一系列降解反应。并且，微乳的粒径在 1-100 nm 之间，微乳的液滴很小，能促进药物有效吸收，提高药物生物利用度，是一种优良的载体^[9]。聚氧乙烯型非离子表面活性剂是具有活泼氢原子的疏水性原料与环氧乙烷或聚乙二醇进行反应制得的，具有稳定性高，不易受强电解质存在的影响，与其他类型表面活性剂能混合使用，相溶性好，在各种溶剂中均有良好的溶解性^[10]。

因此，本研究从四种聚氧乙烯型表面活性剂和四种短链醇助表面活性剂中筛选和构建最适合诺丽精油微乳的体系，并进一步明确诺丽精油微乳液的稳定性，以及对微乳液对热带假丝酵母菌的抑菌活性，旨在提高诺丽精油的溶解性、稳定性、缓释的同时，提高其利用率和生物活性，为后续诺丽精油的在食品和药品等领域的开发利用提供数据支持和科学依据。

1. 仪器和试剂

1.1 仪器

HH-4 数显式恒温水浴锅（金坛区西城新瑞仪器厂）；电子天平（赛多利斯科学仪器（北京）有限公司）；高速冷冻离心机（SIGMA）；涡旋仪（INTLLAB）；电导率仪（上海越平有限公司）；KQ-500DB 型数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；PH 计（Sartorius）；BH-600 电子天平（上海友声衡器有限公司）；N4S 紫外可见分光光度计（上海仪电分析仪器有限公司）；JJ200 型电子天平（常熟市双杰测试仪器厂）。SW-CJ-1Fb 单人单面净化工作台（苏州净化有限公司）。一次性针式过滤器（天津市领航实验设备股份有限公司）；一次性使用无菌注射器（带针）5 mL（武汉市王冠医疗器械有限公司）；96 孔板（比克曼生物有限公司）；一次性无菌培养皿（广东环凯生物科技有限公司）。

1.2 试剂和试药

聚氧乙烯型表面活性剂，分别为蓖麻油聚氧乙烯醚 40（临沂亿群化工）；脂肪醇聚氧乙烯醚羧酸（山东优索化工科技有限公司）；脂肪醇聚氧乙烯醚 9（山东优索化工科技有限公司）；腰果酚聚氧乙烯醚 10（山东优索化工科技有限公司）。助表面活性剂，分别为丙三醇（西陇科学有限公司）；聚乙二醇、丁二醇（国药集团化学试剂有限公司）；异戊醇（广州化学试剂厂）。以上试剂均为分析纯。

其他试剂为磷钨酸负染液 2%（飞净生物科技有限公司）；染剂苏丹 III、亚甲基蓝（Solarbio）；氯化钠（西陇科学有限公司）；磷酸氢二钠（西陇科学有限公司）；柠檬酸（广州牌化学试剂厂）；甲醇（西陇科学有限公司），YPD 液体培养基、酵母浸出粉胨葡萄糖琼脂培养基（Solarbio）。

菌种为热带假丝酵母菌 *Candida tropicalis* BNCC334135（环凯微生物科技有限公司）。

2 方法和结果

2.1 诺丽精油制备及检测

诺丽精油（Noni essential oil，简称 NEO）是由购自海南万宁的植物海滨木巴戟 *Morinda citrifolia* L. 的新鲜果实采用水蒸气蒸馏的方法制备而成，料液比为 1:3 时，诺丽精油的提取率为 0.3%。

2.2 诺丽精油微乳制备和体系构建

2.2.1 表面活性剂对诺丽精油微乳液形成的影响

以蓖麻油聚氧乙烯醚 40、脂肪醇聚氧乙烯醚 9、脂肪醇聚氧乙烯醚羧酸、腰果酚聚氧乙烯醚 10 为表面活性剂，助表面活性剂为丙三醇，按照 $K_m=3$ （ K_m 为表面活性剂与助表面活性剂的比值），制备成混合表面活性剂（Surfactants mixed with cosurfactants，简称 SMC）。再将混合活性剂与油相诺丽精油按照 SMC:NEO=9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9 的质量比混合使用涡旋仪 2000 rpm 涡旋 30 s，将混合物在室温条件下静置 15 min，采用相转滴定法，去离子水作为水相制备微乳，逐滴加入去离子水并均匀振荡，边滴加边涡旋直至体系由澄清变浑浊或由浑浊变澄清，且状态不变，记录临界点去离子水的添加量，重复 3 次。计算该组分在转变点时的质量分数。制备完的样品超声 2 min^[1]，并静置 24 h 观察样品外观状态是否变化，再进行后续试验。分别以诺丽精油为油相，去离子水为水相以及混合活性剂为三项顶点，临界点各项的质量分数采用 Origin 8.5 软件绘制拟三元相图，确定微乳的区域，计算出微乳区域的面积，选择出最佳的表面活性剂^[12]。

从 4 种聚氧乙烯型表面活性剂中筛选的结果可知，当 $K_m=3$ 时，以蓖麻油聚氧乙烯醚 40 为表面活性剂，丙三醇为助表面活性剂，MAA:NFO 分别为 9:1、8:2 和 7:3 时，均可以形成澄清透明，有蓝光的微乳，且由图 1 可见，微乳区面积最大，为 0.863，较适合诺丽精油微乳的制备。

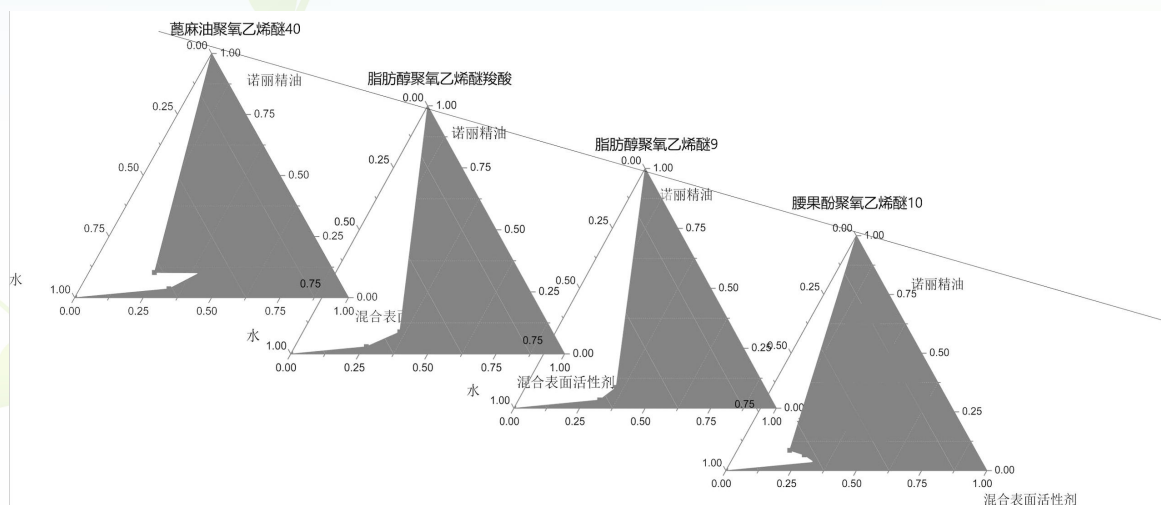


图 1 4 种表面活性剂微乳拟三元相图

Fig.1 Pseudo-ternary phase diagram of four kinds of surfactant microemulsions



2.2.2 助表面活性剂对诺丽精油微乳液形成的影响

根据 2.2.1 中的结果，以蓖麻油聚氧乙烯醚 40 为表面活性剂，分别以丁二醇、丙三醇、聚乙二醇、异戊醇为助表面活性剂， $K_m=3$ ，制备微乳，绘制拟三元相图，计算微乳区域的面积，结合微乳表观澄清度，进一步筛选较优的助表面活性剂。

根据表 1 和图 2 可知，以蓖麻油聚氧乙烯醚 40 为表面活性剂， $K_m=3$ ，不同的助表面活性剂对微乳形成影响不同，结果表明，丙三醇较适合诺丽精油微乳体系构建。

表 1 4 种助表面活性剂对微乳表观和微乳区域面积的影响 ($K_m=3$)

Table 1 Effects of four kinds of co-surfactants on the apparent and area of microemulsion ($K_m=3$)

助表面活性剂 Co-surfactants	SMC 和 NEO 质量比 SMC and NEO mass ratio			微乳区面积 Microemulsion area
	9:1	8:2	7:3	
丙三醇	澄清透明	澄清透明	澄清透明, 呈现蓝光	0.863
1, 4-丁二醇	澄清透明	澄清透明	浑浊	0.718
聚乙二醇	澄清透明	浑浊	浑浊	0.781
异戊醇	澄清透明	澄清透明	浑浊	0.655

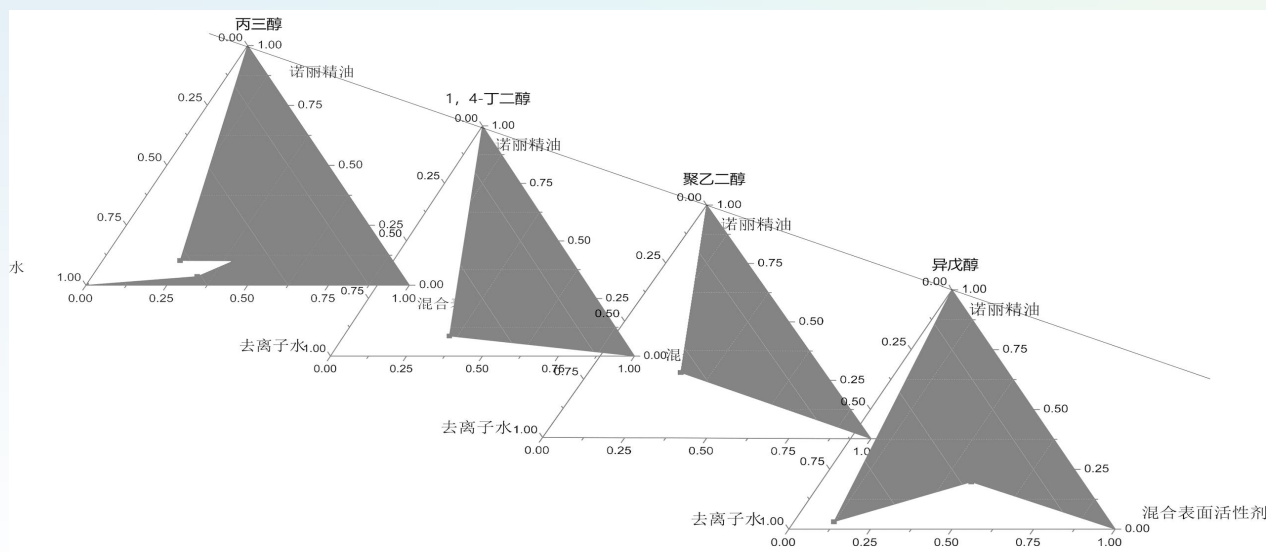


图 2 4 种助表面活性剂对诺丽精油微乳区域的影响

Figure 2 Effect of 4 co-surfactants on the microemulsion area of noni essential oil

2.2.3 K_m 值对诺丽精油微乳液形成的影响

根据 2.2.2 中的结果，以蓖麻油聚氧乙烯醚 40 为表面活性剂，丙三醇为助表面活性剂，分别按照 $K_m=4$ 、3、2、1 制备微乳，绘制拟三元相图，计算微乳区域的面积，结合微乳表观澄清度，进一步确定最佳的表面活性剂和相应的 K_m 值^[12]，确定诺丽精油微乳的最优配方。

根据表 2 和图 3 可知，以蓖麻油聚氧乙烯醚 40 为表面活性剂，丙三醇为助表面活性剂，不同 K_m 值对微乳形成影响不同，结果进一步验证 K_m 为 3 适合诺丽精油微乳的制备。



表 2 不同 Km 值蓖麻油聚氧乙烯醚 40 对微乳表现和微乳区面积的影响

Table 2 Effect of castor oil ethoxylate40 with different Km values on the apparent and area of microemulsion

Km	SMC 和 NEO 质量比 SMC and NEO mass ratio			微乳区面积 Microemulsion area
	9:1	8:2	7:3	
1	澄清透明	澄清透明, 蓝光	浑浊	0.755
2	澄清透明, 略微呈现蓝光	浑浊	浑浊	0.791
3	澄清透明	澄清透明	澄清透明, 呈现蓝光	0.863
4	澄清透明	浑浊	浑浊	0.856

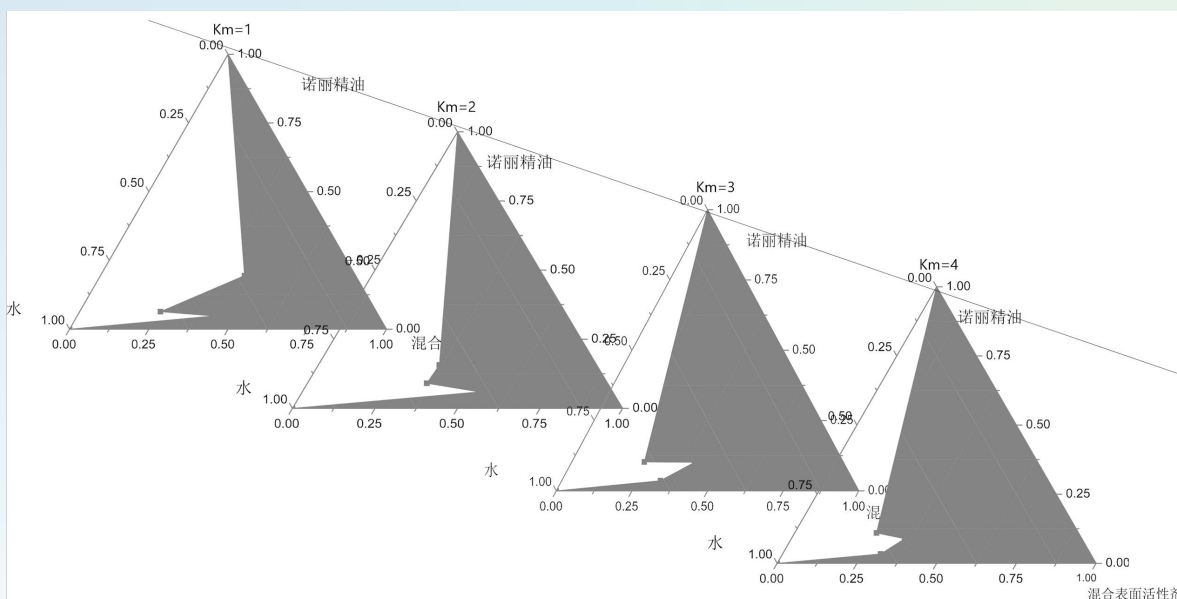


图 3 不同 Km 值对诺丽精油微乳区域的影响

Fig. 3 Effect of different Km values on the microemulsion area of noni essential oil

2.2.4 电导率值对诺丽精油微乳液形成的影响

采用电导率法, 室温下测定微乳经去离子水稀释过程中的电导率情况, 分别测定微乳含水量分别为 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%的电导率值^[13]。

根据图 4 可知, 随着含水量的增加, 微乳电导率值呈现出先升高后降低的趋势, 在 70%含水量时达到最大值, 此时, 诺丽精油微乳达到 O/W 型微乳。后续, 随着含水量的增加, 电导率值降低。

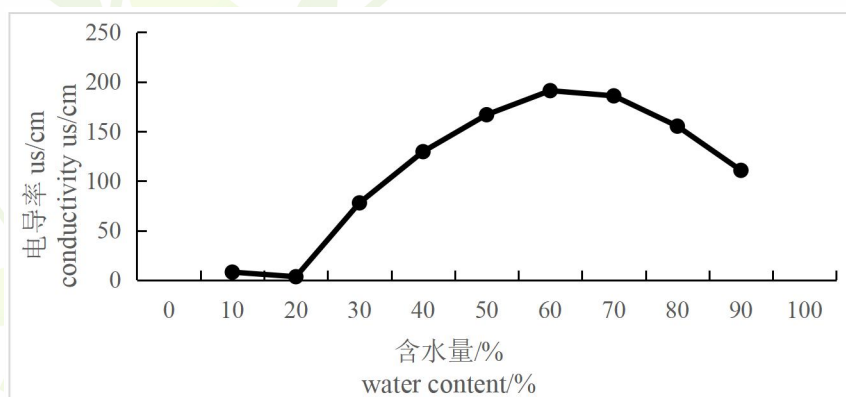




图 4 不同含水量对 NFON 电导率的影响

Figure 4 Effect of different water content on NFON conductivity

2.2.5 诺丽精油微乳粒径和多分散指数测定

采用马尔文激光粒度仪（Nano-ZS 激光粒度仪）在室温下测定微乳粒径大小、多分散指数（Polydispersity index, PDI），采用电导率最高点的含水量为 70% 微乳液测试，平行测定 3 次，计算微乳平均粒径和多分散指数^[14]。

根据图 5 中结果，可知该微乳液的粒径在 10-100 nm 范围内，粒径大小为 25.88nm，PDI 为 0.177。

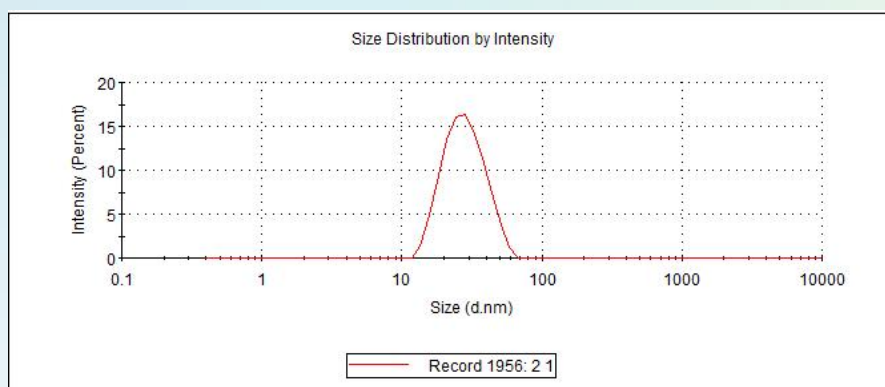


图 5 诺丽精油微乳粒径分布图

Figure 5 Particle size distribution of noni essential oil microemulsion

2.2.6 诺丽精油微乳构型确定

采用亚甲基蓝和苏丹 III 染色剂分别对微乳进行染色，通过染色速度判断微乳的水溶性。称取 0.05 g 亚甲基蓝，用去离子水配置成 10 mL 溶液，配成 5 mg/mL 亚甲基蓝染色液；称取 0.05 g 苏丹 III，使用 95% 乙醇配置成 10 mL 溶液，配成 5 mg/mL 苏丹 III 染色液。分别吸取 1.5 mL 的 70% 含水量微乳于两个离心管中，然后，一管中加入 0.2 mL 亚甲基蓝染色液，另一管加入 0.2 mL 苏丹 III 染色液，观察染色剂扩散情况，确定其水溶性。另设对照组 2 管，一管加入 1.5 mL 去离子水，一管加入微乳配方比例的混合表面活性剂，2 管内均加入 0.2 mL 亚甲基蓝染色液，观察其表观变化。

染色法是判断微乳构型最直观的方法，由图 6 可见，70% 含水量微乳在亚甲基蓝染色液中的扩散速度快于苏丹 III 染色液，说明此时微乳液水溶性好，构型为 O/W 型^[15]，说明微乳包埋提高了诺丽精油的水溶性。同时，本微乳采用的混合表面活性剂也具有良好的水溶性。

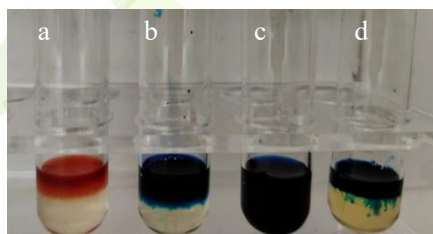


图 6 诺丽精油微乳在不同染色剂中的扩散情况

Fig. 6 Diffusion of noni essential oil emulsion in different stains

备注：a 为 NEO 微乳的苏丹 III 染色；b 为 NEO 微乳的亚甲基蓝染色；c 为去离子水亚甲基蓝染色；d 为混合表面活性剂亚甲基蓝染色

Notes: a is the Sudan III staining of NEO microemulsion; b is methylene blue staining of NEO microemulsion; c is methylene blue staining in deionized water; d is mixed surfactant methylene blue staining



2.2.7 透射电镜观察微乳状态

采用透射电子显微镜观察 70%含水量诺丽精油微乳液的形态。将铜网置于蜡板上，滴加 2 μL 微乳液，自然风干，把质量分数 2%磷钨酸 (pH 7.4) 溶液滴在蜡板上，将晾干的铜网倒置于染液上，负染 15 min，用蒸馏水冲洗，吸干，上电镜观察[16]。

由图 7 可知，该微乳体系粒子分散均匀、颗粒呈的球状和类球状分布[17]。同时，也证明诺丽精油微乳为 O/W 型。

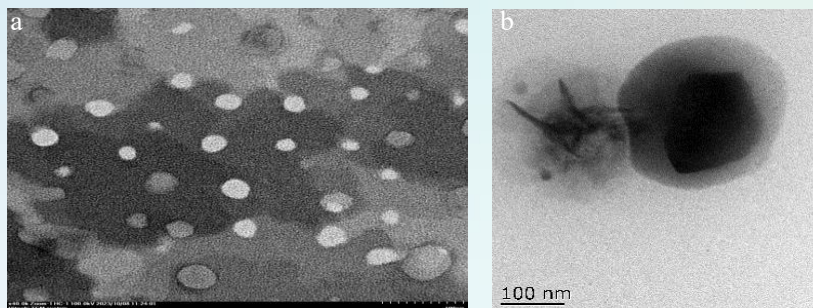


图 7 诺丽精油微乳透射电镜照片

Fig.7 Noni essential oil microemulsion TEM photograph

备注：a-x 60000；b-x 90000

Note: a-x 60000; b-x 90000

2.3 诺丽精油微乳稳定性考察

2.3.1 温度稳定性

分别制备含水量为 70%和 90%的诺丽精油微乳液，分别在 30、40、50、60、70、80、90、100 $^{\circ}\text{C}$ 条件下进行水浴加热 15 min，观察微乳表观状态，并测定微乳液的吸光度值，计算透光率，采用 SPSS Statistics 27 进行统计学分析，通过透光率分析温度对诺丽精油微乳的影响。

透光率/%= A_0/A_h *100

A_0 : 加热前微乳液吸光度； A_h : 加热后微乳液吸光度。

由图 8 可见，不同温度下，不同含水量的微乳的透光率发生了较大变化。70%和 90%含水量的微乳透光率在不同温度间差异显著，并且 70%含水量微乳随着温度的升高呈现出逐渐降低的趋势，在 50 $^{\circ}\text{C}$ 时透光率已降低到 50%以下。90%含水量的微乳透光率在随着温度的升高呈现出先降低再升高然后再降低的趋势。在 50 $^{\circ}\text{C}$ 时透光率在 80%左右，以上结果说明 70%和 90%含水量的微乳较适宜在 50 $^{\circ}\text{C}$ 以下使用和保存。

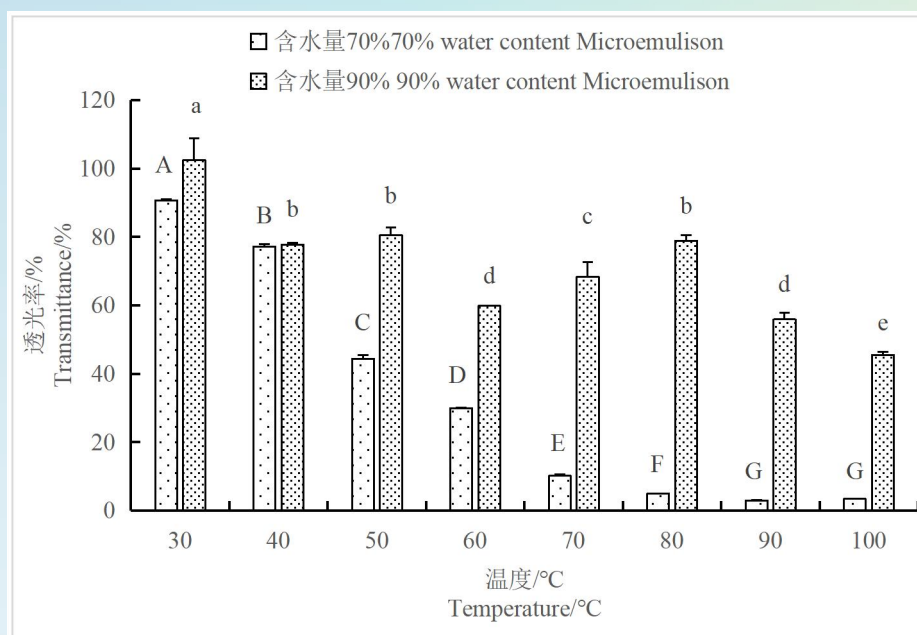


图 8 不同温度对诺丽精油微乳透光率的影响

Fig. 8 Effect of different temperatures on the light transmittance of noni essential oil microemulsion

备注：不同大写字母表示 70%含水量微乳不同温度下差异显著（ $p<0.05$ ）；小写字母表示 90%含水量微乳不同温度下差异显著（ $p<0.05$ ）下同。

Note: Different uppercase letters indicate significant differences in 70% water content at different temperatures ($P<0.05$). The lowercase letter indicates that the 90% water content of the microemulsion is significantly different at different temperatures ($P<0.05$), the same below.

2.3.2 离心稳定性

分别制备含水量为 70%和 90%的诺丽精油微乳液，分别在 2000、4000、6000、8000、10000 r/min 条件下离心 30 min，以去离子水作为对照，表观状态，并测定微乳的吸光度值，计算透光率，通过透光率分析离心对于微乳液的影响。

$$\text{透光率}/\% = A_2/A_3 \times 100$$

A_2 ：离心后微乳液吸光度； A_3 ：离心前微乳液吸光度。

为了避免微乳在贮藏、加工和运输等过程中发生颗粒聚集、静置分层和破乳等不稳定现象，因此，采用离心加速法测试微乳的稳定性^[7]。根据图 9 可见，水分含量为 70%和 90%的 O/W 型诺丽精油微乳在不同离心转速下，离心前后均澄清透明，且静置不分层，且透光率均在 90%以上。

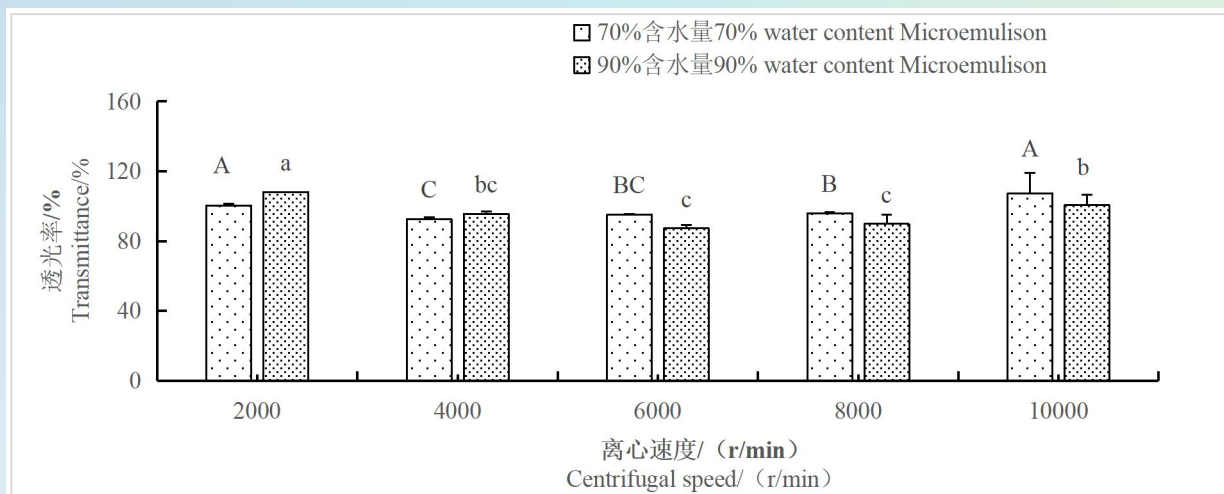


图 9 不同离心速度对诺丽精油微乳液透光率的影响

Fig. 9 Effect of different centrifugation speeds on the light transmittance of noni essential oil microemulsion

2.3.3 酸碱度稳定性

分别使用 0.1 mol/L 柠檬酸和 0.2 mol/L 磷酸氢二钠, 0.2 mol/L 稀盐酸和 0.2 mol/L 氢氧化钠配制成 pH 值为 3、4、5、6、7、8、9 的两种不同离子的酸碱缓冲液, 以代替去离子水为水相, 制备微乳, 观察表观状态, 选择均匀透明的微乳液样品, 记录数据, 测定其吸光度, 计算透光率, 确定酸碱度对微乳形成的影响。

$$\text{透光率}/\% = A_4/A_5 \times 100$$

A₄: 处理前微乳液吸光度; A₅: 处理后微乳液吸光度。

根据图 10 可知, 采用稀盐酸和氢氧化钠配置的酸碱缓冲液时, 不同 pH 处理间差异显著, pH 值为 6 时透光率最高, 最适合诺丽精油微乳形成, 其次 pH 为 2、3、4 时, 透光率近于 100%, 也较适合。采用柠檬酸和磷酸二氢钠配置的酸碱缓冲液时, 不同 pH 处理间差异显著, 但是只有在 pH 为 2 和 3 时微乳液呈现出澄清透明的状态。与稀盐酸和氢氧化钠酸碱缓冲液, 柠檬酸和磷酸二氢钠配置的酸碱缓冲液 pH 为 6 时, 透光率显著降低。而两种酸碱缓冲液在 pH 为 7~9 时, 诺丽精油微乳均出现了乳白色浑浊现象。以上结果说明, 本微乳配方较适合在酸性条件下应用。

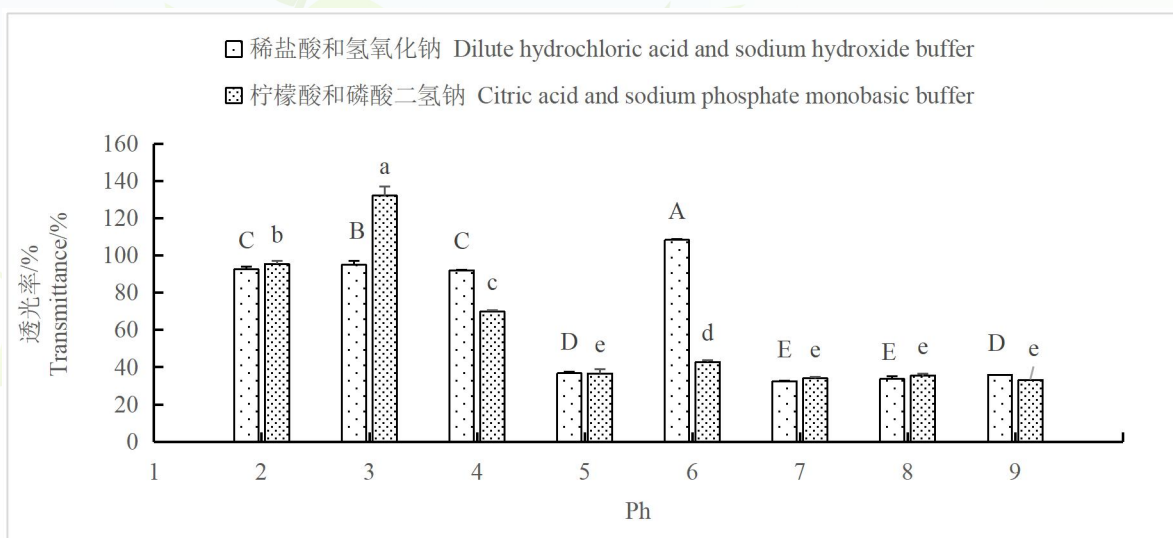


图 10 不同酸碱度对诺丽精油微乳液透光率的影响

Fig. 10 Effect of different pH on the light transmittance of noni essential oil microemulsion

2.3.4 盐离子浓度稳定性

分别制备 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1 mol/L NaCl 盐溶液以代替双蒸水为水相，制备微乳，放置于 25 °C 室温下贮藏，观察微乳外观状态，并测定微乳粒径和多分散系数（PDI），确定盐离子浓度对微乳稳定性的影响。

由图 11 可知，微乳平均粒径和 PDI 在不同盐离子浓度处理间差异显著。与 NaCl 浓度为 0 mol/L 时相比，其他盐离子浓度均显著提高了微乳的平均粒径，但是仍低于 100 nm，所形成的微乳也均澄清透明，有蓝光。且 PDI 均在 0.3 左右，说明微乳颗粒大小的分散较均匀。以上说明该微乳配方具有较好的离子浓度稳定性。

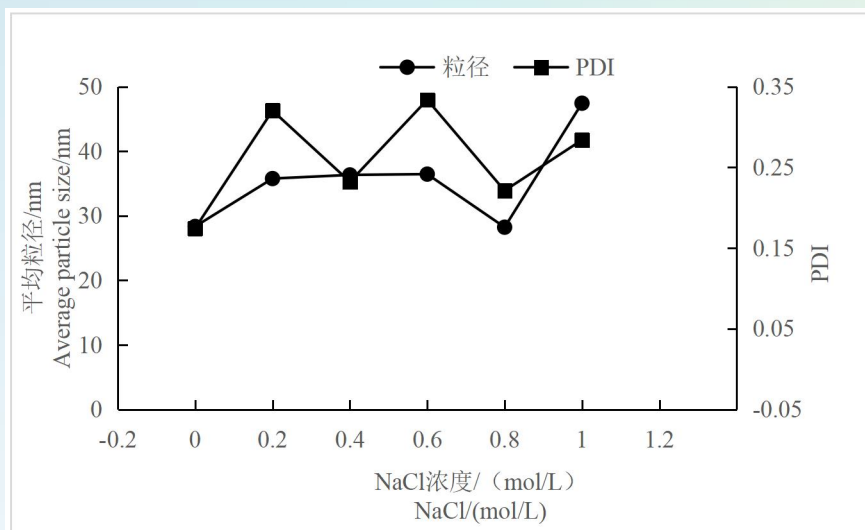


图 11 离子浓度对诺丽精油微乳粒径和分散系数的影响

Fig. 11 Effect of ion concentration on particle size and dispersion coefficient of noni essential oil microemulsion

2.3.5 贮藏稳定性

分别制备含水量为 70% 和 90% 的诺丽精油微乳液，分别在 4 °C 温度下进行贮藏，并在 0、15、30、45、60 d 测定微乳液的吸光度值，计算透光率，通过透光率分析微乳液的储藏稳定性是否良好。

$$\text{透光率}/\% = A_0/A_1 \times 100$$

A_0 : 贮藏前微乳液吸光度; A_1 : 贮藏后后微乳液吸光度。

根据图 12 可见，在 4 °C 储存条件下，在 0~60 d，含水量 70% 和 90% 的诺丽微乳透光率均随着时间的增加透光率逐渐降低，但均维持在 90% 以上。并且，70% 和 90% 含水量的微乳透光率在各处理时间差异显著。

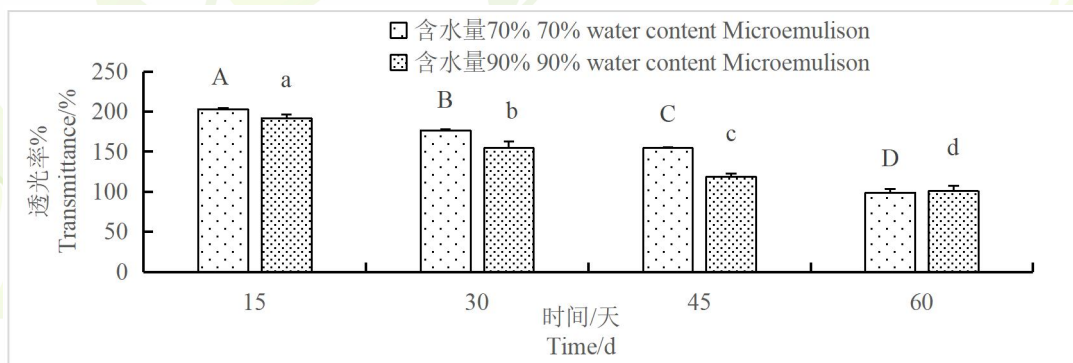


图 12 不同贮藏时间对诺丽精油微乳液透光率的影响

Fig. 12 Effect of different storage time on the light transmittance of noni essential oil microemulsion



2.4 抑菌性活性评价

2.4.1 微量二倍稀释法

2.4.1.1 处理组设置

诺丽精油微乳组为 70%含水量诺丽精油微乳；微乳溶剂对照组为未加精油的微乳配方溶剂；诺丽精油组为甲醇溶解的诺丽精油；阳性对照组为甲醇溶解的酮康唑溶液；溶剂对照组为未加诺丽精油，使用无菌水代替诺丽精油的甲醇溶剂；阴性对照组为培养基加入菌液，未进行任何药物处理；空白对照组为只有培养基，未加入菌液和任何药液，所用药物母液浓度均为 40.96 mg/mL。

2.4.1.2 菌悬液制备

采用接种环取热带假丝酵母菌 1 个单克隆菌落，放入约含 20 mL YPD 液体培养基的锥形瓶中，于 28 °C，200 rpm 的摇床中培养 11 h，然后将菌液稀释至 1×10^7 CFU/mL 备用。

2.4.1.3 最小抑菌浓度（MIC）测定

诺丽精油微乳组、诺丽精油组以及阳性对照组：在 96 孔板第 1 孔中加入 200 μ L 菌液，后 11 孔加入 100 μ L 菌液，吸取 5 μ L 相应药物加入第 1 孔，吹打均匀后再吸取 100 μ L 加入下一孔，重复以上操作至第 12 孔，第 12 孔吹打均匀后弃去 100 μ L，使药物最终浓度依次为 1024、512、256、128、64、32、16、8、4、2、1、0.5 μ g/mL。

微乳溶剂对照组：在孔中加入 200 μ L 菌液和 5 μ L 微乳溶剂。

溶剂对照组：在孔中加入 200 μ L 菌液和 5 μ L 甲醇溶剂。

阴性对照组：在孔中加入 200 μ L 菌液。

以上处理均重复 3 次，然后将 96 孔板放入 28 °C 培养箱中隔夜培养，先肉眼观察生长情况，再用酶标仪测定各样品 OD 值，确定 MIC 值。

结果表明，诺丽精油微乳对热带假丝酵母菌的 MIC 为 512 μ g/mL，诺丽精油的 MIC 为 1024 μ g/mL，阳性药物酮康唑的 MIC 为 32 μ g/mL，其他处理组未检测出抑菌活性。

2.4.2 纸片扩散法药敏实验

2.4.2.1 处理组设置

诺丽精油微乳 A 组：直接吸取 10 μ L 70%含水量的诺丽精油微乳液，每片纸片上载药量为 900 μ g；

诺丽精油微乳 B 组：用无菌水稀释 70%含水量的诺丽精油微乳液到 40.96 mg/mL，吸取 12.5 μ L，每片纸片上载药量为 512 μ g；

诺丽精油组：吸取 0.57 μ L 纯诺丽精油，每片纸片上载药量为 512 μ g；

阳性对照组：使用甲醇溶解酮康唑后吸取 12.5 μ L，每片纸片上载药量为 512 μ g；

微乳溶剂对照组：未加诺丽精油，使用无菌水代替诺丽精油的微乳溶剂 12.5 μ L；

溶剂对照组：未加诺丽精油，使用无菌水代替诺丽精油的甲醇溶剂 12.5 μ L；阴性对照组：吸取 12.5 μ L 无菌水代替药物处理。

2.4.2.2 抑菌圈测定

根据 2.4.1 中各处理组的 MIC 进行药敏实验，测定抑菌圈直径。采用 2.4.1.2 步骤制备菌液，吸取 100 μ L 菌液均匀涂布 YPD 固体培养基。根据 2.4.2.1 各处理组的设置，分别吸取相应药物滴入 6 mm 药敏纸片，待浸透纸片后平整放入平板中央，封口后 28 °C 隔夜培养，并采用十字交叉法量抑菌圈直径，以上处理均重复 3 次。

由表 8 和图 13 可知，诺丽精油微乳 A 组对热带假丝酵母菌为极敏，其他微乳和精油处理组为高敏。其中，未稀释过的微乳载药量为 900 μ g 时抑菌圈最大，显著高于其他处理组，较阳性对照组高 7.44%。根据微乳的 MIC 结果，当纸片上的载药量为 512 μ g 时，微乳 B 组抑菌圈显著高于诺丽精油组 15.36%，但是低于阳性对照组。



表 3 诺丽精油及其微乳对热带假丝酵母菌抑菌圈平均直径影响 (mm)

Table 3 Effect of noni essential oil and its microemulsion on the average diameter of the bacteriostatic zone of *Candida tropicalis* (mm)

微乳 A 组	微乳 B 组	诺丽精油组	阳性对照组	微乳溶剂对照	溶剂对照	阴性对照
Microemulsion group A	Microemulsion group B	Noni essential oil group	Positive control group	Microemulsion solvent control	Solvent pairs Shine	Negative control
22.25±1.33 A	17.73±1.21 B	15.37±1.28 C	20.71±0.70 A	-	-	-

备注：“-”表示“无抑菌圈或不明显。”

Note: “-” indicates no bacteriostatic zone or not obvious.



图 13 诺丽精油微乳与纯精油对抑菌圈的影响

备注：a 微乳 A 组，b：微乳 B 组，c：诺丽精油组，d：阳性对照组，e：微乳溶剂对照组，f：溶剂对照组，g：阴性对照组

Fig. 13 Effect of noni essential oil microemulsion and pure essential oil on the bacteriostatic zone

Note: A microemulsion group A, b: microemulsion group B, c: noni essential oil group, d: positive control group, e: microemulsion solvent control group, f: solvent control group, g: negative control group

3. 讨论

诺丽精油表现出对念珠菌尤其是热带假丝酵母菌良好的抑制作用，但是，诺丽精油溶解度低、较易挥发、难贮藏等影响了其应用和推广。本实验通过以诺丽精油为油相，从四种非离子型聚氧乙烯表面活性剂和四种短链醇助表面活性剂，结合拟三元相图，确定蓖麻油聚氧乙烯 40 为表面活性剂，丙三醇为助表面活性剂，去离子水为水相，可以构建最适宜的诺丽精油的 O/W 型微乳体系。研究发现，Km 为 3，诺丽精油与混合表面活性剂质量比为 7:3 时，形成的微乳稳定、透明澄清，并伴有蓝光，且平均粒径稳定在 10~100 nm，PDI 在 0.3 左右。虽然本文通过水溶性测试和电导率间接的展现了微乳到达 O/W 型，后续可以通过微乳液含水量变化过程中黏度变化以及表面张力大小的改变更直观的观察微乳构型的整个变化过程。

为了确保该微乳在应用、运输和贮藏过程中不发生质量和结构的改变，对诺丽精油微乳的稳定性进行了考察。温度稳定性结果表明，诺丽精油微乳较适宜在 25~50 °C 间使用和保存，这可能由于温度较高时会达到表面活性剂的浊点导致溶液极不稳定，同时，温度升高造成微乳分子运动加剧，聚合速度增加，此时液膜黏度和强度随之下降，导致微乳稳定性下降^[18]。贮藏稳定性结果表明，诺丽精油微乳在 4 °C 下保存 60 d 内微乳都呈现出澄清透明的状态，透光率维持在 90% 以上，这可能是由于低温下，微乳粒子的布朗运动减弱，不利于分散，导致部分微粒聚沉，从而影响透光率。酸碱稳定性结果表明，此微乳配方较适合在酸性条件下应用，产生以上现象，可能是由于柠檬酸和磷酸氢二钠的加入，尤其是磷酸根离子的引入，增加了微乳体系中的电解质，进而改变微乳的离子平衡和结构；另一方面，诺丽精油的主要活性成分为辛酸，为八个碳的直链羧酸，属于脂肪酸类，酸类在碱性的条件下会发生酸碱反应。另外，证实了诺丽精油微乳具有良好的离心稳定性和盐离子浓度稳定性，非离子表面活性剂制备的微乳，其中的电解质可以吸附胶粒表面形成溶剂化层，使分散相和分散介质性质相同，起到减少两粒子间吸引力的作用，稳定微乳^[19]，同时，盐类电解质的引入，微乳体系渗透压升高，溶解氧含量下降，造成微乳体系中部分成分氧化的几率下降，进而提高了微乳的稳定性^[20]。



进一步对诺丽精油微乳抑制热带假丝酵母菌的实验表明, 相同的载药量, 诺丽精油经过微乳包埋后的抑菌圈显著高于纯精油, MIC 值低于纯精油, 这说明经过微乳包埋后诺丽精油更加稳定、抑菌效果更加持久和显著。本研究研制出的诺丽精油微乳液操作简便, 质量稳定, 不易受到外界离子, 离心等因素干扰。为后续诺丽精油微乳相关产品的开发和应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 张敏, 陈灿言, 方雅静. 两种不同产地诺丽果的主要营养成分与抗氧化活性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 5902-5909.
ZHANG Min, CHEN Canyan, FANG Yajing. Evaluation of Main Nutrients and Antioxidant Activity of Noni Fruit from Two Different Origins[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022,13(18): 5902-5909. (in Chinese)
- [2] JAHURUL MHA, PATRICIA M, SHIHABUL A, et al. A review on functional and nutritional properties of noni fruit seed (*Morinda citrifolia* L.) and its oil [J]. Food Biosci, 2021, 41: 101000.,
- [3] MATHIVANAN N, SURENDIRA G, SRINIVASAN K. Review on the current scenario of Noni research: Taxonomy, distribution, chemistry, medicinal and therapeutic values of *Morinda citrifolia* L. [J]. Int J Noni Res, 2005, 1: 1-16
- [4] 王丹, 江芊, 胡璇, 范佐旺, 赵海鹏, 元超, 陈晓鹭, 于福来. 基于 HS-SPME-GC/MS 的海南万宁产诺丽鲜果、干果和发酵液挥发性成分分析[J]. 中国调味品, 2022, 47(12): 162-167+185.
WANG Dan, JIANG Qian, HU Xuan, Fan Zuowang, Yuan Chao, Chen Xiaolu, Yu Fulai. Analysis of Volatile Components of Noni Fresh Fruits, Dried Fruits and Fermentation Broth from Wanning, Hainan Province Based on HS-SPME-GC/MS[J]. China Condiment, 2022, 47(12): 162-167+185. (in Chinese)
- [5] 张运起, 刘一婷, 李立新. 热带假丝酵母菌的生化特性与耐药性分析[J]. 临床合理用药杂志, 2016, 9(16): 132-133.
ZHANG Yunqi, LIU Yiting, LI Lixin. Biochemical Characteristics and Antimicrobial Resistance Analysis of *Candida tropicalis* [J]. Journal of Clinical Rational Medication, 2016, 9(16): 132-133. (in Chinese)
- [6] 孙艳, 黄俊霞, 高燕, 李田兰, 刘珊珊, 孟繁军. 成人急性白血病并热带假丝酵母菌性败血症临床特点[J]. 青岛大学学报(医学版), 2020, 56(4): 464-468.
.SUN Yan, HUANG Junxia, GAO Yan, Li Tianlan, Liu Shanshan, Meng Fanjun. Clinical features of acute leukemia complicated by tropical candida sepsis in adults[J]. JOURNAL OF QINGDAO UNIVERSITY (MEDICAL SCIENCE EDITION), 2020, 56(4): 464-468. (in Chinese)
- [7] 墙梦捷, 鲁晓翔. 艾叶精油微乳的表征及稳定性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 86-91.
QIANG Mengjie, Lu Xiaoxiang. Characterization and Stability of Artemisia Leaf Essential Oil Microemulsion[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(23): 86-91. (in Chinese)
- [8] 石长波, 徐朔, 赵钜阳, 陈逸玉, 顾丽雅, 李玉奇. 食品中自微乳体系的组成、制备及促进生物活性物质生物利用的研究进展[J]. 食品工业科技, 1-13.
SHI Changbo, XU Shuo, ZHAO Juyang, Chen Yiyu, Gu Liya, Li Yuqi. Research Progress on the Composition, Preparation and Bioutilization of Bioactive Substances in Self-Microemulsion System in Food[J]. Science and Technology for Food Industry, 1-13. (in Chinese)
- [9] 张佩华, 梅子, 傅玉颖. 微乳的稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(07): 73 - 79.
ZHANG Peihua, MEI Zi, FU Yuying. Study on the stability of microemulsion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(07): 73-79. (in Chinese)
- [10] 王军. 微乳液的制备及其应用 [M]中国纺织出版社 2011.
Wang Jun, Preparation and application of microemulsion, China Textile Press, 2011. (in Chinese)
- [11] Nilesh Prakash Nirmal, Phatchada Chunhavacharatorn, Anandu Chandra Khanashyam, et al. Cinnamon bark oil in water nanoemulsion formulation, characterization, and antimicrobial activities[J]. LWT, Volume 179, 2023, 114671, 0023-6438.
- [12] 褚祚晨. 草豆蔻精油微乳液的制备及对香蕉保鲜的影响[D]. 华中农业大学, 2022.
Chu Zuochen. Preparation of microemulsion of essential oil of grass cardamom and its effect on banana preservation [D]. Huazhong Agricultural University, 2022. (in Chinese)
- [13] 程晨, 司红燕, 王宗德, 廖圣良, 邹晨阳, 王鹏.. O/W 型山苍子精油微乳的制备及其性能研究[J]. 林产化学与工业, 2021, 41(01): 67-76.
Cheng Chen, Si Hongyan, Wang Zongde, Liao Shenliang, Zou Chenyang, Wang Peng. Preparation and Properties of O/W *Litsea cubeba* Essential Oil Microemulsion[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2021, 41(01): 67-76. (in Chinese)
- [14] 石俊杰. 百里香精油微乳的制备及结合 1-MCP 在枇杷保鲜中应用[D]. 天津商业大学, 2022.
SHI Junjie. Preparation of microemulsion of thyme essential oil and application of 1-MCP in loquat preservation [D]. Tianjin University of Commerce, 2022. (in Chinese)
- [15] 殷春燕, 宋祎静, 史美佳, 乔莉娟, 王树民. 迷迭香精油微乳体系的构建及其性质研究[J]. 现代食品, 2023, 29(19): 182-185
Yin Chunyan, Song Yijing, Shi Meijia, Qiao Lijuan, Wang Shuming. Construction and Properties of Microemulsion System of Rosemary Essential Oil[J]. Modern Food, 2023, 29(19): 182-185. (in Chinese)
- [16] 周雪, 姜丰, 严俊丽, 王益, 吴林菁, 张彦燕, 沈祥春, 陶玲. 薄荷油微乳凝胶的制备研究[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(03): 587-591.
ZHOU Xue, JIANG Feng, YAN Junli, Wang Yi, Wu Linjing, Zhang Yanyan, Shen Xiangchun, Tao Ling. Preparation



- on of Peppermint Oil Microemulsion Gel[J]. Shi Zhen Chinese Medicine and Chinese Medicine, 2018, 29(03): 587-591. (in Chinese)
- [17] 于泽权. 槐糖脂-依托泊苷亚微乳的制备及其体内外评价[D]. 合肥工业大学, 2019.
YU Zequan. Preparation of Sophora Glycolipid-Etoposide Microemulsion and Its Evaluation in Vitro and in Vitro and Extracorporeal[D]. Hefei University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [18] 韩冰, 郑野, 徐嘉, 张天琪, 韩春然. 微乳体系的制备及其稳定性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(24): 284-291.
HAN Bing, ZHENG Ye, XU Jia, Zhang, Tianqi, Han Chunran. Research Progress on Preparation and Stability of Microemulsion System[J]. Food & Fermentation Industry, 2020, 46(24): 284-291. (in Chinese)
- [19] 张佩华, 梅子, 傅玉颖. 微乳的稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(07): 73-79.
ZHANG Peihua, MEI Zi, FU Yuying. Study on the stability of microemulsion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(07): 73-79. (in Chinese)
- [20] 彭群, 段翰英, 叶之壮, 陆洁毅, 王超. 重组乳液粒径对甜橙油纳米微胶囊稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 46(16): 56-61.
PENG Qun, DUAN Hanying, YE Zhizhuang, Lu Jieyi, Wang Chao. Effect of Recombinant Emulsion Particle Size on the Stability of Sweet Orange Oil Nanocapsules[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 46(16): 56-61. (in Chinese).



菠萝蛋白酶的研究及其应用

程隆^{1,2}, 刘义军³

1. 广东收获罐头食品有限公司, 广东雷州 524299; 2. 雷州湛垦农业发展有限公司, 广东雷州 524299;
3. 海南省果蔬贮藏与加工重点实验室中国热带农业科学院农产品加工研究所, 广东湛江 524001

摘要: 菠萝蛋白酶在酶活力、抑菌消炎等方面活性显著。本文从菠萝蛋白酶的理化性质、提取方法、生产与应用等方面对菠萝蛋白酶的研究进行了综述, 助力我国菠萝蛋白酶产业的发展。

关键词: 菠萝; 菠萝蛋白酶; 性质; 提取方法; 应用

菠萝是我国重要的热带亚热带水果, 据 FAO 统计, 我国是继哥斯达黎加、印度尼西亚、菲律宾、巴西之后世界排名第五的菠萝种植大国, 种植面积已突破 100 万亩。菠萝果实主要用于鲜食和罐头等产品加工, 菠萝皮、根茎叶等副产物主要用于粉碎还田。现代研究结果表明菠萝皮和菠萝茎中含有丰富的菠萝蛋白酶, 其在食品、医药制品等领域具有广泛的应用^[1-3]。然而, 由于基础研究薄弱等原因, 我国菠萝蛋白酶自主生产量非常小, 长期以来依赖于从菲律宾等国家进口。因此, 本文对菠萝蛋白酶的理化性质、提取方法、应用以及存在问题进行了综述, 助力我国菠萝蛋白酶产业的发展。

1 菠萝蛋白酶的理化性质

菠萝蛋白酶是从菠萝中提取的一种天然蛋白质水解酶。菠萝蛋白酶可分为果菠萝蛋白酶和茎菠萝蛋白酶。通常, 从菠萝果实中提取的蛋白酶, 称为果菠萝蛋白酶(Fruitbromelain, E C3.4.22.5), 从菠萝茎中提取的蛋白酶, 称为茎菠萝蛋白酶(Stem Bromelain, EC.3.4.22.4)^[4, 5]。果菠萝蛋白酶至少存在两个组分, 分别为 FBA 和 FBB。FBA 的分子量约为 23000, 其肽链的氨基末端是丙氨酸, 羧基末端是甘氨酸; FBB 分子量为 27000, 氨基末端是丙氨酸, 羧基末端是丝氨酸^[6, 7]。菠萝茎中有 6 种蛋白酶成分, 并分别称之为 SBA、SBB1、SBB2、SBB3、SBB4、SBB5。据测定, 这六个组分肽链的氨基末端氨基酸都是缬氨酸, 而其羧基末端氨基酸则有所不同。SBA 和 SBB1-3 羧基末端是甘氨酸, 而 SBB4 和 SBB5 的羧基末端则是丝氨酸。菠萝蛋白酶的等电点为 9.55, 酶液最适吸收波长为 280nm, 最适反应温度为 55~60℃, 最适 pH 为 6.5~7.5, 其中 pH 在 7.1 为最佳^[7]。

菠萝蛋白酶的活性除了受温度和 pH 的影响, 金属离子和超高压等物理方法对菠萝酶的活性也存在影响^[8]。(1) 菠萝蛋白酶活性易受金属离子的影响, 其中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Mn^{2+} 对酶活性有促进作用, 且分别在浓度为 2mmol/L、4mmol/L 和 2mmol/L 时最明显, Zn^{2+} 对菠萝蛋白酶有明显的抑制作用, 并且呈剂量依赖关系, 而 K^{+} 和 Na^{+} 对菠萝蛋白酶活影响不大。实际生产过程中通过添加苯甲酸、山梨酸钾等有助于抑制微生物生长, EDTA(乙二胺四乙酸

作者简介 程隆(1984—), 男, 农艺师; 研究方向: 热带农业产业化技术研发与应用; E-mail: 10271658130qq.com

钠)、维生素 C 和半胱氨酸等通过防止外界活性氧等因素对菠萝蛋白酶活位点的氧化等, 从而提高菠萝蛋白酶的活性和稳定性。罗梦等^[9]发现 Fe^{2+} 的浓度在 0~0.75 mmol/L 范围内, 对菠萝蛋白酶活性有促进作用; 当 Fe^{2+} 的浓度大于 0.75 mol/L 时对菠萝蛋白酶的活性具有抑制作用, 且浓度越高, 抑制作用越强。 Fe^{3+} 对菠萝蛋白酶的活性只有抑制作用。(2) 超高压技术对菠萝蛋白酶活性也存在的影响。葛梅等^[10]探究了超高压对菠萝汁中菠萝蛋白酶活性影响, 发现超高压压力、保压时间和温度均对菠萝汁中菠萝蛋白酶纤溶活性的影响显著, 当超高压压力为 300MPa、温度 30℃、保压 10min 时, 菠萝蛋白酶的纤溶活性比未处理样高 65.54%。刘平等^[11]也发现超高压的压力对菠萝蛋白酶活力均有显著影响, 同时还阐明了超高压处理后的菠萝蛋白酶 β -折叠含量比常压下增加了 1.76 倍, 证明菠萝蛋白酶的活性与 β -折叠的含量以及亲水性 Typ 残基的暴露程度有关。陶敏等^[12]还发现超高压能减弱温度对菠萝蛋白酶活性的影响程度。

2 菠萝蛋白酶的提取方法

菠萝蛋白酶的提取工艺主要有吸附法、沉淀法和膜分离法等。梁雪等^[13]采用盐析浓缩-透析提纯-乙醇有机溶剂沉淀相结合的方法从菠萝废弃物中提取菠萝蛋白酶, 确定了最佳工艺条件为 1.0:1.5(m:v)、缓冲液温度 30℃、搅拌时间 40 min、缓冲液 pH 值 7、盐析浓度 30%和透析时间 28 h, 该条件下菠萝蛋白酶酶活回收率为 68.45%。刘怡涵^[12]优化了低共熔溶剂法从菠萝皮中提取菠萝蛋白酶, 最佳的工艺条件为氯化胆碱-甘油 DES 摩尔比 1:2, 含水量 20%, 固液比 1:3 g/g, 提取时间 12 h, 在此条件下菠萝蛋白酶



的提取量最高为 4.76mg/mL，酶活数值为 73.65 U/mg。韩志萍等^[14, 15]采用超滤法从菠萝加工下脚料(主要是皮和芯)所榨的汁中分离纯化菠萝蛋白酶，确定了最佳工艺条件为：压力 266kPa, 温度 12℃，膜进口流速 21mL/s，在此条件下的酶活截留率预测值为 88.45%。梁宏宇^[16]采用硫酸铵盐析法结合超滤浓缩法的技术从菠萝皮中提取菠萝蛋白酶，酶活力为 3944.0U·g⁻¹，总酶活回收率为 88.6%，总提取率为 0.23%。

3 菠萝蛋白酶的生产与应用

菠萝蛋白酶主要以食品生产许可、工业品生产许可、药品生产许可等形式进入市场。其中南宁庞博生物工程有限公司（SC20345011000011）、宁夏夏盛实业集团有限公司（(宁)XK13-217-00003）等以生产菠萝蛋白酶食品添加剂为主。南京海鲸药业有限公司、广东彼迪药业有限公司、广州白云山医药集团股份有限公司等 8 家企业主要已生产菠萝蛋白酶药用制品为主，如下表 1 所示。

表 1 国内药用菠萝蛋白酶生产企业信息

序号	批准文号	产品名称	生产单位	药品本位码
1	国药准字 H20003784	菠萝蛋白酶	南京海鲸药业有限公司	86901579000128
2	国药准字 H20003785	菠萝蛋白酶肠溶片	南京海鲸药业股份有限公司	86901579000111
3	国药准字 H44025162	芦笋菠萝蛋白酶胶囊	广东彼迪药业有限公司	86900269001421
4	国药准字 H44025060	芦笋菠萝蛋白酶胶囊	广州白云山医药集团股份有限公司	86900376000997
5	国药准字 H45021171	菠萝蛋白酶肠溶胶囊	广西南宁百会药业集团有限公司	86905122000351
6	国药准字 H44024569	复方菠萝蛋白酶肠溶片	广东雷允上药业有限公司	86900365000175
7	国药准字 H45021172	复方菠萝蛋白酶肠溶片	广西南宁百会药业集团有限公司	86905122000818
8	国药准字 H44024825	复方菠萝蛋白酶肠溶片	汕头市橄榄枝制药有限公司	86900488000229
9	国药准字 H44024802	复方菠萝蛋白酶肠溶片	广州白云山医药集团股份有限公司	86900381000494
10	国药准字 H44024640	复方菠萝蛋白酶肠溶片	南京海鲸药业股份有限公司	86900363000030
11	国药准字 H20033908	菠萝蛋白酶肠溶片	福建东瑞制药有限公司	86904876000136
12	国药准字 H44024545	复方菠萝蛋白酶肠溶片	广东彼迪药业有限公司	86900269000462
13	国药准字 H45021409	菠萝蛋白酶肠溶片	广西南宁百会药业集团有限公司	86905122000368
14	国药准字 H20003382	菠萝蛋白酶肠溶片	海南通用同盟药业有限公司	86905822000828
15	国药准字 H44025157	芦笋菠萝蛋白酶胶囊	广州粤华制药有限公司	86900426000618
16	国药准字 H20067758	复方菠萝蛋白酶肠溶片	南京海鲸药业股份有限公司	86900363000047



17	国药准字 H20083036	复方菠萝蛋白酶肠溶片	广东彼迪药业有限公司	86900269001599
18	国药准字 H20003383	菠萝蛋白酶肠溶片	海南通用同盟药业有限公司	86905822000118
19	国药准字 H20003084	菠萝蛋白酶肠溶片	福建东瑞制药有限公司	86904876000129
20	国药准字 H20003381	菠萝蛋白酶	海南通用同盟药业有限公司	86905822000125

菠萝蛋白酶由于具有抗炎、抗糖尿病、抗癌和抗风湿特性等生物活性，其已被广泛应用于医药、食品和饲料等行业^[4, 17, 18]。高雪琴等^[19]发现菠萝蛋白酶协同木瓜蛋白酶和无花果蛋白酶可以协同增效改善牛肉的持水性和感官品质。叶子青^[20]发现在腊鸭的制作过程中添加菠萝蛋白酶可以显著降低腊鸭肌原纤维蛋白的羧基含量，提高巯基含量($P<0.05$)。这表明使用菠萝蛋白酶处理腊鸭，可以显著降低其加工过程中的蛋白氧化水平，从而影响滋味物质的积累和挥发性风味物质的生成。谢正林等^[21]发现菠萝蛋白酶对牛肉的嫩化效果优于木瓜蛋白酶。此外，菠萝蛋白酶具有良好脱痂作用。李乃成^[22]进行了菠萝蛋白酶对豚鼠Ⅲ度烫伤脱痂的研究，结果显示，菠萝蛋白酶具有良好的脱痂效果。大肠埃希氏菌(*E.coli*)，通常被称为大肠杆菌，是引起腹泻的重要病原菌。黄志坚等^[23]发现菠萝蛋白酶对 K88+产肠毒素大肠杆菌(ETEC)黏附大鼠小肠黏膜上皮细胞的抑制作用，结果表明：菠萝蛋白酶能显著降低 K88+ETEC 的黏附率，且与庆大霉素的抑菌效果相当($P>0.05$)。

另外，提取菠萝蛋白酶前，剩下的菠萝皮渣菠萝常常被当成废弃物进行掩埋处理，这样对环境造成了很大污染。实验显示菠萝皮渣中含有挥发油、多种有机酸、糖类、矿物质、氨基酸和维生素等，营养丰富，通过微生物发酵处理后可变成优质饲料；压榨菠萝皮渣得到的清液可提取 60° 的菠萝浓缩汁；也可发酵酿菠萝酒、菠萝醋饮料、酵母粉等产品，最终实现资源的全面综合循环利用。

5 结语

菠萝蛋白酶在我国具有丰富的原料来源，生物活性远高于木瓜蛋白酶，且应用范围广，需求量大，附加值高，因此发展菠萝蛋白酶产业具有广阔的应用前景。但是也要提出以下期望：做事要求真务实，数据要求耐推敲，技术要求精益求精；专业的人干专业的事，切勿班门弄斧。

参考文献

- [1] 李淑喜, 黎新明. 菠萝蛋白酶的提取及其在医药中的应用 [J]. 广州化工, 2009, 37(02): 52-53.
- [2] 刘怡涵. 低共熔溶剂的构建及其对废弃菠萝皮中菠萝蛋白酶的提取研究 [D]. 2023.
- [3] NOBRE T A, SOUSA A A D, PEREIRA I C, et al. Bromelain as a natural anti-inflammatory drug: a systematic review [J]. Natural product research, 2024: 11-4.
- [4] KANSAKAR U, TRIMARCO V, MANZI M V, et al. Exploring the Therapeutic Potential of Bromelain: Applications, Benefits, and Mechanisms [J]. Nutrients, 2024, 16(13): 2060-.
- [5] PASCACIO V G T, VALBUENA D C, TAVANO O, et al. A review on the immobilization of bromelain [J]. International journal of biological macromolecules, 2024, 273(P2): 133089-.
- [6] 罗梦. 菠萝蛋白酶的制备及其在牛肉嫩化中的应用研究 [D]. 2017.
- [7] 陈攀, 陈子腾, 许合金, 等. 菠萝蛋白酶的研究及其应用 [J]. 饲料与畜牧, 2015, (07): 39-42.
- [8] 狄荻, 周咏新, 张新烨, 等. 探究影响菠萝蛋白酶活性的条件 [J]. 生物学通报, 2020, 55(11): 58-60.
- [9] 罗梦, 余以刚, 王小玉, 等. $Fe^{(2+)}$ 和 $Fe^{(3+)}$ 对菠萝蛋白酶活性和稳定性的影响 [J]. 现代食品科技, 2017, 33(08): 176-181.
- [10] 葛梅, 梁娟, 潘见, 等. 超高压处理对菠萝汁中菠萝蛋白酶纤溶活性的影响 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(17): 75-79.
- [11] 刘平, 胡志和, 吴子健, 等. 超高压处理菠萝蛋白酶引发构象变化与酶活力的关系 [J]. 食品科学, 2014, 35(21): 138-142.



- [12] 陶敏, 潘见, 张文成, 等. 超高压处理对菠萝汁中菠萝蛋白酶活性的影响 [J]. 食品科学, 2013, 34(15): 162-165.
- [13] 梁雪, 方欢乐, 刘建利. 菠萝蛋白酶的提取纯化工艺研究 [J]. 食品安全导刊, 2023, (24): 123-126.
- [14] 韩志萍, 黄茂芳, 静玮, 等. 超滤分离纯化菠萝蛋白酶的研究 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(08): 282-286.
- [15] 韩志萍, 黄茂芳, 许逵, 等. 菠萝蛋白酶超滤提取工艺的响应面优化研究 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(06): 103-107.
- [16] 梁宏宇. 菠萝蛋白酶提取方法的研究 [D]. 2012.
- [17] 张琼, 邹强, 刘雨蝶. 5 种植物半胱氨酸蛋白酶在肉类加工中的研究进展 [J]. 中国调味品, 2022, 47(10): 189-191.
- [18] 赵云英, 付宝明, 王玉, 等. 菠萝蛋白酶药理活性及其在畜禽疾病中的应用 [J]. 养殖与饲料, 2020, (02): 64-66.
- [19] 高雪琴, 刘航江, 张雨菁, 等. 三种蛋白酶复配对牛肉嫩化效果的影响 [J]. 现代牧业, 2022, 6(01): 19-24.
- [20] 叶子青. 菠萝蛋白酶对腊鸭品质的影响研究 [D]. 2021.
- [21] 谢正林, 庄炜杰, 许俊齐, 等. 木瓜蛋白酶和菠萝蛋白酶对牛肉的嫩化效果研究 [J]. 天津农业科学, 2019, 25(10): 64-67.
- [22] 李乃成. 菠萝蛋白酶的分离及其脱痂作用的研究 [D]. 2008.
- [23] 黄志坚, 董瑞兰, 罗刚, 等. 菠萝蛋白酶体外抑制小肠黏膜上皮细胞黏附 K88~+ ETEC 的作用 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2014, 43(05): 495-498.



广东农垦五一农场利用光伏板下土地

种植高良姜经营效益分析初报

揭育其 潘秀程

广东农垦五一农场有限公司, 广东徐闻 524100

摘要:

本文通过五一农场在光伏板下种植高良姜的实践管理,探索农光互补—光伏板下高良姜种植潜力及其经济效益。本文首先探讨了光伏农业的背景与意义,强调了土地资源的双重利用价值。通过科学的可行性分析,揭示了光伏板下土地种植高良姜的有利条件,包括光照、温度和湿度的适宜性。接着,详细阐述了高良姜的种植技术,包括选种、选地整地、种植、田间管理、病虫害防治,保证了在特殊环境下的高良姜生长发育。通过财务模型的构建和敏感性分析,揭示光伏板下种植高良姜的经济效益,包括短期成本回收和长期利润增长,初步论证复合农业模式的经济可行性和社会效益可持续性,为“光伏+南药”种植的推广提供理论依据和实践参考。

关键词: 光伏农业; 高良姜; 经营效益; 土地利用

一、背景分析

光伏农业作为一种创新的能源利用模式,受到广泛关注。其不仅能够提高光伏板下的土地资源利用率,还能实现能源与农业的有机结合,提高产业综合效益。本文旨在分析研究五一农场利用光伏板下土地种植高良姜的综合效益,为“光伏+南药”种植推广提供理论依据和实践参考,争取实现光伏农业“1+1>2”的效果。

五一农场位于拥有“高良姜之乡”美誉的广东徐闻县内,2023年完成光伏项目建设面积2572亩。2022年,广东农垦将南药产业确立为推进高质量发展的战略性新兴产业之一,积极创新推广“胶药”结合“药光”互补种植模式,给予五一农场政策指引。2023-2024年,五一农场利用光伏板下土地种植高良姜1650亩,初步建成“千亩药田基地”。其中自主经营1140亩,合作经营510亩。通过记录、分析高良姜在光伏板下的生长状况,了解其在遮阴环境下的生长适应性,以及对光伏设备安全的潜在影响,为实际操作提供参考。其次,高良姜的种植技术研究,包括选种、选地整地、种植、田间管理、病虫害防治,有助于确保在光伏农业模式下的稳定生产。最后,通过经营分析,我们展示了在考虑成本、市场、收入等多因素下,光伏板下种植高良姜的经济效益,为生产管理和政策制定提供决策支持。

二、高良姜种植特性

高良姜为姜科山姜属植物,别名小良姜、风姜、海良姜等,是我国传统南药之一,其种植具有独特的经济价值和生态意义。高良姜在中医药领域有着悠久的历史,价值得到广泛认可,可用于制作各种美食,如高良姜粥、汤等,亦可用于保健食品、调味料、饲料等产品的生产与开发。现代药理学研究表明,高良姜还具有镇痛、抗菌、抗炎、抗肿瘤、抗腹泻等药用功效,列为“十大南药之一”,市场需求稳定。高良姜生长周期一般3—5年,其性喜高温高湿环境,耐阴耐旱,生长适温15-30℃,在疏松、排水良好的肥沃壤土中生长较好。高良姜的生长习性与光伏农业对土地利用的特殊要求不谋而合,光伏板下的遮阴效果和高湿度环境有利于高良姜的生长,可能有助于提高其产量和品质。

三、光伏板下土地种植高良姜的可行性分析

(一) 光照与温度条件分析。

在探讨光伏板下种植高良姜的可行性时,光照和温度是两个关键的环境因素。传统上,高良姜



被种植于阳光充足的环境中，然而，光伏农业的特殊条件要求我们重新审视这种植物在遮阴环境下的适应性。根据作物生长习性，高良姜具有一定的耐阴性，尤其在中度遮阴条件下，其生长表现依然良好。光伏板的存在可以为高良姜提供一个相对适宜的生长环境，通过阻挡部分直射阳光，降低了地表温度，减少了水分蒸发，使得高良姜在较低的光照强度下也能保持正常的光合作用。光照强度的调整对于高良姜的生长十分重要。在光伏板的阴影分布中，高良姜的光合作用可能会受到一定程度的影响，但由于其对光周期的敏感性较低，且能够在弱光条件下维持生长，因此，只要遮阴程度不过于严重，高良姜就能适应这种环境。此外，高良姜种植的排列方式和倾斜角度可以根据光伏板进行调整优化，以确保光伏板下土地的光照条件维持在高良姜生长的适宜范围内。

温度是影响高良姜生长的另一个重要因素。光伏板下的温度通常比开阔地低，这在炎热的夏季尤其有利，可以避免高良姜遭受高温的伤害。实验数据显示，在适宜的遮阴条件下，高良姜的根系发育、叶片生长和生物量积累都得到了良好的表现。同时，温度的降低还有助于减少病虫害的发生，从而降低因防治病虫害带来的额外成本；在温度管理方面，光伏板的阴影效果有助于降低地温，而且徐闻地区为中国大陆最南端，纬度较低，可有效避免在冬季造成地温过低，影响高良姜的正常生长的问题。此外，阴雨天光伏板下的湿度相对较高，这有助于高良姜的蒸腾作用，但同时也可能增加病害的风险，需要采取相应的田间管理措施。

光伏板下种植高良姜在光照和温度方面具有一定的适应性。通过科学的光伏板设计和田间管理策略，可以优化光照和温度条件，确保高良姜在光伏农业模式下的稳定生长，为这种复合农业模式的成功实践提供有力的环境支持。

（二）土壤与水分条件分析。

在光伏农业系统中，土壤与水分条件对高良姜的种植同样至关重要。高良姜偏好排水良好、疏松肥沃、微酸性的土壤环境。光伏板下的土壤条件可能会因遮蔽和温度改变而发生微妙变化，但这种变化对于高良姜的生长可能是有利的。光伏板的阴影作用可以降低地表温度，抑制土壤中某些高温活动微生物的活性，从而减缓有机质的分解速度，有利于土壤有机质的积累。此外，光伏板下的土壤水分蒸发减缓，有助于保持土壤的湿度，从而在一定程度上减少了灌溉的需求。这对于水资源相对紧张的雷州半岛地区来说，具有显著的节水效果。

然而，连续遮阴可能会导致土壤中氧气含量下降，影响根系的呼吸作用，从而可能限制高良姜的生长。因此，合适的光伏板间距和类型，以及定期的地面翻耕，可以提高土壤的通气性，促进根系健康发展。五一农场光伏农业复合项目的设计初衷是留有足够的空间发展光伏板下种养业，加上雷州半岛地区日光照充足，可避免连续遮阴造成的系列问题。

从水分管理的角度看，光伏板下的特殊环境可能会导致水分布不均，土壤水分在光伏板的阴影和阳光照射区域之间存在差异。高良姜为粗放型管理作物，其性耐阴耐旱，每年 5-10 月为徐闻地区雨季，与高温季节时间重合，该条件下减少了灌溉成本，利于高良姜的生长。

四、高良姜种植技术与管理策略

（一）品种选择。高良姜种植技术是实现光伏板下高效农业的关键环节。首先，平整土地、选种是种植的起点，应选择适应遮阴环境、抗病性强、生长势旺盛的高良姜品种。五一农场选取黑鳞蜂窝姜种植，良姜的种植以根茎繁殖为主，选择 3 年龄的良姜根茎作为种苗，种苗壮芽肥硕，无病虫害。将根茎剪成 10 厘米的小块，每个小块保留 3 个芽及 10 厘米的茎。

（二）选地整地。选择行间宽阔、肥力充足且排灌正常的地块，使用机械作业清除地上杂草、灌木等杂物。然后对土壤进行深翻、平整，深翻深度为 40 厘米。

（三）种植。光伏板大行间开 5 条种植沟，沟距为 65-70 厘米，株距为 35-40 厘米。机械开沟，亩施复合肥（基肥）50 公斤。在种植沟中每隔 35-40 厘米放入 1 小块 3 个芽的根茎，再覆盖细土将其压实，每亩种植良姜种苗约为 500 公斤。种植完成后，化除封闭一次。

（四）田间管理。田间管理是高良姜种植过程中的重要环节。五一农场根据杂草的实际生长状况每



年开展田管除草 2-4 次，注意在杂草长高前开展除草工作，避免杂草影响良姜的正常生长。特别是种植后的第一年，良姜株高低于 30CM，分蘖少，易生杂草，是管理的关键期。第 2-4 年，每年追肥 1 次，一般为 4 月至 9 月，亩施复合肥 50 公斤。

高良姜在生长过程中会出现缺素现象，使高良姜的生长受到一定限制。因此，在种植过程中应注意观察高良姜的生长状态，若是在生长过程中出现下部叶片叶尖卷曲、发白枯死且叶片边缘干枯的现象，则说明高良姜缺氮；若是高良姜生长较为迟缓、叶色浓绿且根茎向上露出地表的位置逐渐开始呈鲜黄色分布并伴有叶片叶尖干枯的现象，则说明高良姜缺磷；若是主枝下部的叶片边缘逐渐呈枯黄并且逐渐向褐色变化，而叶片中间却仍然保持浓绿色，则说明高良姜缺钾。基于这种情况，应结合高良姜生长的具体情况采取相应措施，而改良土壤肥力是最为有效的一种方式，通过改变土壤酸碱性的方式来改良土壤的肥力，使得土壤内的肥力均衡以保证高良姜在生长过程中不会出现缺素症状。

（五）病虫害防治与管理。在遮阴和湿度较高的环境中，高良姜可能会面临一些特殊的病虫害威胁，如叶斑病、根腐病以及蚜虫、螨类等害虫的侵扰。因此，采取有效的防治措施是保障高良姜产量和品质的关键。应预防为主。定期进行田间巡查，一旦发现病虫害的早期症状，如叶片黄化、斑点、枯萎或者植株生长异常，应立即分析可能的原因，判断是否存在病虫害侵扰。同时，保持种植区的清洁，及时清除病株和杂草，减少病原菌和虫卵的滋生环境。

对于特定的病害，如叶斑病，可以采用抗病品种种植，同时保持田间通风，降低湿度，减少病菌扩散的机会。对于根腐病，改良土壤，提高其通透性，避免积水，降低病害发生的概率。此外，适度使用生物肥料，如菌肥，可以增强高良姜的抗病性。

化学防治作为最后的手段，应尽量选择环保型农药，并严格按照安全间隔期进行施用，以降低农药残留对农产品质量和环境的影响。在使用农药时，应结合气象条件，选择在阴天或傍晚施药，以减少农药蒸发，提高药效。

（六）国有农场开展管理工作的一些要求。五一农场作为国有企业，在开展管理方面与普通的种植户有特别要求：一方面要压实管理责任，五一农场通过成立管理领导小组、监督小组、日常工作专班等方式，将责任压实到个人，推动落实日常管理措施，生产队要负责日常巡查工作，及时记录、汇报良姜生长状况。另一方面要做好资金管理、物资采购，阶段性考核验收等各项工作。五一农场通过制定良姜产业实施管理方案，按照方案规范管理，提高工作效能。

五、经营分析与经济效益评估

光伏板下种植高良姜的经营分析与经济效益评估是考量这一创新农业模式能否成功的关键步骤。通过探讨种植成本、市场前景、电力收益及其对经济效益的影响，结合财务模型进行敏感性分析，全面评估这种复合农业模式的收益潜力。种植成本的构成包括高良姜种苗、机耕、种植劳务、肥料，以及日常的田间管理成本等。



（一）成本投入。

五一农场光伏板下种植高良姜成本投入明细

制表日期：2024年8月27日				单位：亩，元，元/亩			
种植日期	地块面积	作物面积	成本类型	2023年	2024年	2025年(预计)	2026年(预计)
2023年6月	582.79	264.8	种苗费	506660.00			
			种植抚管费	223680.60	93115.20		
			机耕费	24088.00			
			肥料	80000.00	41600.00		
			运输	1947.00			
			合计成本	971090.80			
			亩均成本	3667.26			
种植日期	地块面积	作物面积	成本类型	2024年	2025年(预计)	2026年(预计)	2027年(预计)
2024年6月	556.69	297.93	种苗费	793675.00			
			种植抚管费	120588.00			
			机耕费	25700.20			
			肥料	38400.00			
			运输	0.00			
			合计成本	978363.20			
			亩均成本	3283.87			

五一农场光伏板下土地的实际利用率约为 50%，通过光伏板下种植高良姜实际投入分析表明，第一年的实际投入成本为每亩 3200 元（按作物面积）左右，第 2-4 年的抚管费用和肥料成本约为 600 元/亩/年，按照良姜种植管理全周期 4 年计算，截至到收获，其亩均成本可控制在 5000 元。另外收获成本根据产量动态变化，近年平均收获成本为 0.6 元/kg。

（二）经济效益分析。

随着健康意识的提高和中医药市场的扩大，高良姜的药用价值和食品用途被越来越多的人所认可，近年高良姜市场需求量增加，价格稳定，这为种植户提供了稳定的收入来源。此外，由于光伏农业环境下的高良姜品质可能更优，其市场竞争力将进一步提升。

按照现行高良姜长势及徐闻地区亩均产量预估，五一农场光伏板下高良姜预计亩产鲜姜 3000kg，亩均收入可达 10000 元，核减生产成本和收获成本，预测每亩毛利润为 3000 元，具有良好的经济效益。当然最终确切的收益要以实际收获为准。此外，光伏板产生的电力是可再生能源，其收益也是光伏农业的重要组成部分。

通过光伏发电与高良姜种植的双重结合，实现了“光药”的双重盈利模式。传统的农业用地或光伏用地往往只能单一使用，而该模式则实现了土地的高效利用，特别是对于土地资源紧缺的地区具有重要发展意义。

（三）社会效益分析。

光伏农业的社会效益和环境效益不容忽视。它能促进农村经济发展，提供就业机会，提升农民技能，推动农业现代化。通过降低碳排放、改善土壤质量和生物多样性，光伏农业有助于实现环境可持续性。此外，光伏农业项目还可以结合生态农业理念，发展有机农业、绿色农业等，进一步改善生态环境质量。

六、结论与问题探讨



基于五一农场利用光伏板下土地种植高良姜，具有良好的经济效益和社会效益，且具有管理简单、复垦快等优点，对徐闻地区推广这种农光互补新型模式具有较好的实践参考。但该模式也有一定的局限性：（1）徐闻为“高良姜之乡”，对种植良姜具有得天独厚的自然条件，五一农场种植的良好效果不具有广泛的代表性，种植户应结合实际环境慎重考虑种植。（2）光伏阵列的障碍不利于机械化操作，管理效率不高，用工成本增加；且高良姜的生长周期较长，回报的时间也相对较长。（3）光伏板对阳光的遮挡减少了土地的利用率，五一农场光伏板下的土地利用率仅有 50%。此外光伏板下种植的高良姜品质等方面还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 杨淑莉.基于光伏农业的油用牡丹栽培技术研究[J].《中国食品》,2024 年第 14 期 171-173,共 3 页
- [2] 杨淑莉.光伏农业大棚种植技术的应用[J].《河北农机》,2024 年第 10 期 97-99,共 3 页
- [3] 赵卉.光伏农业催生“美丽经济”[J].《农家致富》,2024 年第 11 期 14-14,共 1 页
- [4] 张勇.广东省光伏农业的发展现状研究[J].《现代农业装备》,2023 年第 1 期 8-13,共 6 页
- [5] 王璞.我国光伏农业发展现状及适宜光伏农业的高效种植模式探索——以江苏省为例[J].《上海蔬菜》,2023 年第 3 期 85-88,96,共 5 页
- [6] 李玲.湛江市高良姜田间生产机械化需求分析与展望[J].《现代农业装备》,2018 年第 6 期 23-26,共 4 页



我国热带地区发展林下经济的一些思考

汤欢, 晏小霞, 王茂媛, 羊青, 袁浪兴, 李英英, 陈晓艳, 张阿玲, 王祝年, 王清隆
中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/海南热带植物园/农业农村部中药材生物学与栽培重点实验室/农业农村部热带农业野生植物基因资源鉴定评价中心/海南省热带药用植物工程研究中心, 海南海口

摘要: 林下经济作为一种新兴的经济形态, 是一种生态友好型经济, 以森林可持续经营为原则, 农林复合经营为主导, 依托森林、林地及其生态环境, 包括林下种植、养殖、林产品采收加工以及森林景观利用等。我国热带地区发展林下经济具备得天独厚的有利条件, 在分析我国热带地区林下经济发展现状及存在问题的基础上, 针对性地提出了一些发展对策和建议, 旨在推动我国热带地区科学发展林下经济。

关键词: 林下经济; 林下种植; 乡村振兴; 可利用林地

Some considerations on developing Non-timber Forest-based Economy in tropical areas of China

TANG Huan, YAN Xiaoxia, WANG Maoyuan, YANG Qing, YUAN Langxing, LI Yingying, CHEN Xiaoyan, ZHANG Ailing, WANG Zhunian, WANG Qinglong*

Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Hainan Tropical Botanical Garden / Key Laboratory of Biology and Cultivation of Herb Medicine, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China / Identification and Evaluation Center of Tropical Agricultural Wild Plant Gene Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China / Hainan Provincial Engineering Research Center for Tropical Medicinal Plants, Haikou, Hainan, China

Abstract: Non-timber Forest-based Economy, as a new economic form, is an eco-friendly economy. The principle of Non-timber Forest-based Economy is sustainable forest management, and the leading is agroforestry management, relying on forests, woodlands and their ecological environment, including under forest planting, breeding, harvesting and processing of forest products, and utilization of forest landscape, and so on. The development of Non-timber Forest-based Economy in tropical areas of China has advantaged conditions. Based on the analysis of the present situation and existing problems of Non-timber Forest-based Economy in tropical areas of China, this paper puts forward some countermeasures and suggestions to promote the scientific development of Non-timber Forest-based Economy in tropical areas of China.

Keywords: Non-timber Forest-based Economy; under forest planting; rural revitalization; available forest land

“林下经济”是我国提出的新型森林经营生产活动概念范畴, 是践行“绿水青山就是金山银山”理念、实现生态产品和服务价值、促进山区生态经济协调发展的新业态^[1]。

林下经济是指在不破坏森林资源和生态环境的前提下, 依托森林、林地及其生态环境, 在充分考虑森林资源综合承载力条件下, 遵循可持续经营原则, 以林上、林中及林下资源配置和利用等为主要目标的生态友好型经济, 包括林下种植、林下养殖、相关产品采集加工和森林景观利用等复合经营活动^[1]。

林下经济是目前我国林业发展过程中备受重视的经济模式, 是在不影响林木正常生长、不降低其生态功能的前提下, 以林地资源为依托, 以现代科技手段为支撑, 充分利用林下自然环境条件, 进行合理种植、养殖, 构建稳定、持续的农业复合生态系统, 是发展农业生产的一种新型农业经济。发展林下经济的目的是通过适度调整森林生态系统的种间关系, 利用林下植物、菌物或动物资源, 获得较理想的生态与经济效益。发展林下经济的基础是林业资源, 前提是要保护生态, 脱离这一前提, 林下经济的发展就谈不上是节约型、循环型发展。因此, 不管以何种模式发展林下经济, 均需围绕发展林下经济的初衷, 坚持以林业为主, 生态优先, 以经济效益为辅, 以生态承载力为基础, 采取适量、适度和合理的原则, 确保林地的可持续发展^[1]。

近年来, 我国森林生态系统质量和稳定性显著提升, 林下经济产业蓬勃发展, 这都为森林生态产品价值实现提供了基本前提和充分保障^[2]。森林生态产品的开发可为亿万林农开辟新的产业空间, 拓宽农民增收致富渠道。如我国丰富的森林资源为林下经济产业发展提供了广阔空间, 林粮、林菌、林药、林菜、林果等森林生态产品开发利用空间巨大^[3]。

随着集体林权制度改革工作的深入推进, 新型集体林场进一步盘活了集体生态林资源, 林地资源为林下经济发展提供了绿色资本。林下经济逐渐成为农民绿岗就业和生态增收的重要载体, 对于提高森林

基金项目 海南省重大科技计划项目 (No. ZDKJ); 农业农村部拨改买项目 (No.); 中国热带农业科学院国家热带农业科学中心科技创新团队 (No. CATASCXTD)。

作者简介 汤欢 (—), 博士, 助理研究员, 研究方向: 植物种质资源收集保存鉴定, (E-mail) tanghuan_a@com。

***通讯作者** 王清隆 (—), 硕士, 副研究员, 研究方向: 植物资源开发利用与植物分类, (E-mail) qlwang@com。



资源利用水平,实现林草产业高质量发展,保障食物供给、维护生态安全、助力健康中国和乡村振兴、推进生态文明和美丽中国建设均具有重要意义^[1]。

在保护的前提下发展林下经济,是增加农民收入、实现经济社会发展与森林资源保护双赢的一种生态经济发展模式。对于我国林区较多的地方,林下经济的发展能够对林区内有限的土地资源进行充分利用,在促进林区经济产出的同时,提高林区农民经济收入,增加林业附加值,带动周边区域经济增长,从而实现乡村振兴^[2]。林下经济在森林多样化利用、维持水和土地资源、提供多种林木产品等方面发挥积极作用,其对发展森林生态经济、促进森林可持续经营、多功能森林建设等方面有着重要意义,相关研究日益增加^[3]。

我国热带地区发展林下经济具备得天独厚的有利条件,在分析我国热带地区林下经济发展现状及存在问题的基础上,针对性地提出了一些发展对策和建议,旨在推动我国热带地区科学发展林下经济。

发展林下经济的必要性

- () 缓解土地资源稀缺与人类日益增长的需求之间的矛盾。
- () 充分利用林地水、土、光、热资源,高效开发利用林下资源,拓宽收入渠道。
- () 提高林地生产力,增加林地植被覆盖率。
- () 增加森林文化内涵,满足城乡人民日益增长的休闲、度假和观光旅游的需要。

发展林下经济的优势

政策支持优势

近年来,各地区大力发展以林下种植、林下养殖、相关产品采集加工和森林景观利用等为主要内容的林下经济,取得了积极成效,对于增加农民收入、巩固集体林权制度改革和生态建设成果、加快林业产业结构调整步伐发挥了重要作用。为加快林下经济发展,年月,国务院办公厅印发了《关于加快林下经济发展的意见》(国办发〔 〕号),鼓励各地合理利用森林资源,提出在保护生态环境的前提下,以市场为导向,科学合理利用森林资源,大力推进专业合作组织和市场流通体系建设,着力加强科技服务、政策扶持和监督管理,科学发展以林下种植、林下养殖、相关产品采集加工和森林景观利用等为主要内容的林下经济,促进林下经济向集约化、规模化、标准化和产业化发展,持续增强农民增收能力、优化农村产业结构、巩固集体林权制度改革和生态建设成果,为实现绿色增长,推动社会主义新农村建设做出更大贡献;年月,原国家林业局发布了《关于贯彻落实〈国务院办公厅关于加快林下经济发展的意见〉的通知》(林改发〔 〕号),要求各地把发展林下经济作为促进林业经济发展方式转变、构建社会主义和谐社会的具体实践,并明确了任务分工及工作计划。年,在对全国林下经济发展情况摸底调查的基础上,原国家林业局制定并发布了《全国集体林地林下经济发展规划纲要(一年)》,明确了全国集体林地范围内林下经济的发展战略、指导思想、目标任务及保障措施,以促进林下经济健康有序发展。年,原国家林业局印发《全国集体林地林药林菌发展实施方案(一年)》,明确了以示范基地为依托的发展模式,重点布局发展个林药、林菌优势品种,探索林药林菌发展的长效机制。年月日,新修订的《中华人民共和国森林法》正式实施,其中明确提出:“在符合公益林生态区位保护要求和不影响公益林生态功能的前提下,经科学论证,可以合理利用公益林林地资源和森林景观资源,适度开展林下经济、森林旅游等。”首次将“林下经济”写入法律条文,从法律层面明确发展林下经济与保护森林资源互不矛盾,在符合一定条件的前提下可以对森林资源科学合理利用。新修订的《中华人民共和国森林法》,明确了林下经济对森林资源的利用范围和发展空间,通过保护合法权益,进一步调动了广大林业经营主体,特别是林农及新型林业经营主体发展林下经济的积极性,对发展林下经济具有里程碑的意义。

年月,国家发展改革委、国家林业和草原局等部门联合印发《关于科学利用林地资源促进木本粮油和林下经济高质量发展的意见》,从金融、科技、林地资源利用等政策方面对林下经济发展予以大力支持,要求各地将发展林下经济作为乡村振兴的重要任务,为林下经济健康、有序发展指明了方向;年月,国家林业和草原局印发了《全国林下经济发展指南(一年)》,提出落实新发展理念 and 高质量发展要求,牢固树立“绿水青山就是金山银山”理念,以生态美、产业兴、百姓富为目标,明确林下经济产业定位,扩大林下经济发展规模,优化林下经济发展布局,延伸林下经济产业链条,增加林下经济产品供给,提高森林资源利用水平,实现林草产业高质量发展,为助力健康中国和乡村振兴战略、推进生态文明和美丽中国建设做出新的贡献。



年，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《深化集体林权制度改革方案》，提出全面贯彻习近平生态文明思想，牢固树立和践行绿水青山就是金山银山理念，积极稳妥推进集体林权制度改革，依法保护农民和林业经营者的集体林权益，增强生态保护和林业发展内生动力，不断完善生态产品价值实现机制和生态补偿制度，充分发挥森林多种功能，推动林业高质量发展，推进农民农村共同富裕，促进人与自然和谐共生，努力实现生态美、百姓富的有机统一。

年中央一号文件中提到：促进木本粮油和林下经济发展；年中央一号文件中提到：引导新发展林果业上山上坡，鼓励利用“四荒”资源，不与粮争地；年中央一号文件中提到：发展林下种养；年中央一号文件中提到：实施农民增收促进行动，持续壮大乡村富民产业，支持农户发展特色种养、手工作坊、林下经济等家庭经营项目。

河北、山西、辽宁、吉林、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、广东、广西、重庆、四川、贵州、陕西、甘肃、青海、新疆等省（区、市）根据自身区域特色，出台了针对性的林下经济指导意见、规划及财政资金扶持政策，进一步促进了各地林下经济发展。

· 林地资源优势

我国热带地区林地面积较大，目前橡胶林海南多万亩，全国约万亩；椰子林海南约万亩；槟榔林海南约万亩。利用这些橡胶林、槟榔林、椰子林以及果园等发展林下生产，充分利用这些土地资源可大幅增加林地产出。

· 耐阴植物资源优势

我国热带地区有丰富的耐阴植物资源，许多药用植物适宜林下种植并具有较高利用价值，例如：姜科药用植物益智、砂仁、莪术、草豆蔻、红豆蔻、高良姜、艳山姜等；著名药用植物巴戟天、牛大力、五指毛桃、石斛、魔芋、柃叶、胡椒、地胆草、广藿香、香草兰、香露兜等。

· 生产成本优势

林地可为许多喜阴名贵药用植物提供天然荫蔽条件，省去搭棚遮阴及租用土地等费用，大幅降低生产成本。

· 发展机遇优势

- （）丰富的林地和生物资源为林下经济发展提供了基础。
- （）新修订的《中华人民共和国森林法》为林下经济发展明确了法律地位。
- （）深化集体林权制度改革为林下经济发展提供了政策支持。
- （）“健康中国”战略激发了林下经济发展新动能。
- （）旺盛的社会消费需求为林下经济发展提供了市场保障。
- （）国家重大战略为林下经济拓宽了发展平台。

林下经济产业特点

· 资源利用率高

林下经济是充分利用现有林下土地资源和林阴优势，借助林地的生态环境，在林冠下开展林下种植、养殖等立体复合生产经营，从而使农林牧各业实现资源共享、优势互补、循环相生、协调发展的生态农业模式，能大幅提高资源利用率。

· 林地综合经济效益高

开展林下种植、养殖立体复合生产经营，不仅可以充分利用林下闲置自然资源，还可改善林中的光温条件和土壤结构，使林地从传统单一经营到实现资源综合化的转变，极大增加林地附加值，提高综合经济效益。

· 产品类型较丰富

发展林下经济，在原有主作物基础上，增加了副作物，以及产业链延伸衍生的一系列附加产品，包括初级农产品、深加工农产品、餐饮业产品、旅游业产品等。

· 促进了农业产业的转化

发展林下经济，能将周边多个行业纳入到统一的产业链当中进行管理，最终实现多个行业的实效推动。农产品的加工、运输、物流、服务、开发等吸纳了大量的剩余劳动力，实现了人力资源的转化。



· 产业链延伸产品市场

发展林下经济，不仅提高了林地综合效益，增加了森林文化内涵，其产业链延伸的旅游业等还可以满足城乡人民日益增长的休闲、度假和观光旅游的需要，市场前景广阔。

林下经济发展模式

我国热带地区，有关次生林和人工林的农林复合经营模式均有相关研究和生产实践。目前采用较多的林下种植模式主要包括林药模式、林菌模式、林茶模式、林果模式、林菜模式、林草模式、林花模式等。

· 林药模式

依托森林、林地及其生态环境，在林内开展药用植物种植或半野生药用植物驯化的复合经营模式。多为喜湿耐荫的草本、藤本或灌木类植物。林下种植中草药，主要利用其土地资源优势和林荫优势。此模式可以兼顾农业观光、森林旅游、研学、种植体验、康养体验等相关功能，实现资源利用效率扩大化。种植要因地制宜，以选用耐阴性、浅根性为主，其次是配置本地特优、地道药材。我国热带地区有十分丰富的药用植物，其中，如海南道地药材益智、草豆蔻、红豆蔻等，都非常适宜在林下种植，经济效益显著。

· 林菌模式

林菌模式即依托森林、林地及其生态环境，在林内开展的食用菌的栽培和人工保育的复合经营模式。林菌模式主要以经过室内接种、发菌后的袋栽菇为经济作物，栽植到林下培养、出菇。主要是利用林地湿度大、荫蔽性高的优势。食用菌经济价值高、种植周期短，较适宜在林下种植。以林地废弃树干、作物秸秆等作为主料，选择适宜热带地区种植的耐热食用菌秀珍菇、姬菇、猪肚菇、虎奶菇、红托竹荪、虎乳灵芝、黑皮鸡枞菌等，大力发展热带地区林下食用菌产业。通过林下种植食用菌，可提高土地利用效率、增加农民经济收益，菌渣就地还田还能提升土壤肥力。目前，当积极筛选适合热带地区林下种植的高附加值食用菌品种、研发配套高产栽培技术、构建种养循环农业模式，助推林下食用菌产业发展。

· 林茶模式

林茶模式即依托森林、林地及其生态环境，在林内开展的林—茶套种或林茶间作的复合经营模式。林茶混植园使林木与茶树融山体景观、人文景观、自然生态景观为一体，茶园跌宕起伏，满目青翠，林木点缀其中，四季有景色变化，有花香和果香。一般每亩种茶株左右，上层大树~株、中小树几十株，茶树靠稀疏的林冠、遮阴防风、防寒，增加湿度，缓冲温度变化，保持茶芽嫩度，提高茶叶品质，延长茶树寿命，还靠林冠的枯枝落叶与活枝叶，对地面进行双层覆盖，保水保土，增加土壤有机质，富集矿物质营养，提高土壤肥力，靠根系的新陈代谢和枝叶归还、疏松土壤。茶树长在森林里，有利于生长，腐质层厚度提供足够养分，不需要施肥。还可以抑制杂草生长，提升土壤养分利用率。同时还兼顾森林观光、农业观光等功能。林茶共生，人地和谐。

· 林果模式

林果模式即依托森林、林地及其生态环境，在林内或林地边缘，开展果树种植的复合经营模式。热带地区有十分丰富的林地资源和适宜在林下或林缘种植的果树植物，充分利用好这些资源，发展适宜种类的果树生产，大有可为。

· 林菜模式

林菜模式即依托森林、林地及其生态环境，在林内或林地边缘，开展蔬菜或野菜种植的复合经营模式。林下风速低、气温调节稳定，蔬菜适宜稳定环境生长，且由于林下温度较低，可以减少病虫害的发生。林地可以更好地控制光照强度和光照时间，能够减少光对蔬菜的危害，提高蔬菜的品质，延长采收期和销售期，起到自然保鲜的作用。由于林下含有丰富的萜烯类物质（天然无毒），有强力的杀菌性；林下的负氧离子，有利于增强蔬菜的抗逆性。有利于无公害蔬菜的培育。

· 林草模式

林草模式即依托森林、林地及其生态环境，在林内或林地边缘，开展饲草、香草或绿肥植物等种植或利用的复合经营模式。林下种植柱花草等绿肥，不仅可增加土壤有机质与土壤矿质养分含量，还可大幅降低化肥、农药的施用，有助于减少温室气体排放。林下种植可饲用的牧草，还可为畜牧业提供大量



优质饲草。此外，在林下种植具有观赏价值的草料，还可提升景观效益，并可有效提升经济效益。

林花模式

林花模式即依托森林、林地及其生态环境，在林内或林地边缘，开展具有一定观赏价值或经济价值花卉种植的复合经营模式。林下的荫蔽、温凉、湿润的环境较适宜荫生花卉生长，在林下种植荫生花卉对林地自然环境基本无影响，此模式在各种植物的自然分布区林下均可以培育，且可以与森林旅游相结合。热带地区林下可以种植一些耐阴的花卉，如朱顶红、火炬姜、姜荷花、鹤蕉等，这些植物观赏价值高，市场上种植的人少，利润又比较高。

此外，还有林粮模式、林苗模式、林禽模式、林畜模式、林蜂模式、林特模式，以及林下采集、森林康养、森林人家、森林民宿等。

存在的若干问题

- () 林下种植多集中于荫蔽度较小的林地，荫蔽度较大的林地开展农林复合经营难度较大。
- () 生态位利用不充分，近地层利用较多，树干层、树冠层和根系层利用较少。
- () 比较关注主体作物产量而容易忽视整个生态系统的生态、景观和文化效益。
- () 有些地方存在发展误区，直接或间接破坏了生态环境。
- () 产业化经营水平有待提高：一是生产标准化程度低；二是市场组织化程度低，因缺乏行业协会等组织，各农户自产自销，市场竞争力不强；三是管理技术水平不高，缺乏科学种养技术和管理方法，造成病虫害发生率较高，致使种养成本过大，经济效益不高。
- () 当前林下种植存在先生产后科研现象，导致生产上搭配较随意、管理较粗放、缺少配套技术等。
- () 林下种植需要综合考虑整体效益，因此作物之间需要进行适当的密度调整，但传统的橡胶、槟榔等经济林种植密度过大，待其封行后对林下作物影响较大。
- () 与传统种植业相比，林下种植需要更多熟练技术人员，特别是如林下食用菌产业兼具技术和劳动密集型特点，需大量熟练人员，才能发挥其高附加值的优势。
- () 发展认识不足，比较优势弱：随着林下经济规模不断扩展，虽已形成了企业+农户、企业+合作社+农户、企业+合作社+农户+基地等多种组织形式，但林农单户经营仍是林下经济的主要生产组织方式。林农对发展林下经济的重要意义和作用认识还不到位，仍存在只看短期收益、缺乏长远规划、发展林下经济的积极性不高等问题。
- () 三产融合不够，产业链条短：现阶段林下经济产品结构相对单一，产业化程度不高，产业融合不够。现有林下经济产品仍以销售初级产品为主，深加工率低，产品附加值不高。原料供应基地与林产品加工企业的有效衔接不足，供应机制不健全。
- () 市场化水平低，品牌建设弱：大多数林下经济产品为区域性自产自销，在种养和经营品种选择上存在一定的盲目性。缺乏市场意识和品牌意识，尚未形成成熟的经营模式和稳定的销售渠道。经营主体对网络推广、电子商务等现代营销方式运用不多，市场开拓能力不足。缺乏带动力强的龙头企业和地方特色突出的知名品牌，品牌影响力不足。
- () 科技支撑不足，产业效益低：目前林下经济技术水平有待提升，产品研发创新能力不足，成果转化较慢，产品品质良莠不齐，尚未形成有竞争力的优质产能，影响林下经济产品产量和质量提高。林下种植、养殖多沿用传统方式，科学种养技术掌握不足，林下经济规模化、产业化发展成本高、效益低。
- () 发展资金短缺，经营融资难：林下经济生产经营环节存在不同程度上的融资慢、融资难问题。高标准林下经济项目前期投入较大，多数经营者缺乏启动资金，发展之初就受到限制，难以高标准起步、做大做强。一些山区林区基础设施条件滞后，存在水、电、路、通信等基础设施配套不足的问题，制约林下经济标准化、规模化、集约化发展。

建议

- () 发展林下经济应坚持生态优先、绿色发展，因地制宜、特色发展，市场主导、有序发展，科技支撑、创新发展的原则，科学布局。
- () 积极探索适宜栽培模式及配套栽培管理技术，确保林地主作物和副作物之间无不良影响。
- () 充分考虑物种的经济效益及市场需求，重点发展名、特、优、新、稀物种，注意长、中、短物



种合理配置。

() 引入外来物种时, 尤其要慎重, 要经过科学论证和严格试验, 才能确定是否适宜大面积推广, 否则, 很可能会造成外来有害物种入侵, 破坏林地生态环境。

() 在坡度较大的林地发展林下经济, 极易造成水土流失, 因此在坡地要优先选择有护坡等功效的多年生物种进行种植。

() 合理间作的复合栽培体系中, 作用机理与具体途径尚不明晰, 急需开展系统研究予以揭示。

() 加强林下生产机械化技术引进和研发, 加快与“互联网+”和“人工智能+”技术融合, 实现生产和管理的自动控制, 降低生产成本, 减少劳动强度。

() 积极响应相关政策文件精神, 积极推广林下中药材产业、大力发展林下食用菌产业、科学引导林下养殖产业、有序发展林下采集产业、加快发展森林康养产业。

() 生产过程中, 应注意以下几点: 一是栽种主作物时尽量选用宽窄行栽培方法, 二是与休闲农业、休闲采摘相结合, 三是农机农艺相结合, 减少劳动强度, 四是绿色生产、绿色认证与品牌建设相结合。

讨论

我国是一个历史悠久的传统山地型农业大国, 在农林复合经营方面有着广泛而深刻的经验, 如公元前一世纪《汜胜之书》记载着林、桑、粮、黍间作的生产结构形式; 北魏《齐民要术》对林农间作的目的性和种植技术作了详细阐述。从古至今, 许多农林复合经营模式, 如林药间作、林茶间作等, 达到了很好的土地利用效果。可以说, 传统文化意义上的“稳态经济”模式, 为现代林下经济发展提供了最好的借鉴。

我国的林下经济从绿色经济理念出发, 其核心思想是对森林开展生态保护培育、经营开发和科学合理利用。发展林下经济, 顺应了新发展阶段人民对美好生活的新需求, 顺应了新发展理念的绿色生产、绿色消费、绿色流通新要求, 顺应了新发展格局的生态文明、“健康中国”和美丽中国建设的新趋势。在可持续发展理念指导下, 林下经济绿色发展之路将越来越宽广[□]。

参考文献

- 赖启福, 李虎峰, 苏慧娟, 黄杰龙, 张慧琳. “两山”转化实现路径: 从生态价值激活到共建共治共享[J]. 林业经济问题, (): -.
- LAI Q F, LI H F, SU H J, HUANG J L, ZHANG H L. Realization Path of “Two Mountains” Transformation: From Ecological Value Activation to Co-construction, Co-governance and Sharing[J]. Issues of Forestry Economics, (): -.
- 郑继承. 中国生态扶贫理论与实践研究[J]. 生态经济, (): -.
- ZHENG J C. A Study on the Theory and Practice of Ecological Poverty Alleviation in China[J]. Ecological Economy, (): -.
- 陈幸良. 林下经济学的缘起、发展与展望[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), (): -.
- CHEN X L. The origin, development and prospect of Non-timber Forest-based Economics[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), (): -.
- 王 妍, 陈幸良. 我国林下经济研究进展[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), (): -.
- WANG Y, CHEN X L. Research Progress of Under-Forest Economy in China[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Humanities and Social Sciences Edition), (): -.
- 林存雷, 陈月民, 马宪军, 李 静, 孟令军, 白庆勇, 刘晓颖. 林下经济在乡村振兴中的发展探讨[J]. 森林防火, (): -.
- LIN C L, CHEN Y M, MA X J, LI J, MENG L J, BAI Q Y, LIU X Y. Exploration of the Development of Underforest Economy in Rural Revitalization[J]. Journal of Wildland Fire Science, (): -.
- 顾永高. 乡村振兴中林下经济发展的现状及对策研究[J]. 农村经济与科技, (): -.
- GU Y G. Research on current situation and countermeasure research of Non-timber Forest-based Economy in rural revitalization[J]. Rural Economy and Science-Technology, (): -.
- 曹裕松, 胡春琴, 苏启陶, 马利民. 生态学视野下的林下经济[J]. 广西林业科学, (): -.
- CAO Y S, HU C Q, SU Q T, MA L M. Under-Forest Economy in Ecological Perspective[J]. Guangxi Forestry Science, (): -.
- 莫引优, 戴蒲英, 曾艳梅, 何彬元, 刘湘岚. 资源县林下经济可利用林地分析[J]. 广西林业科学, (): -.
- MO Y Y, DAI P Y, ZENG Y M, HE B Y, LIU X L. Analysis on Under-forest Economic Available Utilization Forest Lands in Ziyuan



- County[J]. Guangxi Forestry Science, (): -.
- [] 吕 瑞. 林业经济向林下经济转型的研究[J]. 山西农经, (): -.
- LV R. The study on the transition from forestry economy to Non-timber Forest-based Economy[J]. Shanxi Agricultural Economy, (): -.
- [] 王 岩, 许 谭, 申昊轩, 侯皓雪, 范金平, 梁素钰. 森林生态产品价值实现探讨: 要点、问题与促进措施[J]. 中国林业经济, (): -.
- WANG Y, XU T, SHEN H X, HOU H X, FAN J P, LIANG S Y. Discussion on Realization of Forest Ecological Product Value: Key Points, Problems and Promoting Measures[J]. China Forestry Economics, (): -.
- [] 吴琳敏, 林以恒, 郑 焜, 范水生, 毛丽玉, 魏秀林. 大食物观视角下森林生态产品价值实现路径研究[J]. 林业经济问题, (): -.
- WU L M, LIN Y H, ZHENG K, FAN S S, MAO L Y, WEI X L. The Paths of Value Realization of Forest Ecological Products from the Perspective of Big Food View[J]. Issues of Forestry Economics, (): -.
- [] 王华琨. 关于加快延庆县林下经济发展的思考[J]. 北京农业职业学院学报, (): -.
- WANG H K. Thoughts on accelerating the Non-timber Forest-based Economy development of Yanqing County[J]. Journal of Beijing Agricultural Vocation College, (): -.
- [] 李绍财. 林下经济发展促进乡村振兴的策略探析[J]. 山西农经, (): -.
- LI S C. An analysis of strategies for promoting rural revitalization through Non-timber Forest-based Economy development[J]. Shanxi Agricultural Economy, (): -.
- [] 申丹艳, 高 静, 邱苏晗, 刘 东. 海南省天然橡胶林下经济发展现状及建议[J]. 热带农业科技, (): -.
- SHEN D Y, GAO J, QIU S H, LIU D. Current Status of Economic Development in Rubber Forests and its Hints in Hainan Province[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, (): -.
- [] 张永明, 刘红位, 张良实. 云南省林下种植典型模式研究[J]. 云南农业, (): -.
- ZHANG Y M, LIU H W, ZHANG L S. Study on typical model of understory planting in Yunnan Province[J]. Yunnan Agriculture, (): -.
- [] 欧阳欢, 罗 萍, 徐志军, 张小燕. 湛江发展橡胶林下间作斑兰叶模式探讨[J]. 农业开发与装备, (): -.
- OUYANG H, LUO P, XU Z J, ZHANG X Y. The pattern exploration on the intercropping of *Pandanus amaryllifolius* under the rubber forest in Zhanjiang[J]. Agricultural Development & Equipments, (): -.
- [] 刘 兴, 李 娅. 云南省林下中药材产业发展策略[J]. 林草政策研究, (): -.
- LIU X, LI Y. Development Strategy of Chinese Herbal Medicine Industry in Yunnan Province[J]. Journal of Forestry and Grassland Policy, (): -.
- [] 张远强, 曾 贞, 史君怡, 董云峰, 伏成秀, 罗之兰. 乡村振兴背景下云南林下经济高质量发展路径研究[J]. 安徽农业科学, (): -.
- ZHANG Y Q, ZENG Z, SHI J Y, DONG Y F, FU C X, LUO Z L. Study on the Path of High-quality Development of Under-forest Economy in Yunnan under the Background of Rural Revitalization[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, (): -.
- [] 叶剑锋, 陆康英, 刘喻娟, 卢紫君. 罗定市林下经济发展模式与生态扶贫效益研究[J]. 林业调查规划, (): -.
- YE J F, LU K Y, LIU Y J, LU Z J. Under-forest Economy Development Mode and Benefit Analysis of Ecological Poverty Alleviation in Luoding City[J]. Forest Inventory and Planning, (): -.
- [] 吴红萍, 金映虹, 陈喜蓉. 海南发展橡胶林下经济的现状、问题与对策[J]. 热带林业, (): -.
- WU H P, JIN Y H, CHEN X R. Present Situation, Problems and Countermeasures of Developing Rubber Forest Economy in Hainan[J]. Tropical Forestry, (): -.
- [] 罗启德, 吕厚波, 周文会, 罗宗云, 陶建祥. 云南江城橡胶公司橡胶林下经济发展探索[J]. 热带农业科技, (): -.
- LUO Q D, LU H B, ZHOU W H, LUO Z Y, TAO J X. Exploration on Economic Development under Rubber Plantation of Yunnan Jiangcheng Corporation[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, (): -.



间种平托花生背景下不同钙镁硅肥用量对剑麻生长和产量的影响

黎陞成, 赵家流, 黄 标, 黄秋源, 郭成财, 余 龙, 王进胜

1 广东农垦东方红农场有限公司, 广东雷州 524251

摘 要 近年来, 剑麻园土壤酸化问题加剧, 导致减产现象频发, 同时石灰的大量施用也引起了土壤板结。本研究针对此问题, 探究了在间种平托花生的背景下, 不同钙镁硅肥用量对剑麻生长及产量的影响。研究表明, 间种平托花生背景下, kg/m^2 的钙镁硅肥用量是促进剑麻叶长、叶宽和单叶重显著增加的最佳选择, 并实现了最高产量。本研究结果为剑麻的生产提供科学依据。

关键词 剑麻; 平托花生; 钙镁硅肥; 土壤改良

剑麻作为亚热带地区重要的硬质叶纤维作物, 不仅是世界范围内用量最大、应用范围最广的硬质纤维来源, 其纤维产量更是占据了全球硬质纤维总产量的大约三分之二。自 20 世纪 60 年代初, 从东非引进的优良品种 H.11648 (东 1 号) 在广东湛江地区国营农场成功种植以来, 该品种便成为我国剑麻栽培的主要选择。林芯等学者的研究指出, 该品种对中性土壤环境($\text{pH}6\sim7$)具有最佳适应性, 而酸性强的土壤条件将显著减少其叶片数^[1]。广东省湛江市作为主要种植区之一, 面临着严重的土壤酸化问题^[2], 因此剑麻生产中施用石灰以中和土壤酸度并补充钙元素成为常态。然而, 连续多年施用石灰致使土壤板结, 反而对剑麻生长产生不利影响。有机肥虽然可以改善土壤环境, 但其偏高的成本限制了其在实际生产中的应用。因此, 寻找改良剑麻园酸性土壤的新途径显得尤为迫切。

平托花生, 一种原产于巴西的豆科落花生属热带型多年生草种, 以其耐酸、耐瘠、耐旱的特性而备受瞩目^[3]。研究表明, 在剑麻园中行间种植平托花生可以提高不同土层 (尤其是 0~20 cm 土层) 的土壤含水量^[4], 并能在一定程度上改善土壤 pH 值和有机质、全氮、全磷、全钾、铵态氮、速效磷、速效钾含量以及土壤微生物群落的多样性^[5]。

2017 年, 我们与中国热带农业科学院环境与植物保护研究所合作, 在东方红农场农科所 16-4 东块麻田间成功种植平托花生, 并取得了初步成果: 间种平托花生后, 剑麻园土壤 pH 值提高了 0.5~0.6 个单位, 同时显著提升了有机质、土壤交换性镁水平。尽管如此, 石灰提供的钙元素通过间种平托花生并未得到有效替代。为了满足剑麻对钙、镁的高需求量, 本研究选择了碱性的土壤改良剂——钙镁硅肥。

本研究的目的是分析在间种平托花生的背景下, 不同用量的钙镁硅肥对剑麻生长和产量的影响, 以期剑麻的生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验地概况

试验地位于广东省湛江市雷州市英利镇广东农垦东方红农场有限公司 4 队油茶山北 2 块, 土壤为砖红壤, 土壤养分状况见表 1。

1.1.2 试验材料

供试剑麻品种为 H.11648 麻, 2017 年定植, 种植密度为 270 株/667 m^2 , 剑麻叶片养分状况见表 2; 绿肥为平托花生, 2018 年定植于剑麻大行; 钙镁硅肥的养分含量为 $\text{CaO} \geq 33\%$ 、 $\text{MgO} \geq 25\%$ 、 $\text{SiO}_2 \geq 1.8\%$ 、 $\text{pH}10\sim11$; 剑麻专用生物配方肥的养分含量为有机质 $\geq 25\%$ 、N 5%、 P_2O_5 4%、 K_2O 11%, 水分 $\leq 20\%$ 。

作者简介 黎陞成(1994—), 男, 助理农艺师; 研究方向: 热带作物栽培; E-mail: canghaiyigua@163.com。



表 1 试验地土壤养分状况

地点	pH	有机质 (g/kg)	矿质态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	交换性钙 (mg/kg)	交换性镁 (mg/kg)
队油茶山北块	.	.	.	.	.	.	.
适宜值	..	..	—	..	..	..	..

说明：pH、有机质、有效磷、速效钾的适宜值参照黄标等人的研究^[1]，交换性钙、交换性镁的适宜值参照习嘉民等人的研究^[2]。

表 2 试验地剑麻叶片养分状况

地点	氮含量 (%)	磷含量 (%)	钾含量 (%)	钙含量 (%)	镁含量 (%)
队油茶山北块	.	.	.	.	.
适宜值	..	..	..	..	..

说明：表中适宜值参考黄标等人的研究^[1]。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验采用随机区组排列，每小区 1222.22m²，3 次重复。设 4 个处理（见表 3）。2019 年 3 月 28 日于麻园大行开双沟后机械撒施肥料。试验期间对 T2、T3、T4 处理的小区进行粉碎不同部位的平托花生回田（保留平托花生种源，保障延续生长），2019 年 4 月粉碎剑麻大行两边的平托花生回田，2020 年 8 月粉碎剑麻大行中间的平托花生回田。其他按常规管理。

表 3 试验处理年施肥量及间作情况

处理	肥料年施用量 (kg/m)		剑麻大行间 种作物
	剑麻专用生物 配方肥	钙镁硅肥	
T	—	—	—
T	—	—	平托花生
T	—	—	平托花生
T	—	—	平托花生

1.2.2 测定方法

试验实施前（2019 年 3 月 28 日），每小区随机选取 10 株长势一致、无病害的剑麻植株作为样本株，标记样本株的增叶基数，取样本株 45 度角的剑麻叶片 1 片，测定叶长、叶宽、单叶重，每个小区取 10 片捆绑一起称重；试验期间定期测定新增叶片数；试验结束后（2021 年 4 月 6 日）测定剑麻叶片的叶长、叶宽、单叶重、增叶数及测产。

1.3 数据分析

采用 office 软件和 SPSS 25.0 进行数据分析和差异显著性检验

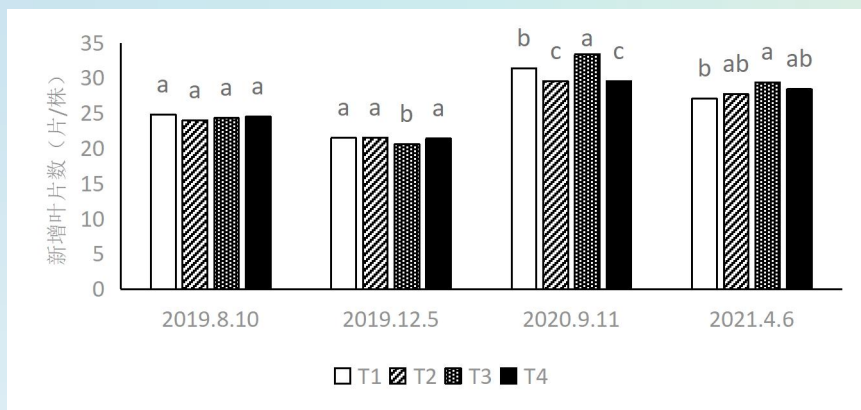
2 结果与分析

2.1 不同处理对剑麻新增叶片数的影响

由图 1 可以看出，在间种平托花生背景下，施用钙镁硅肥在前 8 个月内（2019.8.10、2019.12.5）对剑麻新增叶片数没有明显影响；至第 17 个月（2020.9.11），T3 处理的新增叶片数显著多于 T1 处理，



而 T2、T4 处理的新增叶片数均显著少于 T1 处理；至第 24 个月，T3 处理的新增叶片数显著多于 T1 处理，T2、T4 处理的新增叶片数均略多于 T1 处理，但差异不显著。

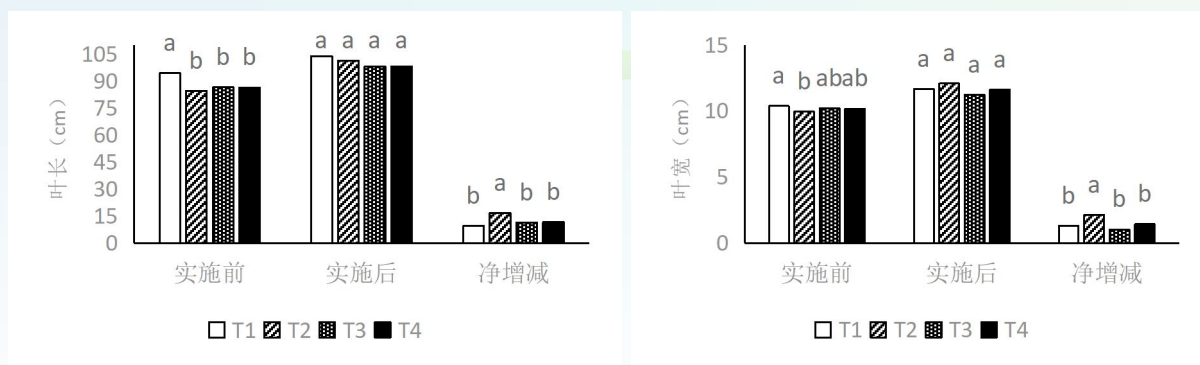


说明：同一调查时间不同小写字母表示不同处理存在显著差异($p < 0.05$)。

图 1 不同处理对剑麻新增叶片数的影响

2.2 不同处理对剑麻叶长、叶宽的影响

由图 2 可以看出，试验实施前，T1 处理的叶长、叶宽均略大于 T2、T3、T4 处理，其中 T1 处理的叶长与 T2、T3、T4 处理差异显著，T1 处理的叶宽与 T2 处理差异显著；试验实施后，各处理间的叶长、叶宽差异均不显著。从叶长、叶宽的净增减（实施后-实施前）来看，T2 处理显著大于 T1、T3、T4 处理，T1、T3、T4 处理间差异不显著。

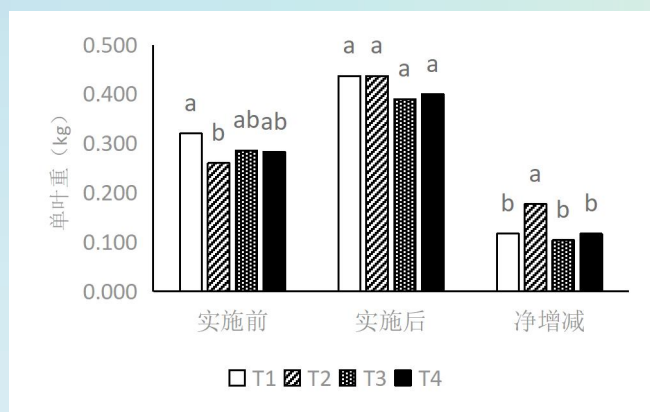


说明：同一组不同小写字母表示不同处理存在显著差异($p < 0.05$)。

图 2 不同处理对剑麻叶长、叶宽的影响

不同处理对剑麻单叶重的影响

由图可以看出，试验实施前，T 处理的单叶重均略大于 T、T、T 处理，其中 T 处理的叶长与 T 处理差异显著；各处理间的单叶重差异均不显著。从单叶重的净增减（实施后-实施前）来看，T 处理显著大于 T、T、T 处理，T、T、T 处理间差异不显著。

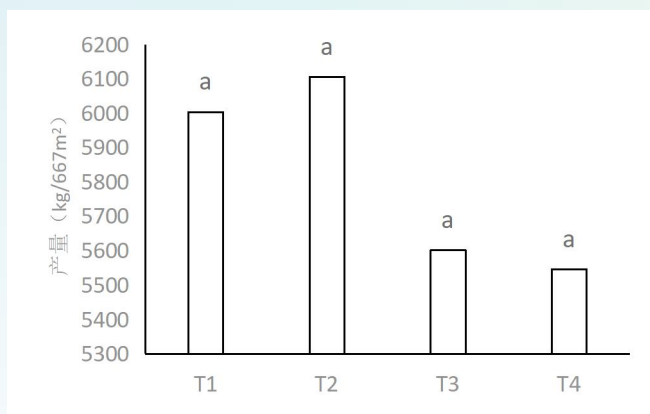


说明：同一组不同小写字母表示不同处理存在显著差异($p < 0.05$)。

图 3 不同处理对剑麻单叶重的影响

2.2 对剑麻产量的影响

由图 3 可以看出，在间种平托花生背景下，钙镁硅肥施用量为 $150\text{kg}/667\text{m}^2$ 时产量最大，达 $6105.56\text{kg}/667\text{m}^2$ ，比 T1 处理提高了 1.70%；之后随着钙镁硅肥施用量的增加，产量反而有所减少。



说明：不同小写字母表示不同处理存在显著差异($p < 0.05$)。

图 4 不同处理对剑麻产量的影响

3 结论与讨论

试验实施前，试验地土壤偏酸性，有机质、交换性钙、交换性镁含量均偏低，剑麻叶片的镁含量偏低。本试验在间种平托花生及其还田改良土壤酸性、提高有机质含量的基础上，辅以施用钙镁硅肥满足剑麻对钙、镁的高需要量，并增强土壤改良效果。研究表明，间种平托花生背景下施用钙镁硅肥的最佳用量为 $150\text{kg}/667\text{m}^2$ ，在此用量下，可以显著促进剑麻的叶长、叶宽、单叶重的提高，并提高产量。然而钙镁硅肥用量为 $200\text{kg}/667\text{m}^2$ 、 $300\text{kg}/667\text{m}^2$ 时，剑麻的叶长、叶宽、单叶重与 T1 处理差异不显著，且产量比 T1 明显降低。结合生产实际考虑，建议间种平托花生的剑麻园生产中推荐钙镁硅肥用量为 $150\text{kg}/667\text{m}^2$ ，以期更好地促进剑麻增产提质。

参考文献

- [1]林芯,余让水,许能琨.龙舌兰麻 H.11648 品种最适环境酸碱度的研究[J].中国麻作,1987(04):41-42.
- [2]郑超,廖宗文,刘可星,毛小云,杜建军.湛江地区剑麻种植基地营养状况的研究[J].西南农业大学学报(自然科学版),2004(04):397-400.



- [3]黄毅斌,郑仲登,黄秀声,陈恩,应朝阳,唐龙飞.平托花生在红壤果园的水土保持作用与综合利用研究[J].水土保持学报,2004(06):30-33.
- [4]刘芳,江家泉,黄标等.套种平托花生对剑麻园不同层次土壤水分和氮磷钾的影响[J].中国麻业科学,2020,42(01):24-30.
- [5]葛利芳,李静,刘萍等.剑麻行间间种平托花生对土壤微生物群落的影响[J/OL].分子植物育种:1-18[2023-07-30].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20221227.1154.003.html>
- [6]黄标,张曼其,陈叶海,等.剑麻营养诊断指导施肥技术的开发与应用[J].热带农业科学,2001,(01):10-18.
- [7]习嘉民,谭施北,郑金龙,等.剑麻营养状况及化肥施用现状调查分析[J].热带农业工程,2023,47(03):128-130.



徐闻县红星农场菠萝品牌建设高质量发展实践报告

李华富，赵威威，李康伟
广东农垦红星农场有限公司,广东徐闻 524100

摘要 徐闻县位于中国大陆最南端，以其得天独厚的地理环境和气候条件，孕育出了品质上乘的菠萝，在市场上享有盛誉。作为中国最大的菠萝产区，徐闻菠萝常年种植面积约万亩，年产量万吨，约占全国菠萝的1/3。广东农垦红星农场有限公司位于我国菠萝特色优势区徐闻菠萝产区，现有菠萝种植面积1.5万亩，是徐闻县域最大的菠萝种植区。红星农场种植菠萝已有多年历史，具有典型的地域特色。本文从徐闻菠萝（广东农垦湛江垦区红星农场）产业现状和问题，及红星农场菠萝品牌建设高质量发展实践情况等方面进行剖析，旨在为雷州半岛菠萝产业品牌建设提供有益的参考和建议。

关键词 菠萝；品牌建设；高质量发展

引言

广东省湛江市徐闻县被称为“中国菠萝之乡”“中国菠萝产业龙头县”“中国绿色生态菠萝十强县”，徐闻县曲界镇享有中国菠萝第一镇的称号^[1]。红星农场菠萝常年种植面积3万多亩，年均收获面积约1.5万亩，年均总产菠萝鲜果1.5万吨。菠萝作为一种热带水果，以其独特的风味和丰富的营养价值在全球范围内广受欢迎。在当今竞争激烈的市场环境中，品牌建设已成为提升产品附加值、增强市场竞争力的关键因素。对于菠萝产业而言，加强品牌建设不仅能够提高产品的知名度和美誉度，还能促进产业升级，实现可持续发展。因此，深入研究菠萝品牌建设具有重要的现实意义。

1 徐闻菠萝现状

1.1 种植规模与产量

徐闻菠萝产销量近几年总体成增长趋势，种植菠萝的乡镇有曲界、龙塘、下桥、下洋、前山、锦和、南山和新寮等地。种植面积超过万亩，年产量达万吨以上，占全国菠萝总产量的三分之一^[1]。徐闻菠萝品种有多种，但巴厘品种约占80%，在市面上，80%的菠萝主要以鲜果的形式供往市场，其余的20%以加工的方式进行销售。

1.2 采收时间与销售价格

徐闻菠萝为两年一造（周期，采收加留苗时间）经济作物，采收时间集中在每年2月~5月，巴厘销售价格在一元/公斤之间，凤梨销售价格在一元/公斤之间。巴厘亩均利润在一千元之间。凤梨亩均利润在一千元之间。

2 徐闻菠萝产业存在的问题

2.1 品种老化单一

世界各地栽培的食用菠萝品种共计余个，国内菠萝种植以“巴厘”、“无刺卡因”、“神湾”等品种为主^[2]。菠萝种植在徐闻已有近百年历史，年爱国华侨倪国良从新加坡将“巴厘”品种菠萝带回徐闻县愚公楼村种植^[3]。因其适应性强和味道鲜美而被广泛种植。巴厘菠萝上市期集中在每年的1-3月份，保鲜期仅一周左右，这导致市场供应期短暂而集中，难以满足市场需求的持续性，且目前已出现品质“退化”现象。随着消费者口味的多样化和市场竞争的加剧，巴厘菠萝的优势逐渐减弱，品种单一的问题愈发凸显。

2.2 品牌知名度和影响力有待提升

尽管徐闻菠萝产量约占全国的三分之一，但在全国范围内，其品牌知名度和影响力仍有

作者简介 李华富（1976—），男，中级职称；研究方向：热带农业生产经营；E-mail: hxncscb@126.com。



较大的提升空间。在一些地区，消费者对徐闻菠萝的了解和认知程度还不够高，品牌宣传力度和效果仍需加强。例如，徐闻虽有“菠萝的海”的美誉，但在品牌传播方面，还没有形成广泛的、具有高度辨识度的品牌形象和宣传口号，导致其在市场竞争中难以脱颖而出。

2.3 产业结构单一

徐闻菠萝虽然在规模上具有明显优势，种植面积达万亩，常年产量约万吨，但产业结构单一问题依然突出。菠萝主要以鲜果形式销售，深加工产品少，附加值较低。菠萝罐头、果酱、饮料等多元化产品较少，高值产品如菠萝酶、菠萝纤维衣料的开发更是微乎其微。这种单一的产业结构不仅限制了产业的发展空间，也使得市场供求关系容易失衡，一旦鲜果销售受阻，就会对整个产业带来巨大冲击。

2.4 标准化种植程度有待提高

菠萝生产环节除了种植前的犁耙整地、开沟施肥等实现机械化作业外，种植和收获两个关键环节仍然主要依靠传统的手工作业方式，如手摘和肩挑，劳动强度大、效率低、成本高^[4]。部分种植户在种植过程中，存在管理不规范、技术应用不到位等情况，导致菠萝的品质和产量存在差异，影响了整体品牌形象。要实现品牌的可持续发展，需要进一步加强标准化种植的推广和实施，确保产品质量的稳定性和一致性。在分选、降温预冷、仓储物流等设施 and 场地方面存在明显不足，这些问题直接影响了菠萝增值潜力的发挥和市场吸引力的提升。

2.5 市场体系不健全

尽管“”模式取得了一定成效，打通了初级农产品的产销通道，但在市场体系建设方面仍有不足。首先，市场供求格局中存在明显的结构性问题，低端品种生产过剩，高端优质品种紧缺^[5]。产业链条中各主体间缺乏有效的激励与约束机制，利益保障机制不完善。中间组织（如专业合作社、协会等）未能得到充分发挥，缺乏必要的政策扶持等措施，这些因素导致了市场体系的不稳定性和不成熟性。

3 红星农场菠萝品牌建设高质量发展探索与实践

3.1 精准品牌定位，理清产业发展新思路

年台风“威马逊”过后，红星农场橡胶产业遭遇灭顶之灾，农场班子对产业损失情况进行了分析，并就下一步菠萝产业发展进行讨论，提出了一个大胆设想：带领职工发展菠萝产业，引进新品种、新技术，种植“金菠萝”、凤梨。红星农场多次组织党员技术骨干和专业岗位人员远赴海南、广西等地为菠萝产业发展“取经”，目的只有一个——学习新品种种植技术。在与海南等地的菠萝种植大户交流中认真学习技术要点，逐步攻克菠萝生长各时期技术上的难题。农场引进有金菠萝、神湾菠萝、西瓜凤梨、芒果凤梨、红菠萝、手撕凤梨（台农）等十几个具有较高经济价值潜力的新品种。经过几年的试验表证，发现其中表现最好的有“台农”“台农”“台农”等。目前“台农”已成为红星农场主推品种，“台农”优质菠萝生产基地已发展到了亩，其中农场公有经营的有亩，带动种植户种植的有亩。

3.2 探索经营新模式，推行贴身经营促进效益提升

红星农场为加强菠萝产业园管护能力，采用职业经理人管理模式，“园区+基地负责人”“园区+青年创业园”“园区+职工岗位经营”等模式推行团队贴身经营，并按照“三品一标”工作要求和“五化”工作法，定期组织召开园区例会，及时公布各地块水、肥、苗等监测情况，与项目经理人面对面开展阶段工作交流，明确基地精细化管理任务，不断提升基地日常工作规范化、标准化。

（1）“园区+基地负责人”模式。该模式为农场统一经营管理，由农场投资，并组建菠萝产业园区专业管理团队，设立分基地负责人，实施地块精细化管理，实行阶段性考核，即种植阶段、追肥阶段、除草管理阶段、收获阶段，各分基地采取独立核算、独立考核，并按考核项目实行排名制，优胜劣汰，明确盈亏考核内容，基地有纯利润时提取可分配利润的5%作为该分基地负责人的奖励。

（2）“园区+职业经理人”模式。该模式采用农场全资的方式设立产业基地，设项目经理人一名，由生产经营部下达技术规程，项目经理人自行组建经营团队负责对产业基地进行管理，农场核定各项生产成本、财务指标，在核定指标范围内，日常事务由经理人进行决策和管理，菠萝产业园区派出技术顾



问和资料员协助协助经理人基地管理，农场进行年度考核。基地独立核算、独立考核，并实行排名奖罚和优胜劣汰制度，项目经理人基地实现盈利的，利润的%归公司、利润的%归项目经理人（团队）、剩余%奖励菠萝产业园区及其他管理人员。

（3）“园区+青创园基地”模式。该模式由农场投入物资类成本，包括土地使用费、种苗、肥料物资、农药等，青创园管理员自负各类工钱开支。原则上每个地块约亩由一名青年干部负责管理，也可组队共管，各地块实行独立核算、独立考核。如果基地有利润，利润分配按农场占%、管理员占%、产业园区后勤人员（园区经理、资料员、会记、物资仓管、监督员等）占%。

3.3 强化品牌保障，多措并举提升菠萝品质

（1）制定《优质菠萝种植技术规程》。不断改进种植技术，优化管理模式，严格执行“红土金菠”等级划分标准，全面提升菠萝鲜果品质，也为职工及周边农户种植新品种菠萝提供参考标准和操作规范。红星农场“台农”品种菠萝，产地收购价格由原来.元/公斤已提升到年的.元/公斤，单价升幅达到了%。

（2）成立农技推广团队。在联农带农上，做好服务保障，由优秀农技推广员免费为种植户提供技术指导，一对一辅导农户种植优质菠萝，菠萝产业园区被地方政府树为垦地共建示范基地、新品种菠萝参观示范基地。

（3）推行种苗扶持政策。对种植新品种菠萝的职工进行种苗补贴，每株新品种菠萝种苗补贴.元。红星农场已累计向农户供应新品种菠萝苗多万株，帮助农户种植新品种菠萝多亩。

（4）落实销售帮扶措施。建立“企业+农户基地”发展模式，凡符合农场技术种植要求的新品种菠萝，销售人员主动为职工对接收购商，或直接从农场采购进行品牌销售，为职工解决销售难题。红星农场年助农销售鲜果多万斤，助农户收入多万元。

3.4 厚植品牌优势，持续提升品牌竞争力

年，红星农场注册“红土金菠”凤梨品牌，以“生态、绿色、安全”为生产理念，坚持“农场果、自然熟”。通过参加农博会、农交会等推广活动，积极对接 CCTV//等媒体，农场凤梨品牌知名度显著提升，多次被央媒报道，新华社刊文《直播风起“菠萝的海”》，央视播报《广东农垦菠萝“逆势”出口日本》等，浏览量达多万次。此外，还参与组织党的十九大代表、省人大代表直播带货“让世界爱上广东味”活动红星农场分会场，腾讯、珠江经济台、羊城晚报等大平台同步直播，在线观看超百万人，销售额近百万元。此外，红星农场还积极申报粤港澳大湾区“菜篮子”生产基地、拍摄《红土金菠品牌故事》栏目等途径将“红土金菠”打造成为行业知名品牌，成为农垦菠萝的统一品牌。年，吨“红土金菠”首发日本。年，.吨“红土金菠”出口新加坡，以及开展致敬英雄城（湖北武汉）活动等。红星农场凤梨品牌知名度不断提高，荣获国家级“名特优新产品”、中国特色农产品优势区、出境水果果园、粤港澳大湾区“菜篮子”生产基地、广东农产品出口示范基地、“粤字号”农业品牌名录、“广东省五一劳动奖状”等荣誉，产品连续 6 年检测符合绿色食品标准。目前，“红土金菠”已成为广东农垦菠萝产业“金字招牌”。

3.5 谋划休闲旅游，引领产业发展提质增效

红星农场不断加快农场现代化步伐，聚焦菠萝产业、农垦文化等，擦亮“一企一品”特色，以红色文化发掘和展示为引领，带动乡村振兴与新型城镇化建设，成功打造具有农垦情怀的阵地——湛江市中共党史教育基地。按照“一道、两湖、三馆、四园”文旅建设理念，积极推进特色菠萝小镇建设，充分挖掘文化资源，丰富企业文化内涵，不断改造完善农场博物馆等文化设施，成功建设“星湖公园”、“菠萝主题公园”、“百果园”，建成 2 栋生态民宿和 1 栋展示交易中心，公共基础设施功能更加完善，为“红土金菠”菠萝产业对外展示提供了平台。同时，积极推进绿美广垦建设，不断提升农场绿化、美化、净化水平，营造宜居宜业宜游的优美环境。目前，红星农场已建成具有军垦文化、知青文化、“归侨”文化的农垦特色小镇。



参考文献

- [1] 徐闻县政府网. 徐闻菠萝：从田间到餐桌 打造绿色生态产业链的新典范.[EB/OL].(--).<http://www.xuwen.gov.cn/>
- [2] 林庭敏等. "徐闻菠萝市场营销方案策略研究." 市场调查信息:综合版 ():-.
- [3] 南方+.在广东，寻找“菠萝的海”出海口.[EB/OL](--).<https://nfplus.nfnews.com/>
- [4] 刘维孟,李沐桐. "菠萝田间收获装备现状及其短板技术分析." 南方农机 .():-.
- [5] 文天祥,陈燕萍.湛江菠萝产业发展突出问题调研报告[R]. .



关于两广地区剑麻纤维抽检情况的报告

周省³, 陈莉莎¹, 经福林², 毛丽君¹, 殷春霞¹, 冯超¹, 陈士伟^{1, 2}

¹ 农业农村部剑麻及制品质量检验检测中心, 广东 湛江 524022

² 广东省湛江农垦科学研究所, 广东 湛江 524000

摘要 本研究主要是对两广地区的剑麻纤维, 随机抽取各 20 个试样, 深入研究其物理性能。借助严谨的试验检测、对比分析, 对剑麻纤维长度、含杂率、回潮率以及束纤维断裂强力等核心物理性能指标进行了详尽剖析, 并深入探讨了导致这些物理性能指标差异的成因。研究结果显示, 在纤维长度上, 广西地区稍有优势; 含杂率方面, 两广地区差别细微; 回潮率上, 广西地区略高; 而束纤维断裂强力则是广东地区表现稍微出色。此研究成果为两广地区剑麻纤维产业的发展提供了具有参考价值的科学依据。

关键词 剑麻纤维; 物理性能; 广东; 广西

Report on the random inspection of sisal fiber in Guangdong and Guangxi

Abstract This study focuses on the physical properties of sisal fibers from the Guangxi and Guangdong regions, with samples randomly selected from each area for an in-depth investigation. The study thoroughly examines key physical performance indicators through rigorous testing and comparative analysis, including fiber length, impurity content, moisture regain, and bundle fiber-breaking strength. The findings reveal that Guangxi fibers have a slight advantage in length, while the impurity content shows minimal differences between the two regions. The moisture regain is slightly higher in Guangxi, whereas the bundle fiber breaking strength is marginally better in Guangdong. These results provide valuable scientific evidence to support the development of the sisal fiber industry in both regions.

Keywords sisal fiber; physical properties; Guangdong; Guangxi

剑麻属龙舌兰科龙舌兰属, 为多年生热带硬质叶纤维作物, 原产于墨西哥龙加丹半岛, 如今在全球范围内广泛分布。剑麻纤维由纤维素、半纤维素、木质素、果胶等构成, 具有质地坚韧、耐磨、耐盐碱、耐腐蚀等特性, 在国防、工业、森林、渔业等众多部门发挥着重要作用, 同时也可应用于日用品及建筑材料等领域。广东和广西作为我国剑麻的核心产区, 鉴于其地理环境与气候条件等因素, 有可能对剑麻纤维的物理性能产生影响。因此, 研究两广地区剑麻纤维的物理指标具有一定的现实意义。现将两广剑麻纤维抽检情况报告如下:

一、抽检概况

1. 抽检地点

试样随机抽检地为广东省湛江市和广西南宁市的剑麻主产区。湛江市地处中国大陆最南端, 位于桂、粤、琼三省交界处, 地形以台地为主, 气候为热带北缘季风气候。南宁市位于广西壮族自治区中部偏南, 地形多样, 气候属湿润亚热带季风气候。

2. 抽检试样方式

剑麻纤维抽检在广东和广西剑麻主产区进行, 从广东的五个单位和广西的五个单位各随机抽取 20 个试样, 以保证取样具代表性和一致性。

3. 检测标准依据和方法

作者简介: 周省 (1980-), 男, 本科, 热作工程师, 研究方向热带作物检验检测、种质资源保护等。E-mail: zhousheng90@163.com。



纤维长度、束纤维断裂强度、含杂率的指标测定依照《剑麻纤维（GB/T 15031-2009）》国家标准执行；回潮率的指标测定遵循《剑麻纤维及制品回潮率的测定（NY/T 243-2011）》行业标准执行。

二、抽检并出具的检验报告结果

1. 剑麻纤维长度

表 1 广东地区抽检剑麻纤维长度技术性能检测结果

样品编号	东1	东2	东3	东4	东5	东6	东7
实测结果(cm)	103	103	103	103	89	104	107
样品编号	东8	东9	东10	东11	东12	东13	东14
实测结果(cm)	95	99	96	98	100	87	95
样品编号	东15	东16	东17	东18	东19	东20	综合平均值(cm)
实测结果(cm)	96	105	99	93	95	94	98.20

表 2 广西地区抽检剑麻纤维长度技术性能检测结果

样品编号	西1	西2	西3	西4	西5	西6	西7
实测结果(cm)	115	112	89	95	109	103	106
样品编号	西8	西9	西10	西11	西12	西13	西14
实测结果(cm)	101	99	106	103	76	105	100
样品编号	西15	西16	西17	西18	西19	西20	综合平均值(cm)
实测结果(cm)	102	106	100	103	105	94	101.45

剑麻纤维的长度受到诸多因素的影响，包括剑麻所处的地理环境、剑麻的种植品种、生产过程、施肥情况、加工方式以及管理水平等。从表 1 和表 2 抽检试样检测情况来看，广东剑麻纤维最长长度为 104cm，最短长度为 87cm，综合平均长度为 98.20cm。其中，有 50% 的纤维长度在 98.20cm 以内，且该地区剑麻纤维的均值达到了国家标准一等品（ $\geq 95\text{cm}$ ）的指标要求。广西剑麻纤维最长长度为 115cm，最短长度为 76cm，综合平均长度为 101.45cm，长度处于 101.45cm 以内的纤维占比达到 40%，其均值同样符合国家标准一等品（ $\geq 95\text{cm}$ ）的指标。

2. 剑麻纤维含杂率

表 3 广东地区抽检剑麻纤维含杂率技术性能检测结果

样品编号	东1	东2	东3	东4	东5	东6	东7
实测结果(%)	1.2	2.3	2.3	2.2	1.6	2.7	2.1
样品编号	东8	东9	东10	东11	东12	东13	东14
实测结果(%)	4.7	4.9	3.7	4.2	2.0	3.5	6.1
样品编号	东15	东16	东17	东18	东19	东20	综合平均值(%)
实测结果(%)	2.9	3.3	3.4	3.5	4.6	4.4	3.28

表 4 广西地区抽检剑麻纤维含杂率技术性能检测结果

样品编号	西1	西2	西3	西4	西5	西6	西7
实测结果(%)	0.3	2.0	0.2	1.3	5.7	2.1	6.0
样品编号	西8	西9	西10	西11	西12	西13	西14
实测结果(%)	2.3	14.3	2.7	2.1	4.2	4.2	2.4
样品编号	西15	西16	西17	西18	西19	西20	综合平均值(%)
实测结果(%)	0.9	2.6	5.2	4.7	2.4	6.3	4.18



剑麻纤维含杂主要指麻屑、麻糠、斑点、干皮、青皮及严重脱胶不净的纤维等。剑麻纤维含杂率的高低与机械刮麻机的加工工艺存在紧密联系。通常情况下，剑麻叶片在刮麻机进行刮麻操作期间，会自带麻屑、麻糠，并且可能存在脱胶不净的情况。此外，刮麻完成后，冲洗麻片的干净程度也会对含杂率产生影响。同时，原材料剑麻叶片自身若存在斑点、干皮、青皮等状况，在刮麻后也无法将这些问题剔除。从表 3 和表 4 抽检试样检测情况来看，广东地区剑麻纤维含杂率最高在 6.1%，最低为 1.2%，综合平均含杂率为 3.28%，45%的含杂率在 3.28%以内，均值达到国家标准三等品 $\leq 3.5\%$ 的指标。广西地区剑麻纤维含杂率最高为 14.3%，最低含杂率为 0.2%，综合平均含杂率为 4.18%，45%的含杂率在 4.18%以内，均值达到国家标准五等品 ≤ 5.0 的指标。

3. 剑麻纤维回潮率

表 5 广东地区抽检剑麻纤维回潮率技术性能检测结果

样品编号	东1	东2	东3	东4	东5	东6	东7
实测结果(%)	96	107	110	108	108	113	123
样品编号	东8	东9	东10	东11	东12	东13	东14
实测结果(%)	112	125	98	112	121	103	145
样品编号	东15	东16	东17	东18	东19	东20	综合平均值(%)
实测结果(%)	113	99	126	120	155	120	116

表 6 广西地区抽检剑麻纤维回潮率技术性能检测结果

样品编号	西1	西2	西3	西4	西5	西6	西7
实测结果(%)	136	126	138	142	137	118	128
样品编号	西8	西9	西10	西11	西12	西13	西14
实测结果(%)	123	135	134	120	121	115	121
样品编号	西15	西16	西17	西18	西19	西20	综合平均值(%)
实测结果(%)	156	122	154	147	133	125	13.16

剑麻纤维回潮率指的是纤维中水分含量的多少。据悉，剑麻纤维的干燥方式主要有日晒法和烘干法，两广地区基本以大型设备烘干纤维为主。纤维的水分含量与烘干的时间、温度、存放方式以及排麻的厚度密切相关。从表 5 和表 6 抽检试样检测情况来看，广东剑麻纤维回潮率最高为 15.5%，最低为 9.6%，综合平均回潮率为 11.6%，60%的回潮率在 11.6%以内，均值达到国家标准规定的 $\leq 13\%$ 合格指标。广西剑麻纤维回潮率最高为 15.4%，最低回潮率为 11.5%，综合平均回潮率为 13.16%，50%的回潮率在 13.16%以内，略高于国家标准规定的 $\leq 13\%$ 。

4. 剑麻纤维束纤维断裂强力

表 7 广东地区抽检剑麻纤维束纤维断裂强力技术性能检测结果

样品编号	东1	东2	东3	东4	东5	东6	东7
实测结果(N)	886	758	899	914	814	851	727
样品编号	东8	东9	东10	东11	东12	东13	东14
实测结果(N)	766	818	806	886	968	955	945
样品编号	东15	东16	东17	东18	东19	东20	综合平均值(N)
实测结果(N)	788	922	854	899	611	884	847.55

表 8 广西地区抽检剑麻纤维束纤维断裂强力技术性能检测结果

样品编号	西1	西2	西3	西4	西5	西6	西7
实测结果(N)	900	874	785	781	757	738	837
样品编号	西8	西9	西10	西11	西12	西13	西14



实测结果(N)	671	754	692	743	611	801	772
样品编号	西15	西16	西17	西18	西19	西20	综合平均值(N)
实测结果(N)	735	829	890	905	911	833	790.95

剑麻纤维的束纤维断裂强力是指剑麻纤维抵抗拉伸破坏的能力强弱程度。剑麻纤维的束纤维断裂强力高低与剑麻加工工艺过程中的处理方式（如脱胶程度、干燥方式与程度等）、剑麻纤维自身的长度和细度、纤维的品种以及存储条件有一定关系。从表 7 和表 8 抽检试样检测情况来看，广东剑麻纤维束纤维断裂强力最高为 968N，最低为 611N，综合平均束纤维断裂强力为 847.55N，35%的束纤维断裂强力在 847.55N 以内，均值达到国家标准规定的二等品（ $\geq 830\text{N}$ ）合格指标。广西剑麻纤维束纤维断裂强力最高为 911N，最低为 611N，综合平均束纤维断裂强力为 790.95N，50%的束纤维断裂强力在 790.95N 以内，均值达到国家标准规定的三等品（ $\geq 780\text{N}$ ）指标。

三、剑麻行业展望

两广地区试样的抽检检测数据结果具有多方面的重要意义。首先，它为剑麻行业纤维的发展提供了参考依据。通过抽检的数据，能够清晰地了解两广地区剑麻纤维的物理特性，包括回潮率、束纤维断裂强力等指标，从而为剑麻产业的合理布局提供参考。同时，也为资源的优化配置提供了数据支持，使资源能够更加高效地被利用。其次，为后续相关研究指明了方向。未来，可以在此基础上进一步扩大样本数量和研究范围，全方位深入探究影响剑麻纤维质量的各种因素，如加工工艺、存储条件等。通过不断努力，促进剑麻纤维产业实现高质量发展，提高剑麻纤维在市场中的竞争力。这样一来，不仅能为剑麻产业自身带来更大的经济效益，还能为相关产业创造更好的社会效益，推动整个产业链的协同发展，为经济的可持续增长贡献力量。

参考文献

- [21] [1] 陈莉莎.我国剑麻种质资源纤维强力性能研究[J].中国麻业科学, 2023,45（1）:33-40.
- [22] [2] 才红, 韦春.剑麻纤维增强聚合物的研究进展[J].绝缘材料, 2003,（5）: 50-53.
- [23] [3] 陈叶海, 陈士伟等.剑麻产业与技术发展路线图[M].中国科学技术出版社, 2023: 1.
- [24] [4] 陈河龙等.中国剑麻产业发展现状存在问题及对策[J].热带农业工程, 2023, 47（6）:18-21
- [25] [5] 侯尧华等.剑麻纤维（GB/T15031-2009）[M].中华人民共和国国家标准, 2009: 1-7.
- [26] [6] 皮连根, 莫建德.关于剑麻纤维加工抽出率的探讨[J].热带农业工程, 1999,（4）:24-26.
- [27] [7] 张文强.新型剑麻纤维烘干机的研制与应用[J].热带农业工程, 2005,（1）: 16-17
- [28] [8] 皮连根.剑麻纤维干燥技术[J].热带农业工程, 2002,（4）: 5-7



浅谈酵母在食用酒精发酵方式应用

黄立峥

广东广垦糖业集团有限公司，广东湛江 524022

摘要：本文结合作者实际工作经历，阐述了酵母在食用酒精发酵方式中的作用，针对不同生产方式及工艺流程，需要对酵母使用方式做出适当改变，使用酵母种子罐可提高并稳定酒精产量。

关键词：酵母；食用酒精；种子罐；

我曾在粤垦贝宁（国际）酒精有限公司工作九年，在徐闻三和公司（当时属于湛江农垦管辖，现归广垦糖业管辖）工作 1 年。

粤垦贝宁（国际）酒精公司是广东农垦在非洲贝宁共和国建立年产 3000m³（日产 10m³）酒精厂，以木薯为原料，生产食用酒精，徐闻三和公司是广垦糖业公司在华海公司建立年产 5 万吨酒精厂，以糖厂糖蜜为原料生产食用酒精。

1. 三和公司食用酒精发酵经验

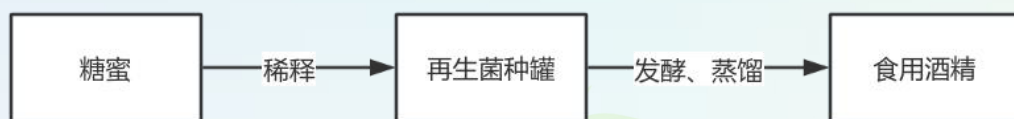


图 1 三和酒精公司生产工艺图

由于糖蜜是以还原糖直接生产食用酒精，不需液化及糖化，在第一阶段，用低浓度糖蜜去培育大量酵母，第二阶段用酵母分解糖蜜，直至酒精产生，酒精浓度达到最高时，酵母死亡，发酵结束。而酵母来源很重要，徐闻三和公司使用的是广州甘科所（现更名为广东省科学院南繁种业研究所）的再生菌种。

广州甘科所酵母菌种是用琼脂块培养并储存的，琼脂块内部有许多微小通道。这种菌种是为节省成本而生产的，原设计是将琼脂块放入低浓度糖蜜，酵母会从微小通道释放出来，从而在糖蜜中繁殖。琼脂中酵母从微小通道中释放之后，又会重新培养生产，这样就会源源不断供养酵母，道理是这样的，但在生产一段时间后（约一个月），我们发现酵母培养逐渐减缓，经显微镜检，大肠杆菌激增，酒精日产量由 200 吨降至 80 吨。

经研究分析后，我认为主要是雷州半岛的糖蜜是石灰法制糖产物，在制糖过程中，为澄清糖汁，加入大量石灰，制糖后糖蜜中含大量钙离子，在生产酒精过程中，钙离子大量堵塞琼脂通道，虽然刷洗外层，但无法清理内部，形成积垢，造成酵母无法释放。

找出原因后，往菌种罐中紧急添加“安琪牌”酵母粉，酒精日产量由 80 吨上升至 120 吨、160 吨、180 吨，但效果仍不太理想，后来因工作岗位调动，未来得及付诸实施第二步计划，甚是遗憾。

本来应该重新恢复种子罐，先把固态酵母活化后放入种子罐，培育到充足时间和浓度，这样效果能更好。

作者简介 黄立峥（1970—），男，农艺师；研究方向：热带农业产业化技术研发与应用；E-mail: 13531055928@163.com。



2. 贝宁酒精厂食用酒精发酵经验

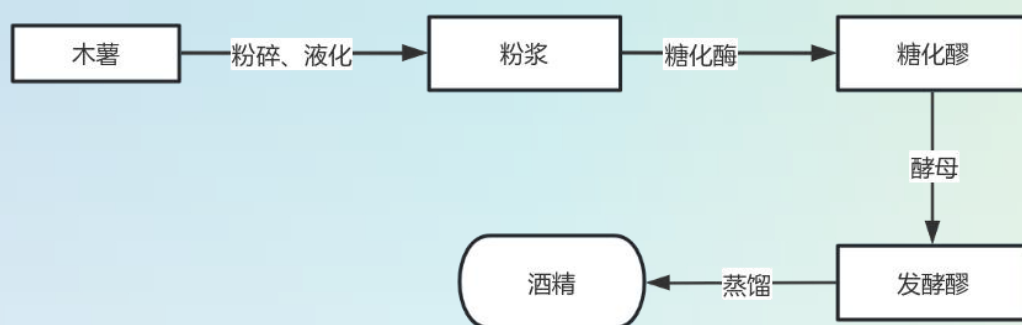


图 2 贝宁酒精厂生产工艺图

在粤垦贝宁酒精厂，使用原料为木薯，经粉碎糖化、发酵后再蒸馏，由于所在国家贫穷落后，化验设备及人才不足，所以直接使用安琪牌酵母粉，由于之前负责工艺技术的技术员擅自取消种子罐，直接将酵母倒至发酵罐，导致产量不稳定，天气适宜时，酒精产量达产 $10\text{m}^3/\text{d}$ ，不适宜时，低至 $2\text{-}3\text{m}^3/\text{d}$ 。

经查找工艺设计说明，我判定为之前取消种子罐导致，因而重新恢复种子罐（并恢复其无菌空气设备），这样菌种量大增，保证日产酒精 10m^3 ，无大起大落。

3. 讨论与结论：

从这两厂的成功摸索看，酒精生产工艺一定要依据原料特性、菌种生产方式，根据食用酒精生产工艺进行工艺调整，使工艺符合酵母最大程度分解可利用糖类，才能高产、稳产。



湛江农垦 2022—2023 年农机装备建设现状与思考

黄卓江

广东省广前糖业发展有限公司，广东湛江

摘要：本研究通过对湛江农垦农机购置补贴资金投入和农机装备现状分析，探讨了农机装备提升的内生动力、结构、资金等关键因素。研究表明：湛江农垦农机购置中央补贴 2022 年申请 10.22 万元，2023 年申请 9.57 万元，补贴农机具共 76 台；新型农机购置补贴资金 2022 年投入 190 万元，2023 年投入 200 万元。近两年广东农垦农机购置补贴金额及补贴机具数量显著增加，湛江农垦补贴农机占比 13~23%。装备结构需进一步优化，以适应现代农业发展需求。同时，资金渠道相对单一，影响农机装备升级进程。

关键词：农机装备；农业机械化；湛江农垦

Current Situation and Thoughts on the Construction of Agricultural Machinery and Equipment in Zhanjiang Nongken -

Huang Zhuojiang

Guangdong Guangqian Sugar Industry Development Co., Ltd, Zhanjiang, Guangdong, China

Abstract This study explores the key factors of endogenous motivation, structure, and funding for the enhancement of agricultural machinery and equipment through the analysis of Zhanjiang Nongken's agricultural machinery purchase subsidy capital investment and the current situation of agricultural machinery and equipment. The results of the study show that: the central subsidy for the purchase of agricultural machinery in Zhanjiang Farm Reclamation applied for , yuan in and , yuan in , subsidizing a total of sets of agricultural machinery; the purchase subsidy funds for the purchase of new types of agricultural machinery were invested in with . million yuan and in with million yuan. In the past two years, the amount of subsidies for the purchase of agricultural machinery and the number of subsidized machinery in Guangdong agricultural reclamation has increased significantly, and subsidized agricultural machinery in Zhanjiang agricultural reclamation accounted for ~%. The equipment structure needs to be further optimized to meet the needs of modern agricultural development. At the same time, the funding channels are relatively single, affecting the process of upgrading agricultural machinery and equipment.

Key words Agricultural machinery equipment; agricultural; zhanjiang nongken

为深入学习贯彻习近平总书记重要指示精神，落实党中央、国务院部署要求，加力推进农机装备补短板和农业机械稳链强链工作走深走实，为全面推进乡村振兴、加快建设农业强国提供有力的装备支撑^[1]。农业农村部、工业和信息化部提出，科技需要装备来支撑。农业就是耕地、种子两个要害，农机是一个支撑。现代农业的关键是农机装备，智慧农业、数字农业、设施农业、基础设施等发展都是需要靠农机装备才能实现，农机装备是现代农业的关键基础。广东农垦以现代农业的引领者的定位，以成为世界一流的现代农业企业的愿景，不

作者简介 黄卓江，男，硕士研究生，专业：资源利用与植物保护，E-mail: zjnkj07@126.com。

断加快推进垦区农业机械化转型升级，而湛江农垦坐落在雷州半岛广袤辽阔的红土地上，产业多元，具有相对优越的农机作业条件。下面将从近两年广东农垦农机补贴工作视角切入，了解湛江农垦农机装备建设现状，并引出农机工作的下一步思考。



基本情况

目前，广东农垦推进垦区农机装备资金来源主要有 2 个，均为中央财政资金。一是农业生产发展资金（农机购置补贴）项目，通过购买国家补贴产品目录上的农机，购机者（垦区单位或职工）可申请目录规定的补贴金额，一般约为农机价格的 30%；二是广东垦区社会公益性事务专项经费（新型农机具购置补贴）项目，各单位以项目形式申报，数量和金额不设限制，单位配套资金不作要求，总局根据申报评定分配资金。

一、一年农机购置补贴

.. 补贴金额

2022—2023 年广东农垦申请农机购置补贴的二级单位主要有湛江农垦、广垦糖业和广垦农发 3 个单位。如图 1，根据广东省农垦总局农机购置与应用补贴申请办理服务系统(2021-2023)统计数据，广东农垦 2022 年农机购置补贴申请 53.1 万元，2023 年申请 103.06 万元，补贴申请合计 156.16 万元，购机总额 460.87 万元，补贴比例约 33%。中央补贴稳步增长，2023 年涨幅为 94.09%。

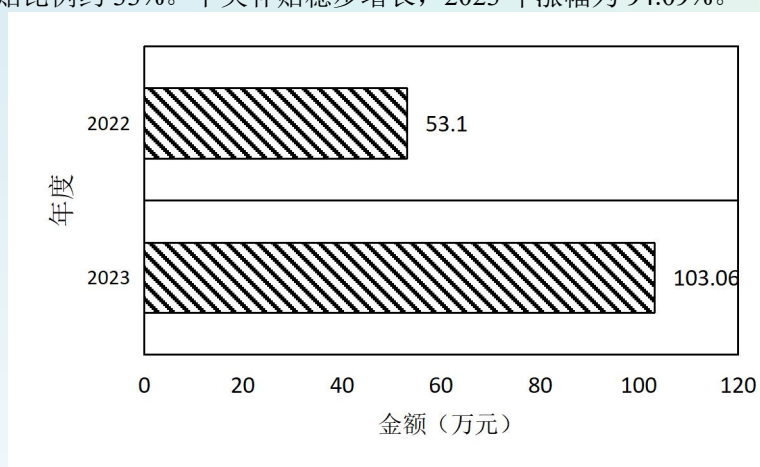


图 广东农垦一年农机购置中央补贴申请金额

Fig. Amount of central subsidy application for the purchase of agricultural machinery in Guangdong Nongken, -

如图 2，湛江农垦 2022 年农机购置中央补贴申请 10.22 万元，2023 年申请 9.57 万元，两年补贴申请合计 19.79 万元，购机总额达 60.68 万元。另外，湛江农垦近两年补贴申请总额占广东农垦 2022-2023 两年补贴申请总额的 13%。

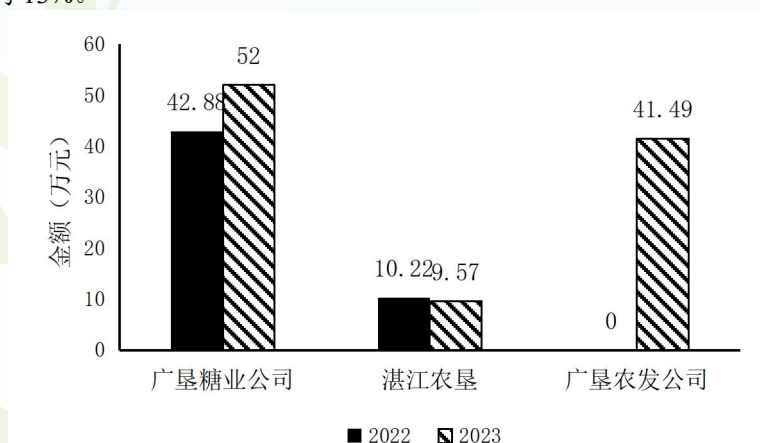


图 广东农垦一年二级单位农机购置中央补贴申请金额

Fig. Amount of central subsidy application for the purchase of agricultural machinery by secondary units in Guangdong Nongken, -

.. 补贴机具



如图 3，2022—2023 年广东农垦申请农机购置补贴的农机具共 76 台，机具大类主要有“种植施肥机械”“收获机械”“田间监测和作业监控设备”“田间管理机械”“农用动力机械”和“耕整地机械”六大类。“种植施肥机械”申请补贴数量最高、补贴总金额最高，达 31 台、121.38 万元，平均补贴约 3.9 万元/台，主要是根（块）茎种子播种机-双行甘蔗联合种植机。“农用动力机械”申请补贴数量最少，为 3 台，平均补贴约 1.5 万元/台，主要是四轮驱动拖拉机。“耕整地机械”申请补贴金额最少，为 1.08 万元，主要是旋耕机和微耕机。

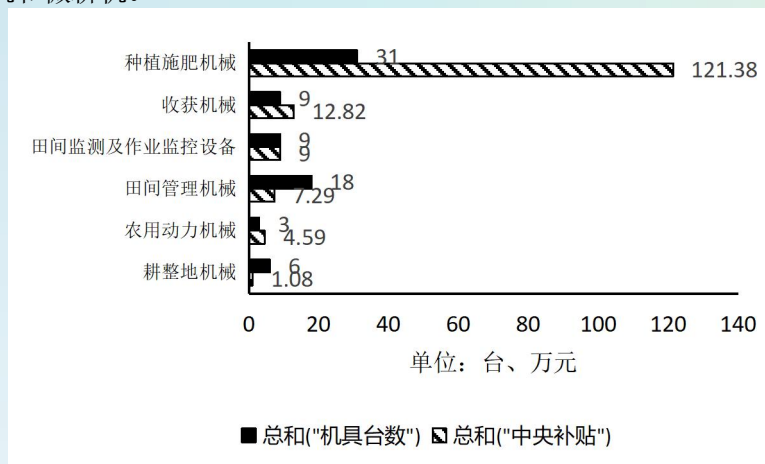


图 广东农垦一年各类农机补贴申请数量和金额

Fig. Number and amount of subsidy applications for various types of agricultural machinery in Guangdong Nongken, -

如图 4，2022—2023 年广东农垦各二级单位申请农机购置补贴的农机具数量分别是湛江农垦 32 台，广垦糖业 25 台，广垦农发 19 台。2022—2023 年广东农垦补贴农机总功率达 2990.6kW，各二级单位补贴农机总功率分别是广垦糖业 2028.6kW，广垦农发 635.8kW，湛江农垦 326.2kW。

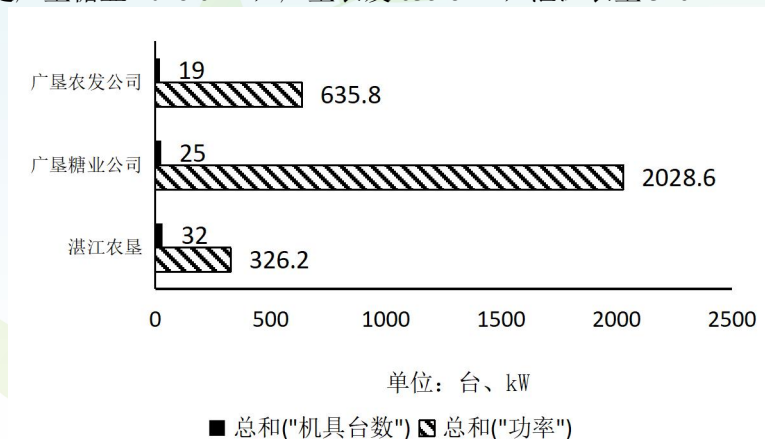


图 广东农垦一年二级单位申请补贴农机数量和总动力

Fig. Number and total power of subsidized farm machinery applied for by secondary units of the Guangdong Farmers' Reclamation, -

.. 湛江农垦

如图 5，2022—2023 年，湛江农垦主要有三个单位申请农机购置补贴，分别是现代农业公司、南华农场、火炬农场。现代农业公司补贴申请机具台数 22 台，中央补贴申请 4.12 万元，农机总功率 24.8kW，补贴机具品目主要是微型耕耘机、修剪机、喷雾机、叶类采收机和辅助驾驶（系统）设备。南华农场机具台数 5 台，中央补贴申请 14.57 万元，农机总功率 301.4kW，补贴机具品目主要是根（块）茎种子播种机、喷雾机和辅助驾驶（系统）设备。火炬农场机具台数 5 台，中央补贴申请 1.1 万元，农机总功率 0 kW，补贴机具品目主要是旋耕机和秸秆粉碎还田机。

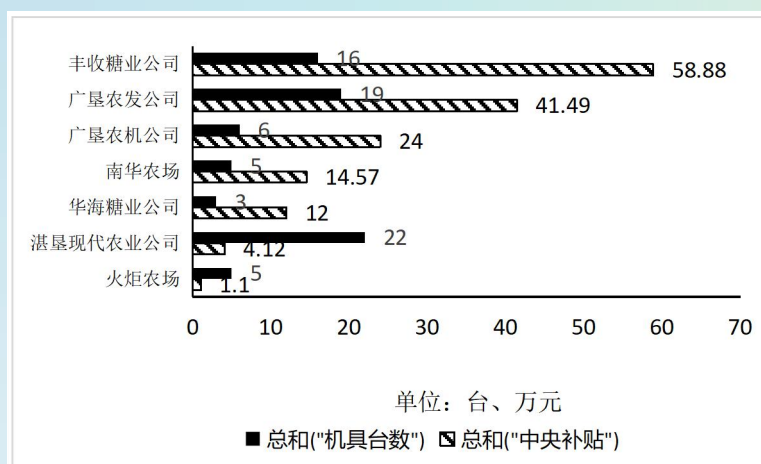


图 5 广东农垦 2022—2023 年各单位申请补贴农机数量和金额

Fig. 5 Number and amount of subsidized agricultural machinery applied for by each unit of Guangdong Land Reclamation in 2022-2023

． 一年新型农机购置补贴

2022 年广东农垦新型农机购置补贴资金一共 1252 万元，主要用于购置甘蔗生产农机具 13 台套，水果生产农机具 19 台套，剑麻生产和初加工新型农机具 12 台套，蛋鸡养殖场生产新型农机具 1 台套，橡胶生产农机具 355 台套，油茶大田生产新型农机具 2 台套，南药等林下作物生产新型农机具 144 台套，南药切片设备 1 台套，生猪养殖防疫设备 43 台套，粮油加工设备 3 台套，共 611 台套。其中，湛江农垦新型农机购置补贴资金 190 万元，占总额 15.18%。分别是南华农场用于甘蔗生产 80 万元，剑麻集团用于剑麻加工生产 60 万元，长山农场用于生产运输 25 万元，黎明农场用于胶园田管 25 万元。

2023 年广东农垦新型农机购置补贴资金一共 851 万元，主要购置南药育苗、生产和初加工农机具 115 台套，购置胶园生产管护和初加工农机具 524 台，购置果蔬育苗生产农机具 75 台套，甘蔗生产和监控设备平台等 67 台套，蔬菜工厂和冷链运输设备 46 台套，共 827 台套。其中，湛江农垦新型农机购置补贴资金 200 万元，占总额 23.5%。分别是东升农场用于生产运输 20 万元，东方红农场用于蔬菜生产 60 万元，湛江科研所用于育苗科研 100 万元。

现状分析与结论

． 农机装备提升的内生动力不足，方向不够具体明确

从近两年的农机购置补贴资金申请情况来看，湛江农垦申请补贴总额相对较低。由于农机购置补贴仅涵盖农机购置价格的一部分（通常约为 30%），剩余部分需由企业或职工承担，使得湛江垦区职工在购置农机时面临较重的经济负担，购机意愿不强。此外，由于缺乏充分的必要应用场景，湛江垦区单位并无必要选择此方式购置农机。相较之下，全额补贴的新型农机购置补贴更具吸引力。

近两年，广垦糖业公司和广垦农发公司的农机购置补贴申请金额高于湛江农垦，原因在于这两家公司明确了农机装备提升的方向，即为甘蔗和水稻生产提供社会化服务，从而持续释放农机装备提升的需求。

以上数据现象在一定程度上反映出，湛江农垦在单位和职工层面，农机装备购买意愿较弱，农机应用场景的开发不够充分。这导致农机装备提升的内生动力不足，以及农机装备提升方向的不够清晰。

． 倾向辅助、轻量化农机装备，侧重动力农机智慧升级

从农机购置补贴农机具申请数量和总动力的数据来看，近两年来，相较于广垦糖业和广垦农发公司，湛江农垦的购机数量居首，但农机具总动力却最低。广垦糖业和广垦农发公司近两年主要采购的是动力型农机，大力推动了人力替代。而湛江农垦则主要采购了微型耕耘机、修剪机、喷雾机、叶类采收机以及辅助驾驶（系统）设备等辅助性和轻量化的农机装备。以南华农场采购北斗导航辅助系统的案例为例，



该系统使种植机械种植的甘蔗更加整齐，土地资源得到了充分利用，进而提高效益。这一现象在一定程度上反映出三家单位在农业机械化发展上的差异化，即近两年湛江农垦更倾向于采购辅助性和轻量化的农机装备，侧重于动力农机的智慧升级。

· 农机装备提升资金渠道单一，农机购置补贴申请缺位

在分析新型农机购置补贴资金分配状况后，我们发现该资金面向广东农垦全体生产单位，主要用以购置各类农业生产所需的农机设备，涵盖甘蔗、水果、剑麻、蛋鸡、橡胶、油茶、南药等生产领域，旨在推动广东农垦农业产业的专业化和规模化发展。湛江农垦在新型农机购置补贴中占据较大份额，反映出其在农业生产中具有较高的机械化需求和投入能力，并在农业现代化进程中取得了积极成果。然而，受限于新型农机购置补贴资金规模，其难以满足湛江农垦各单位农机装备建设的全面需求。此外，未分配到新型农机购置补贴资金的湛江农垦单位，也未充分利用申请农机购置补贴的途径来发展农机装备建设。因此，农机装备提升的资金来源渠道相对单一，且农机购置补贴的申请存在缺位。

下一步工作思路

· 加强农机装备提升的引导

针对农机购置补贴申请总额较低的问题，建议加强对农机装备提升的内生动力和方向的研究，出台更多有利于农机装备购置和应用的政策措施。同时，鼓励湛江农垦各单位根据自身农业生产需求，加强对农机应用场景的开发和推广，增强装备农机内生动力^[2]。此外，引导职工参与农机装备提升，以提高农机购置意愿。

· 推动农机装备结构优化升级

应在保障农业生产需求的前提下，加大对动力型农机的购置力度，推动农业机械化向高质量、高效益方向发展。同时，继续优化辅助性和轻量化农机装备的采购结构，提高农机装备的智能化水平，以提高农业生产效率^[3]。

· 拓宽农机装备提升资金渠道

积极争取各级政府、金融机构和社会资本的支持，拓宽农机装备提升的资金来源^[4]。此外，要充分利用农机购置补贴政策，目前广东农垦农机购置补贴资金配置远少于其他省份，有较大增长空间，鼓励各单位按需申请农机购置补贴，以促进农机装备的全面发展。

· 加强农机技术培训和人才培养

加大农机技术培训力度，提高职工的农机操作技能，确保农机装备得到充分利用。同时，加强农机人才培养，引进先进农机技术和管理经验，为农机装备提升提供有力支撑^[5]。

· 加强农机装备提升与合作共赢

加强与农机制造商、科研院所的合作，共同推动农机装备创新和技术研发^[6]。同时，探索与其他农垦单位、农业企业等合作，实现农机装备资源共享，降低购置成本，提高农机装备利用效率。

最后，湛江农垦农机装备提升仍面临诸多挑战，但同时也拥有巨大的发展潜力。通过立足现状，明确发展方向，创新政策举措，加强合作共赢，持续推动农机装备提升，助力农业现代化进程。

参考文献

- [1] 全国农机装备补短板暨农机稳链强链工作会议召开[J]. 农机科技推广, (0): +.
- [2] 农机装备补短板加力推进[J]. 农机质量与监督, (0): .
- [3] 李庆敏. 农业新业态下国内外智能农机装备的发展现状分析[J]. 中国农机监理, (0): -.
- [4] 叶子繁. 农业强国背景下普惠金融对农业科技进步的影响研究[J]. 现代金融, (0): +.
- [5] 张 鉴. 加强农机技术人才培养探讨[J]. 福建农业, (0): -.
- [6] 王锋德, 李斯华, 肖俊华. 我国农机装备产业现状及发展建议[J]. 中国农机装备, (0): -.



入榨甘蔗品种配置对糖厂产糖率影响

黄立峰

广东广垦糖业集团有限公司，广东湛江 524022

摘要：本文通过探究 2023/2024 年榨季，广垦糖业集团旗下调丰、华丰糖厂不同时段进蔗主要品种比例与产糖率变化关系，通过分析不同时段进蔗主要品种及其糖分变化规律与糖厂产糖率的关系，表明糖厂不同时期段产糖率与该时间段主要压榨甘蔗品种密切相关，糖厂提高产糖率的关键在于调整蔗区甘蔗品种结构及实现甘蔗成熟期高糖高榨。

关键词：产糖率；进蔗比例；高糖高榨；

长期以来，压榨高糖甘蔗是提高糖厂产糖率的关键，制糖厂通过对甘蔗采用不同品种不同价格的收购策略，将高糖甘蔗品种收购价格提高来引导广大蔗农种植高糖甘蔗品种。然而每年的榨季长达 100 天以上，高糖甘蔗品种又因为熟期不同，在整个榨季期间并非一直保持高糖，本文通过对 2023/2024 年榨季广东广垦糖业集团下属调丰、华丰两个制糖厂进蔗品种比例的情况来探究甘蔗品种、入榨时间和产糖率的关系。

1. 调丰糖厂进蔗品种比例与产糖率关系

表 1 调丰糖厂产糖率与进蔗品种比例变化情况

甘蔗品种进蔗比例	12.16-12.31	1.1-1.15	1.16-1.31	2.1-2.15	2.16-2.29	3.1-3.15	3.16-3.31
桂糖 55	49.9%	50.8%	52.4%	60.2%	61.7%	61.7%	65.9%
桂柳 05-136	20.6%	15.4%	15.1%	13.8%	12.7%	14.0%	14.1%
桂糖 42	20.9%	15.7%	16.5%	11.4%	9.0%	7.5%	4.4%
新台糖 22	4.2%	13.8%	9.4%	5.6%	4.9%	2.8%	2.0%
其他	4.4%	4.3%	6.6%	8.9%	11.7%	14.0%	13.6%
调丰糖厂产糖率%	9.70	9.55	9.89	9.52	9.68	9.56	9.08
桂糖 55 蔗糖分%	11.49	11.45	12.29	13.72	13.35	13.08	13.10

注：桂糖 55 蔗糖分为该日期段田间取样测得

作者简介 黄立峰 (1970—)，男，农艺师；研究方向：热带农业产业化技术研发与应用；E-mail: 13531055928@163.com。

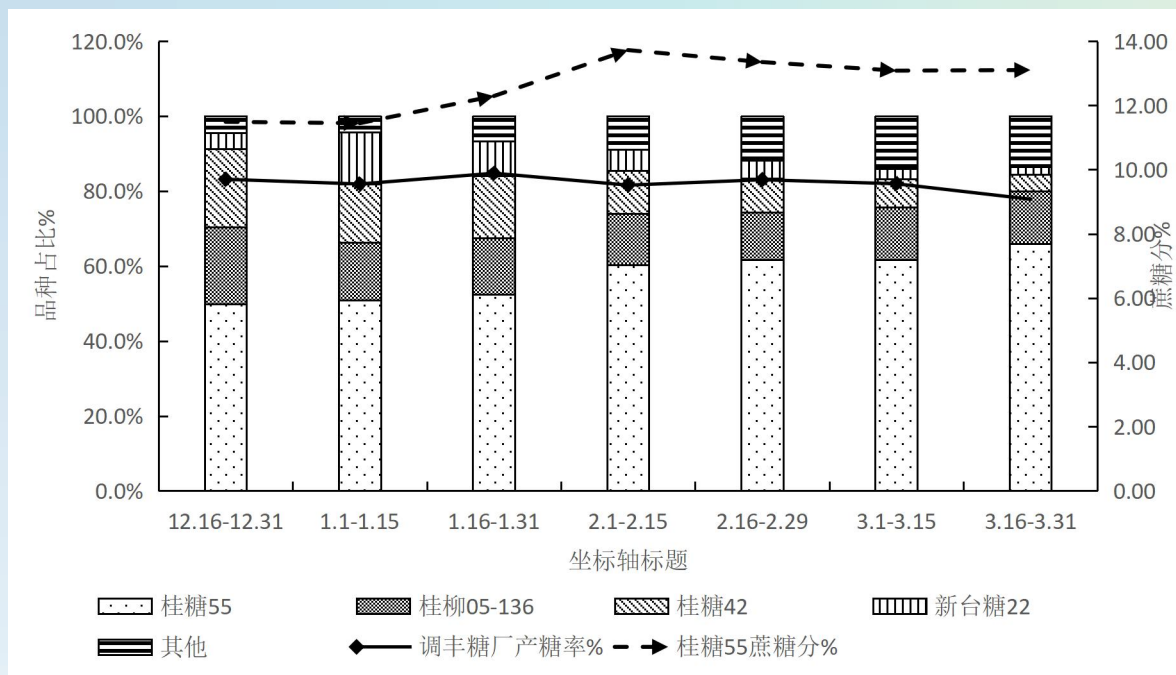


图 1 调丰糖厂产糖率与进蔗品种比例变化情况

结合表 1 和图 1 可以看出，2023/2024 年榨季，各日期段调丰糖厂进蔗品种中桂糖 55 占比超 50% 以上，榨季后期 3 月份甚至超过 60%，由此可以肯定榨季期间调丰糖厂产糖率与桂糖 55 蔗糖分变化有极大关系。

结合图 1 可以看出，桂糖 55 蔗糖分在 2 月上旬达到最高 13.72%，随后缓慢下降，而调丰糖厂产糖率在 1 月下旬达到最高 9.89%，2 月上中旬因春节停榨因素导致产糖率受一定影响，2 月中下旬及以后随着桂糖 55 糖分下降，整体产糖率也随之向下波动。

2. 华丰糖厂进蔗品种比例与产糖率关系

表 2 华丰糖厂产糖率与进蔗品种比例变化情况

回皮时间	12.16-12.31	1.1-1.15	1.16-1.31	2.1-2.15	2.16-2.29	3.1-3.15	3.16-3.31
桂柳 05-136	74.3%	70.8%	73.4%	69.2%	71.9%	73.7%	70.7%
桂糖 55	8.7%	13.0%	10.6%	9.3%	10.0%	9.9%	14.8%
桂糖 42	8.9%	8.1%	8.0%	11.1%	9.3%	5.7%	6.2%
其他	8.0%	8.1%	8.0%	10.4%	8.8%	10.7%	8.3%
华丰产糖率%	9.13	9.15	9.65	9.47	9.73	9.83	9.86
桂柳 05-136 蔗糖分%	11.82	12.91	13.25	13.33	13.72	14.08	*数据缺失

注：桂柳 05-136 蔗糖分为该日期段田间取样测得

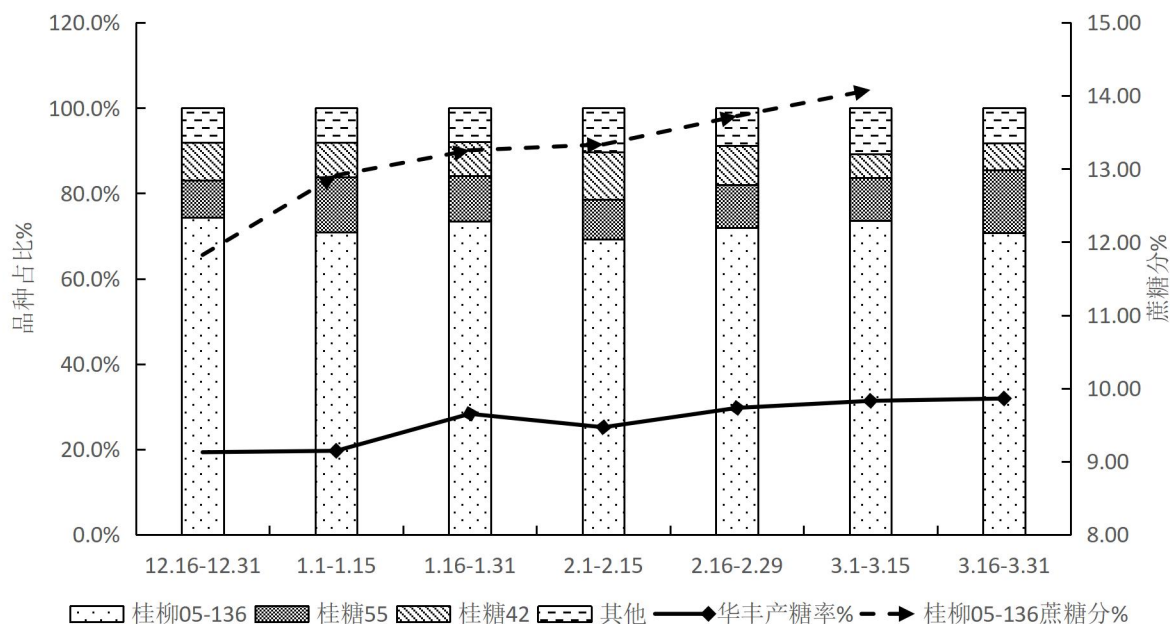


图2 华丰糖厂产糖率与进蔗品种比例变化情况

据表2可知，2023/2024年榨季，华丰糖厂进蔗比例中，桂柳05-136占比达70%以上，剩余桂糖55、桂糖42占比10%左右，三个品种合计占比达90%以上，桂柳05-136的蔗糖分变化对华丰糖厂的产糖率具有重要影响。

由图2可知，桂柳05-136的蔗糖分在整个榨季期间呈现缓慢上升态势，由12月中下旬的11.8%持续上升至3月上旬的14.1%，而华丰糖厂的产糖率也呈现出与桂柳05-136的蔗糖分变化相同的趋势，除2月上中旬受春节停榨影响产糖率有所下降外，在整个榨季期间产糖率呈现缓慢且持续的上升。

3. 讨论与结论

从调丰、华丰糖厂进蔗品种比例与产糖率变化关系可以看出，糖厂产糖率变化跟主要榨蔗品种关系密切，目前两个糖厂主要榨蔗品种桂糖55及桂柳05-136均为加价收购甘蔗品种，虽然已经通过加价来引导广大蔗农进行种植，但是品种的种植面积比例和采收时间仍有改进的空间。

桂糖55为早中熟品种，桂柳05-136中晚熟品种，由于两个品种在两个糖厂蔗区种植比例过高，从榨季开始至榨季结束均在砍收。桂糖55在进入3月份后出现退糖，导致调丰糖厂产糖率受影响降低。而桂柳05-136在刚开榨时未完全成熟就进行砍收，未实现甘蔗的高糖期高榨。

此外，单一品种在蔗区种植面积比例过高可能对糖厂造成很大的风险敞口，从实际种植经验来看，桂糖55在湛江地区种植的抗旱能力稍弱，如果在甘蔗拔节期遇上连续干旱天气会导致桂糖55减产，甚至绝收，进而导致糖厂原料蔗不足。

为规避以上情况的发生，建议糖厂一是引导调整蔗区早中晚熟甘蔗品种合理比例，建议早、中、晚熟品种面积按照3:5:2或4:4:1比例进行引导，增强蔗农及糖厂抗风险能力。二是在收获环节，采用不同甘蔗品种不同时期进厂不同收购价策略，通过差异化引导实现甘蔗早熟早砍、晚熟晚砍，高糖期收获进厂压榨。



First Report of Leaf Spot Disease on Avocado Caused by *Bipolaris setariae* in China

X. Y. Wang, D. J. Tan*, X. H. Tang, D. Y. Xu, Y. C. Lu, Z. Q. Yang, and T. Jiang

Guangxi Academy of Agricultural Sciences Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Chongzuo, China
Funding: Funding was provided by the Guangxi Natural Science Foundation Program GXNSFBA, Guangxi Academy of Agricultural Sciences Stable Funding Research Team Project YT, and Science and Technology Development Fund Project of Guangxi Academy of Agricultural Sciences ZX.

*Corresponding author: D. J. Tan; E-mail: tandejin@.com

Avocado (*Persea americana*), which is native to Latin America, is mostly planted in southwest China. In November, leaf spot symptoms were observed in a nursery in Chongzuo (°N, °E), Guangxi, China. Approximately % of avocado seedlings in the nursery were affected. Symptomatic fully expanded leaves showed small brown spots that ranged from to mm, surrounded by a yellow halo. Lesions gradually expanded and became nearly round and dark brown. Finally, leaves withered or curled. For pathogen isolation, symptomatic leaves were randomly sampled from different plants of the nursery, five leaves were selected, and four × mm tissue pieces were cut from each leaf and were plated on potato glucose agar. Identical fungal colonies were observed in % of the samples, and no bacteria were isolated. The single-conidial isolation was performed. After days, the colony diameter reached . mm, and colonies appeared gray and developed aerial hyphae. Conidiophores were mostly solitary, with a few clustered erect or slightly curved conidiophores, and were knee shaped and . to . μm wide. Conidia were . to . × . to . μm, slightly curved, rarely straight, light brown to yellowish brown, fusoid or navicular, and truncated at the base with to septa. Based on the morphological and cultural characteristics, the fungus was identified as *Bipolaris sp.* (Manamgoda et al.). An isolate named MP was grown on Sachs' agar at °C under a -h/-h light/dark cycle for week, and consistent with Adhikari et al. (), no sexual form was observed. To confirm the tentative identification, genomic DNA was extracted, and internal transcribed spacer (ITS) and glyceraldehyde--phosphate dehydrogenase (GAPDH) genes were amplified and sequenced using the primers ITS/ITS and GPD/GPD, respectively (Tan et al.). The ITS sequence (GenBank ON) shared % identity with *Bipolaris setariae* (MN.), and the GAPDH sequence (ON) shared .% identity with *B. setariae* (MF. and MK.) and *B. yamadae* (MK.) . A maximum-likelihood phylogenetic analysis based on GAPDH and ITS sequences using MEGA . revealed that the isolate clustered with *B. setariae* with % bootstrap support. Healthy -month-old potted avocado seedlings from disease-free nursery were selected, and the conidial suspension (× conidia/ mL) of the MP isolate was prepared by harvesting conidia from a -day-old culture on water agar. Conidia were sprayed onto young leaves of six potted plants. Three additional seedlings sprayed with sterile distilled water served as controls. All plants were covered with plastic bags for days to maintain high humidity and then maintained in a greenhouse at °C with a -h/-h light/dark cycle. After days, typical symptoms of small brown spots were observed on all inoculated leaves. All leaves on control plants remained asymptomatic. The reisolated fungus was morphologically identical to the original isolate used for inoculation, thus fulfilling Koch' s postulates. This is the first report of *B. setariae* as a pathogen causing leaf spot on avocado in China. This information will facilitate further studies on monitoring and control of the disease as accurate identification of the causal agent is a primary requisite for designing management strategies.

Reference

A. Adhikari, et al. . Plant Disease, (), .

<https://doi.org/.PDIS---PDN>

D.S. Manamgoda, et al. . Studies in Mycology, (), -().

<https://doi.org/.j.simyco...>



M. Tan, et al. . Plant Disease, (), .

<https://doi.org/./PDIS----PDN>



Fig.Symptoms of *Bipolaris setariae* leaf spot on avocado

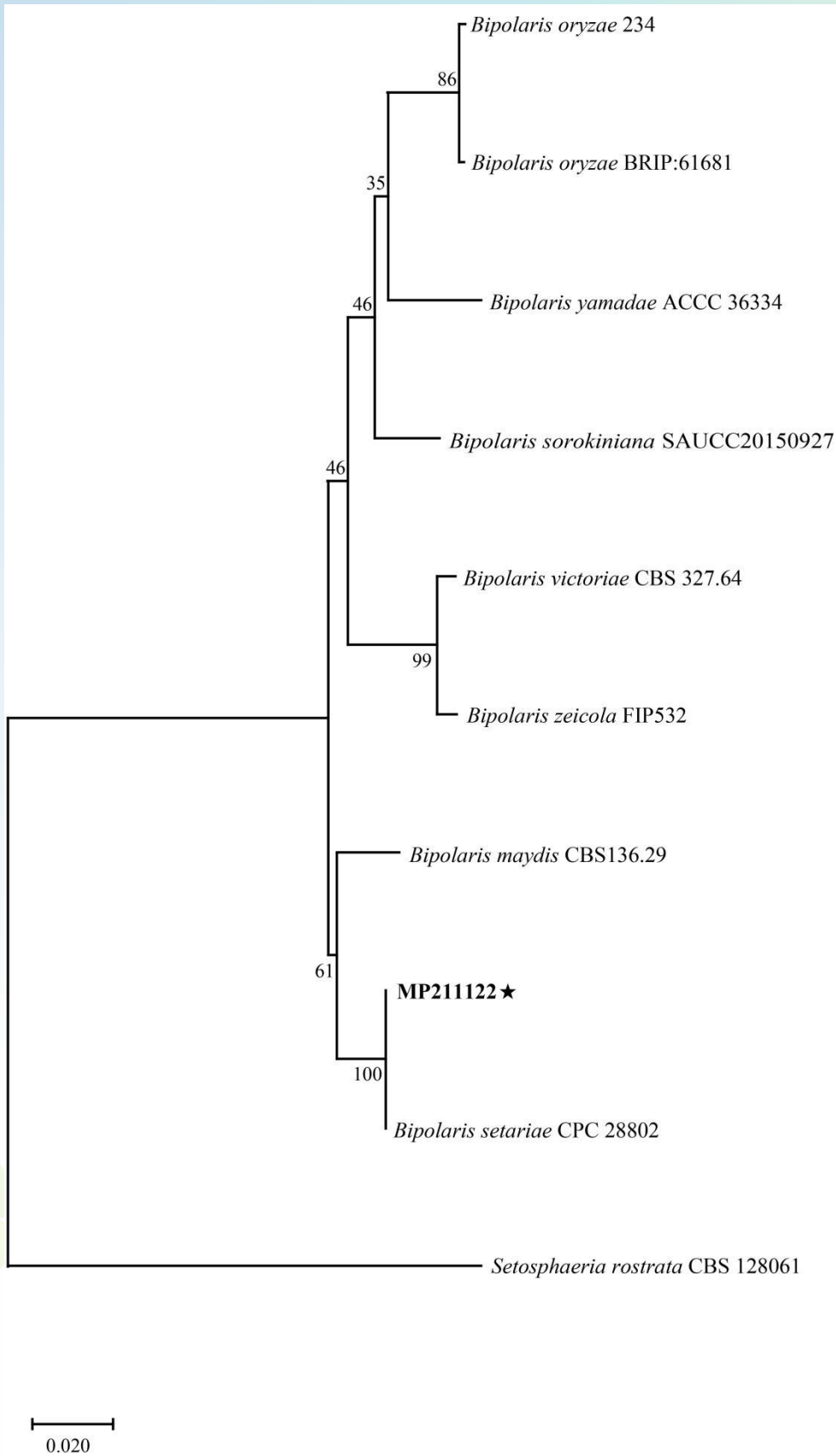


Fig. Phylogenetic tree of the strain MP based on GAPDH-ITS sequences using maximum-likelihood method



Fig. Pathogenicity testing of *Bipolaris setariae* leaf spot on avocado



基于双因素方差分析探究覆膜和施肥对甘蔗出苗的影响

冯学娟⁴, 杨江波², 经福林¹, 张曼其¹, 陈士伟¹, 刘伟清¹, 庞生¹, 吴刃¹

1 广东省湛江农垦科学研究所, 广东湛江, 524086;

2 广东农垦热带农业研究院有限公司, 广东广州, 511365

摘要: 通过设计覆膜和施肥两种处理探究双因素对甘蔗出苗的影响。结果表明, 覆膜和施肥均能够促进甘蔗出苗, 在不同施肥水平下, 两次调查结果均显示露膜 10 cm 处理出苗数最多, 而覆膜后再将泥土全覆盖上层将降低出苗数。在不同的覆膜处理下, 两次调查结果均显示三个施肥水平中, 1890 kg/ha 水平下甘蔗出苗数最多。覆膜和施肥的交互效应显示, 相对于不同施肥水平, 覆膜对甘蔗出苗的影响更大。

关键词: 甘蔗; 覆膜; 施肥; 双因素; 方差分析

Effects of Plastic Film Mulching and Fertilization on Sugarcane

Emergence Based on Two-factor Analysis of Variance

FENG Xuejuan¹, YANG Jiangbo², JING Fulin¹, ZHANG Manqi¹, CHEN Shiwei¹, LIU Weiqing¹, PANG Sheng¹, WU Ren¹, TIAN Xiahong¹

1. Science Research Institute of Zhanjiang State Farms of Guangdong, Zhanjiang, 524086, Guangdong;

2. Guangdong Agribusiness Tropical Agriculture Institute Co., Ltd., Guangzhou, 511365, Guangdong

Abstract: By designing two treatments that include plastic film mulching and fertilization to explore the effects of two factors on sugarcane emergence. The results showed that both mulching and fertilization could promote the emergence of sugarcane seedlings, and the results of the two surveys showed that the number of seedlings was the highest in the 10 cm treatment with open film under different fertilization levels, and the number of seedlings would be reduced when the soil was covered with the upper layer after mulching. Under different mulching treatments, the results of the two surveys showed that among the three fertilization levels, the number of seedlings emerged was the highest at the 1890 kg/ha level. The interaction effect of mulching and fertilization showed that mulching had a greater effect on sugarcane emergence than different fertilization levels.

Keywords: Sugarcane; plastic film mulching; fertilization; two-factor; analysis of variance

甘蔗是我国重要的糖料作物, 也是我国战略物资之一^[1], 在我国广东、广西、海南、福建、云南等地广泛种植, 这些地区往往水汽条件充沛, 具备甘蔗生产的良好条件, 但近年来极端天气频发, 甘蔗出苗时期常出现干旱少雨情况, 严重影响甘蔗的发芽和生长^[2]。甘蔗作为长周期生长作物, 具有生物量大、养分需求量高的特点^[3]。在早期的甘蔗生产过程中, 为拿到更多的产量, 部分地区存在过量施用化肥而极少施用有机肥, 日积月累, 出现土壤板结、肥料利用率低、养分随雨水冲刷流失严重等阻碍甘蔗可持续发展的现象^[4]。近年来, 随着测土配方施肥技术的普及以及肥料工业的进步, 越来越多的作物专用肥料出现在市场, 甘蔗专用肥的施用既能提高甘蔗养分吸收效率, 又能降低施用成本, 达到增产增收的目的^[5]。

根据前人研究发现, 与露地栽培相比, 覆盖栽培对甘蔗发芽、分蘖、后期生长有明显的促进作用, 解放前后广东省徐闻县农民就有用甘蔗叶、稻草等覆盖种植的习惯。虽然用此类覆盖能够起到促进甘蔗生长的作用, 但由于提供了良好的越冬场所, 会增加病虫害发生的机率^[6]。随着我国工业经济发展, 地膜覆盖技术的使用越发成熟^[7]。地膜种蔗能够大大提高产量和经济效益^[8], 并且降低病虫害发生,

基金项目 广东农垦 2024 年耕地建设与利用资金项目 (NO. 102125231650020230002)

作者简介 冯学娟 (1971—), 女, 农艺师, 主要从事土壤肥料研究。Email: 892308299@qq.com



是一种适合大面积推广的种植技术。

本研究针对地膜栽培技术和甘蔗专用肥的施用，进行两种因素 6 个水平的交叉试验，分析其对甘蔗出苗的影响，为甘蔗生产提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2022 年 2 月~5 月进行，地点设在广东省湛江市麻章区广东省湛江农垦科学研究所实验基地。供试甘蔗品种为桂糖 55 号，种苗为本单位自育，健康、长势一致；供试地膜为聚乙烯吹塑薄膜，博白县三冠塑料有限公司生产，规格 350 mm×0.01 mm；供试肥料为甘蔗专用有机肥，广东省丰收糖业发展有限公司复肥厂生产，肥料基本性质：有机质 15.82%、pH 值 6.8、氮 10.12%、磷（ P_2O_5 ）12.21%、钾（ K_2O ）8.11%、含水量 14.67%。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验设置覆膜和施肥两个因素。覆膜因素（A）分三个水平，分别为：全覆盖（A1）、露膜 5 cm（A2）、露膜 10 cm（A3），全覆盖指甘蔗播种后先覆盖地膜，再用泥土全部覆盖不留空白，露膜 5 cm、露膜 10 cm 分别指播种后先用地膜覆盖种苗，再将泥土覆盖地膜，接着以种苗为中线左右两边拨开泥土分别露出地膜 2.5 cm、5 cm；施肥因素（B）分三个水平：分别为：900 kg/ha（B1）、1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）。试验设计详见表 1。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

因素 Factor	B1	B2	B3
A1	A1 B1	A1 B2	A1 B3
A2	A2 B1	A2 B2	A2 B3
A3	A3 B1	A3 B2	A3 B3

试验地块在播种前全面翻耕 1 次，翻耕深度 20 cm，充分去除碎石、前茬作物残留物及其他与试验无关的垃圾等。为方便地膜覆盖，采取行式随机区组设计，详见图 1。每种组合均设 3 次重复，共 27 个小区，每个小区长 100 cm、宽 35 cm，小区之间设置 20 cm 缓冲带，播种前按提前标注的组合施肥，将肥料与土壤充分拌匀后平铺在小区内，厚度约 10 cm，每小区播种仅 1 行，播种 5 个，间距相等，播种后浇水，每小区用水量一致，以浇透且无积水为宜，随即按要求覆膜和盖土。播种后仅做日常除草工作，除遇极端干旱天气，否则不再浇水。

分别于播种后 45d、90d 调查甘蔗出苗数量并记录。

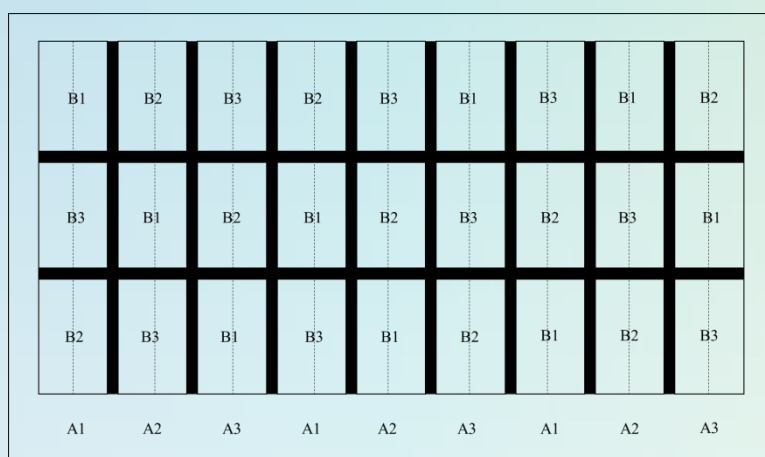


图 1 试验区组设计

Fig. 1 Experimental block design

1.2.2 方差分析

获得数据后构造检验统计量并进行各离差平方和求解，分别为：覆膜因素（A）的离差平方和（ SS_A ），反映覆膜程度对甘蔗出芽数量的影响；施肥因素（B）的离差平方和（ SS_B ），反映施肥水平对甘蔗出芽数量的影响； SS_{AB} 表示覆膜和施肥两种因素的交互效应引起的离差； SS_E 为误差平方和，由随机因素引起的离差，反映试验误差对试验指标的影响； SS_T 为总离差平方和，其各自计算公式为：

$$SS_A = n_a \sum_{i=1}^{n_a} (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

$$SS_B = n_b \sum_{j=1}^{n_b} (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

$$SS_E = \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

式中， $\bar{X}$ 为全部观测值的总均值， $\bar{X}_i$ 为覆膜因素（A）在不同水平的平均值， $\bar{X}_j$ 为施肥因素（B）在不同水平的平均值， X_{ij} 为第 i 个水平的第 j 个观测值。若覆膜因素（A）与施肥因素（B）存在交互性，则 SS_{AB} 为 SS_T 与 SS_A 、 SS_B 、 SS_E 之差。

为消除观测值数目对误差平方和计算结果的影响，需要用各平方和计算结果除以它们各自所对应的自由度，即为均方。其各自的自由度分别为 f_A 、 f_B 、 f_{AB} 、 f_E 、 f_T 。统计理论也已经证明，组间均方与组内均方之比是服从 F 分布的，为方便查看和分析结果，其各数据值可用表格形式给出，见表 2。

表 2 方差分析结果

Fig. 2 Anova result

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值
source of variation	quadratic sum	degree of freedom	mean sum of square	F value
因素 A				
Factor A	SS_A	df_A	$MS_A=SS_A/df_A$	$F_A=MS_A/MS_E$

续表



方差来源	平方和	自由度	均方和	Continued table F 值
source of variation	quadratic sum	degree of freedom	mean sum of square	F value
因素 B				
Factor B	SS_B	df_B	$MS_B=SS_B/df_B$	$F_B=MS_B/MS_E$
因素 A×因素 B				
Factor A×Factor B	SS_{AB}	df_{AB}	$MS_{AB}=SS_{AB}/df_{AB}$	$F_{AB}=MS_{AB}/MS_E$
误差				
Error	SS_E	df_E	$MS_E=SS_E/df_E$	
总和				
Total	SS_T	df_T		

1.2.3 数据处理

数据统计和处理采用 Microsoft Excel 2016，方差分析、显著性分析采用 IBM SPSS 23.0。

2 结果与分析

2.1 第一次调查结果

两种处理 45d 后，各处理组合的甘蔗出苗情况如表 3 所示。其中出苗最多的处理为露膜 10 cm×1890 kg/ha 施肥水平（A3×B3），平均出苗 10.00 个，而出苗最少的处理为全覆盖×1890 kg/ha 施肥水平（A1×B3）和露膜 5 cm×1450 kg/ha 施肥水平（A2×B2），均为 5.67 个。从两种处理分别来看，施肥处理中，1890 kg/ha 水平（B3）出苗数最多，平均为 8.11 个；覆膜处理中，露膜 10 cm 处理（A3）出苗数最多，平均为 9.11 个。

表 3 第一次调查出苗结果

Fig. 3 The first survey results of seedling emergence

因素				单位：个
Factor	B1	B2	B3	均值 Mean value
A1	7.00±1.00	7.33±0.58	5.67±2.08	6.67±1.41
A2	8.33±1.15	5.67±2.31	8.67±0.58	7.56±1.94
A3	8.33±0.58	9.00±1.00	10.00±1.00	9.11±1.05
均值				-
Mean value	7.89±1.05	7.33±1.94	8.11±2.26	

如表 4 所示，在处理后 45d 时，施肥对甘蔗出苗并无显著影响（ $P=0.4372>0.05$ ），但覆膜对甘蔗出苗的影响显著（ $P=0.0028<0.05$ ），同时，覆膜和施肥的交互效果对甘蔗出苗同样有显著影响（ $P=0.0329<0.05$ ）。因此需要继续分析不同因素交互效果对甘蔗出苗的影响程度。

表 4 第一次调查结果方差分析表

Fig. 4 Anova table of the first survey results

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值
------	-----	-----	-----	-----	-----



Source of variance	Sum of squares	Degree of freedom	Mean sum of square	F value	P value
覆膜 A Membranae tectoria A	27.5556	2	13.7778	8.2667	0.0028
施肥 B Fertilization B	2.8889	2	1.4444	0.8667	0.4372
覆膜 A×施肥 B Membranae tectoria A× Fertilization B	22.2222	4	5.5556	3.3333	0.0329
误差 Error	30.0000	18	1.6667		
总和 Torel	82.6667	26			

由表 5 可知，处理后 45d，在 900 kg/ha（B1）施肥水平下，不同的覆膜处理间对甘蔗出苗无显著影响。而在 1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）两个施肥水平下，不同的覆膜处理间对甘蔗出苗有显著影响。其中，1450 kg/ha（B2）施肥水平下，露膜 5 cm（A2）处理与露膜 10 cm（A3）处理对甘蔗出苗影响差异显著（ $P=0.0162<0.05$ ）；1890 kg/ha（B3）施肥水平下，全覆盖（A1）处理与露膜 5 cm（A2）处理、露膜 10 cm（A3）处理对甘蔗出苗分别有显著差异（ $P=0.0020<0.05$ 、 $P=0.0322<0.05$ ），但露膜 5 cm（A2）处理与露膜 10 cm（A3）处理对甘蔗出苗影响并不显著。

表 5 在施肥因素下覆膜因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 5 Results of multiple comparison of the effects of mulching factors on the emergence of sugarcane under fertilization

施肥 B Fertilization B	覆膜 A Membranae tectoria A	平均值差值 Mean difference	标准误差 Standard error	P 值 P value	差值的 95%置信区间		
					95% confidence interval for the difference		
					下限 Lower limit	上限 Upper limit	
B1	A1	A3	-1.3333	1.0541	0.6661	-4.1152	1.4486
		A2	-1.3333	1.0541	0.6661	-4.1152	1.4486
	A2	A3	0.0000	1.0541	1.0000	-2.7819	2.7819
		A1	1.3333	1.0541	0.6661	-1.4486	4.1152
	A3	A2	0.0000	1.0541	1.0000	-2.7819	2.7819
		A1	1.3333	1.0541	0.6661	-1.4486	4.1152
B2	A1	A3	-1.6667	1.0541	0.3938	-4.4486	1.1152
		A2	1.6667	1.0541	0.3938	-1.1152	4.4486
	A2	A3	-3.333*	1.0541	0.0162	-6.1152	-0.5514
		A1	-1.6667	1.0541	0.3938	-4.4486	1.1152
	A3	A2	3.333*	1.0541	0.0162	0.5514	6.1152
		A1	1.6667	1.0541	0.3938	-1.1152	4.4486

续表 5

Continued table 5

施肥 B Fertilization B	覆膜 A Membranae	平均值差值 Mean difference	标准误差 Standard	P 值 P value	差值的 95%置信区间 95% confidence interval for the difference
-------------------------	-------------------	--------------------------	------------------	----------------	---



tectoria A			error			下限	上限
						Lower limit	Upper limit
B3	A1	A3	-4.333*	1.0541	0.0020	-7.1152	-1.5514
		A2	-3.000*	1.0541	0.0322	-5.7819	-0.2181
	A2	A3	-1.3333	1.0541	0.6661	-4.1152	1.4486
		A1	3.000*	1.0541	0.0322	0.2181	5.7819
	A3	A2	1.3333	1.0541	0.6661	-1.4486	4.1152
		A1	4.333*	1.0541	0.0020	1.5514	7.1152

注：多重比较调节：邦弗伦尼法。*表示在.水平下差异显著。下同。

表 6 可知，处理后 45d，在全覆盖（A1）处理、露膜 10 cm（A3）处理下不同施肥水平间甘蔗出苗均无显著差异。在露膜 5 cm（A2）处理下，1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）两个施肥水平间甘蔗出苗的差异显著（ $P=0.0322<0.05$ ）。

表 6 在覆膜因素下施肥因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 6 Results of multiple comparison of effects of fertilization factors on sugarcane emergence under mulching factors

覆膜 A Membranae tectoria A	施肥 B Fertilization B		平均值差值 Mean difference	标准误差 Standard error	P 值 P volue	差值的 95%置信区间	
						95% confidence interval for the	
						difference	
						下限 Lower limit	上限 Upper limit
A1	B1	B2	-0.3333	1.0541	1.0000	-3.1152	2.4486
		B3	1.3333	1.0541	0.6661	-1.4486	4.1152
	B2	B3	1.6667	1.0541	0.3938	-1.1152	4.4486
		B1	0.3333	1.0541	1.0000	-2.4486	3.1152
	B3	B2	-1.6667	1.0541	0.3938	-4.4486	1.1152
		B1	-1.3333	1.0541	0.6661	-4.1152	1.4486
A2	B1	B2	2.6667	1.0541	0.0629	-0.1152	5.4486
		B3	-0.3333	1.0541	1.0000	-3.1152	2.4486
	B2	B3	-3.000*	1.0541	0.0322	-5.7819	-0.2181
		B1	-2.6667	1.0541	0.0629	-5.4486	0.1152
	B3	B2	3.000*	1.0541	0.0322	0.2181	5.7819
		B1	0.3333	1.0541	1.0000	-2.4486	3.1152
A3	B1	B2	-0.6667	1.0541	1.0000	-3.4486	2.1152
		B3	-1.6667	1.0541	0.3938	-4.4486	1.1152
	B2	B3	-1.0000	1.0541	1.0000	-3.7819	1.7819
		B1	0.6667	1.0541	1.0000	-2.1152	3.4486
	B3	B2	1.0000	1.0541	1.0000	-1.7819	3.7819
		B1	1.6667	1.0541	0.3938	-1.1152	4.4486

2.2 第二次调查结果

处理后 90d 进行第二次调查，出苗结果如表 7 所示。出苗最多的处理为露膜 5 cm×1890 kg/ha 施肥水平（A2×B3）和露膜 10 cm×1890 kg/ha 施肥水平（A3×B3），平均出苗均为 23.00 个，出苗最少的处理为露膜 5 cm×1450 kg/ha 施肥水平（A2×B2），仅 12.67 个。从两种处理分别来看，施肥处理中，



1890 kg/ha 水平 (B3) 出苗数最多, 平均为 21.44 个; 覆膜处理中, 露膜 10 cm 处理 (A3) 出苗数最多, 平均为 22.00 个。与第一次调查结果一致。

表 7 第二次调查出苗结果

Fig. 7 The second survey results of seedling emergence

因素				单位: 个
Factor	B1	B2	B3	均值 Mean value
A1	17.00±3.00	20.67±1.15	18.33±4.04	18.67±3.04
A2	19.00±2.65	12.67±3.79	23.00±3.61	18.22±5.38
A3	22.00±2.00	21.00±2.65	23.00±5.57	22.00±3.35
均值				
Mean value	19.33±3.12	18.11±4.73	21.44±4.53	-

表 8 为处理后 90d 的出苗情况方差分析结果。与第一次调查结果不同的是, 施肥和覆膜对甘蔗出苗均无显著影响 ($P=0.0579>0.05$, $P=0.1357>0.05$), 而二者的交互效应对其影响显著 ($P=0.0453<0.05$), 这与第一次调查结果一致。

表 8 第二次调查结果方差分析表

Fig. 8 Second survey results analysis of variance table

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值
Soruce of variation	Quadratic sum	Degree of freedom	Mean sum of square	F volue	P volue
覆膜 A	76.7407	2	38.3704	3.3528	0.0579
Membranae tectoria A					
施肥 B	51.1852	2	25.5926	2.2362	0.1357
Fertilization B					
覆膜 A×施肥 B	138.3704	4	34.5926	3.0227	0.0453
Membranae tectoria A× Fertilization B					
误差	206.0000	18	11.4444		
Error					
总和	472.2963	26.0000			
Torel					

由表 9 可知, 处理后 90d, 在 900 kg/ha (B1) 和 1890 kg/ha (B3) 两个施肥水平下, 不同的覆膜处理间对甘蔗出苗均无显著影响。而在 1450 kg/ha (B2) 施肥水平下, 不同的覆膜处理间对甘蔗出苗有显著影响。其中, 露膜 5 cm (A2) 处理与全覆盖 (A1) 处理、露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗影响均差异显著 ($P=0.0289<0.05$ 、 $P=0.0222<0.05$); 全覆盖 (A1) 处理与露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗影响并不显著 ($P=1.0000>0.05$)。

表 9 在施肥因素下覆膜因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 9 Results of multiple comparison of the effects of mulching factors on the emergence of sugarcane under fertilization

施肥 B	覆膜 A	平均值差值	标准误差	显著性	差值的 95%置信区间
------	------	-------	------	-----	-------------



Fertilization B		Membranae tectoria A	Mean difference	Standard error	Conspicuousnes s	95% confidence interval for the difference	
						下限	上限
						Lower limit	Upper limit
B1	A1	A3	-5.0000	2.7622	0.2610	-12.2898	2.2898
		A2	-2.0000	2.7622	1.0000	-9.2898	5.2898
	A2	A3	-3.0000	2.7622	0.8753	-10.2898	4.2898
		A1	2.0000	2.7622	1.0000	-5.2898	9.2898
	A3	A2	3.0000	2.7622	0.8753	-4.2898	10.2898
		A1	5.0000	2.7622	0.2610	-2.2898	12.2898
B2	A1	A3	-0.3333	2.7622	1.0000	-7.6231	6.9565
		A2	8.000*	2.7622	0.0289	0.7102	15.2898
	A2	A3	-8.333*	2.7622	0.0222	-15.6231	-1.0435
		A1	-8.000*	2.7622	0.0289	-15.2898	-0.7102
	A3	A2	8.333*	2.7622	0.0222	1.0435	15.6231
		A1	0.3333	2.7622	1.0000	-6.9565	7.6231
B3	A1	A3	-4.6667	2.7622	0.3251	-11.9565	2.6231
		A2	-4.6667	2.7622	0.3251	-11.9565	2.6231
	A2	A3	0.0000	2.7622	1.0000	-7.2898	7.2898
		A1	4.6667	2.7622	0.3251	-2.6231	11.9565
	A3	A2	0.0000	2.7622	1.0000	-7.2898	7.2898
		A1	4.6667	2.7622	0.3251	-2.6231	11.9565

表 10 可知，处理后 90d，在全覆盖（A1）处理、露膜 10 cm（A3）处理下不同施肥水平间甘蔗出苗均无显著差异。在露膜 5 cm（A2）处理下，1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）两个施肥水平间甘蔗出苗的差异显著（ $P=0.0045<0.05$ ），这与第一次调查结果一致。

表 10 在覆膜因素下施肥因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 10 Results of multiple comparison of effects of fertilization factors on sugarcane emergence under mulching factors

覆膜 A Membranae tectoria A	施肥 B Fertilization B	平均值差值 Mean difference	标准误差 Standard error	显著性 Conspicuousness	差值的 95%置信区间 95% confidence interval for the difference		
					下限 Lower limit	上限 Upper limit	
A1	B1	B2	-3.6667	2.7622	0.6028	-10.9565	3.6231
		B3	-1.3333	2.7622	1.0000	-8.6231	5.9565
	B2	B3	2.3333	2.7622	1.0000	-4.9565	9.6231
		B1	3.6667	2.7622	0.6028	-3.6231	10.9565
续表 10 Continued table 10							
覆膜 A Membranae tectoria A	施肥 B Fertilization B	平均值差 值 Mean	标准误差 Standard error	显著性 Conspicuousness	差值的 95%置信区间 95% confidence interval for the difference		
					下限 Lower limit	上限 Upper limit	



		difference		Lower limit		Upper limit	
A1	B3	B2	-2.3333	2.7622	1.0000	-9.6231	4.9565
		B1	1.3333	2.7622	1.0000	-5.9565	8.6231
A2	B1	B2	6.3333	2.7622	0.1023	-0.9565	13.6231
		B3	-4.0000	2.7622	0.4943	-11.2898	3.2898
	B2	B3	-10.333*	2.7622	0.0045	-17.6231	-3.0435
		B1	-6.3333	2.7622	0.1023	-13.6231	0.9565
	B3	B2	10.333*	2.7622	0.0045	3.0435	17.6231
		B1	4.0000	2.7622	0.4943	-3.2898	11.2898
A3	B1	B2	1.0000	2.7622	1.0000	-6.2898	8.2898
		B3	-1.0000	2.7622	1.0000	-8.2898	6.2898
	B2	B3	-2.0000	2.7622	1.0000	-9.2898	5.2898
		B1	-1.0000	2.7622	1.0000	-8.2898	6.2898
	B3	B2	2.0000	2.7622	1.0000	-5.2898	9.2898
		B1	1.0000	2.7622	1.0000	-6.2898	8.2898

3.讨论与结论

岩温芳^[9]等的研究表明,甘蔗出苗率全膜覆盖比半膜覆盖和不盖膜分别提高 20.18%和 34.80%,而产量全膜覆盖比半膜覆盖和不盖膜分别提高 33.3%和 84.4%。本试验最后结果显示,在三个施肥水平下均为露膜 10 cm (A3) 处理出苗数最多,其平均值分别比全覆盖 (A1) 处理和露膜 5 cm (A2) 处理高出 17.84%和 20.75%。由此可见,在盖膜后覆土情况下,适当将土拨开漏出地膜可提高出苗数。

施肥^[10]对甘蔗的出苗也有一定影响。李恒锐^[11]等的研究表明,在等价投入前提下,施用甘蔗专用肥后甘蔗产量、产糖量以及工农业产值均高于施用进口复合肥和化肥与牛粪配置的常规肥;廖青^[12]等的研究也表明甘蔗专用肥能够提高甘蔗蔗糖成分,获得明显的经济效益。因此本试验选择施用甘蔗专用肥作为研究对象,在不同的覆膜处理下,两次调查结果均显示三个施肥水平中,1890 kg/ha (B3) 水平下甘蔗出苗数最多。

在本试验条件下,由结果可知,相对于不同施肥水平,覆膜对甘蔗出苗的影响更大,无论在何种施肥水平下,覆膜的 3 种处理中,两次调查结果均显示露膜 10 cm 条件下甘蔗出苗数最多,可能是因为露膜宽度更大,甘蔗种在出苗前接收阳光更加充足,有效促进了发芽和出苗。

综上所述,在本地区实际生产中,甘蔗播种后建议覆盖地膜,地膜上用土覆盖后在播种位置露膜 10 cm 以上,其余部分用土压实,既可防虫防草,亦可保水保温保肥。同时应尽量施足基肥,满足发芽和出苗的养分需求。

参考文献

- [1] 李 鸣,陈玲玲,张积森.甘蔗[J].基因组学与应用生物学,2023,42(12):1383.
- [2] 谭宏伟,周柳强,谢如林,黄美福.蔗区降雨分布与甘蔗需水及加肥灌溉效应[J].西南农业学报,2008,(05):1381-1384.
- [3] 彭李顺,曹峥英,蔡文伟,甘仪梅,杨本鹏.膜下滴灌减量施肥对甘蔗农艺性状、产量和养分利用率的影响[J].热带作物学报,2023,44(11):2322-2329.
- [4] 朱 宁,曹 博.甘蔗种植的化肥利用率及碳减排潜力分析[J].资源开发与市场,2018,34(10):1397-1399+1412.
- [5] 廖 青,江泽普,邢颖,杨绍镔,陈桂芬,梁潘霞,蒙炎成.缓释肥和专用肥对甘蔗产量和品质的影响[J].广西糖业,2017(01):10-14.
- [6] 蔡仁林.甘蔗覆膜栽培技术[J].中国糖料,2003,(01):40-41.



- [7] 陈奇恩.中国塑料薄膜覆盖农业[J].中国工程科学,2002(04):12-15+21.
- [8] 李成宽,屈再乐,张贵苍,李朝正,刘芳爱,孟爱宝,汤彩茹,熊国斌.地膜全覆盖对旱地甘蔗产质量及效益的影响[J].中国糖料,2017,39(01):26-27.
- [9] 岩温劳,余健,岩说,夏梦吟,李芳,李春秀,李艳芳,特芮.勐海县甘蔗品种云蔗 05-51 新植覆膜技术初探[J].中国糖料,2018,40(01):38-39.
- [10] 杨承礼.甘蔗需肥特点与施肥技术分析[J].农业灾害研究,2023,13(12):46-48.
- [11] 李恒锐,邱文武,马文清,彭 崇,卢美瑛.不同类型肥料对甘蔗产量及品质的影响[J].江苏农业科学, 2014, 42(10):83-85.
- [12] 廖 青,江泽普,邢 颖,杨绍锴,陈桂芬,梁潘霞,蒙炎成.缓释肥和专用肥对甘蔗产量和品质的影响[J].广西糖业,2017,(01):10-14.



广东农垦南药种业创新发展现状及对策研究

伍兆诚, 陈士伟 陈海坚 梁秋玲 赖志明 徐杨玉, 邓理骥 赵双双, 段门俊, 袁志能,
吴如慧, 黄煜权 詹若挺 陈明文, 陈叶海,**

. 广东农垦热带农业研究院有限公司, 广东广州 ;. 广东农垦热带作物科学研究所, 广东茂名 ;. 广东省湛江农垦科学研究所, 广东湛江 ;. 广东省农垦南亚热带作物科技中心, 广东广州 ;. 广州中医药大学中药学院, 广东广州 ;. 华润三九医药股份有限公司, 广东深圳

摘 要: 南药种质资源作为南药产业的“芯片”, 在保障南药有效供给方面具有战略性意义, 同时也是南药农业科技原始创新与现代种业发展的物质基础。为支撑南药产业“高产量、高质量”的现代农业规模化发展, 广东农垦联合广中医和华润三九共建“广东省南药产业种业创新园”, 基本构建了“广东省南药种质资源圃(按功效分类)一道地与大宗南药种质资源圃—新品种选育基地—种子种苗繁育基地—创新实验室—新品种推广 GAP 基地”一体的南药种业创新和推广应用平台。目前, 已收集和保存种南药资源和种份道地与大宗南药种质资源, 挖掘个南药活性成分功能基因, 研发项现代育种技术, 创制份优异种质, 选育广藿香、岗梅、两面针等个新品种(系), 起草公布 个良种繁育和规范化生产规程。广东农垦实现年育苗能力万株, 建设 GAP 基地 .万亩, 总种植面积 . 万亩。本文基于“保、育、繁、推”全产业链的发展思路, 对广东农垦南药种业的创新发展现状进行深入分析, 探讨种业创新的发展前景, 提出加强种质收集与利用、加快突破性新品种、创新种苗繁育技术、完善栽培技术、推动南药 GAP 生产、深化协同创新等建议。

关键词: 南药; 中药材; 种业创新; 种质资源; 保育繁殖

中图分类号: S. 文献标识码: A

A Study on the Current Status and Strategic Measures for Innovation and Development in Guangdong Agricultural Reclamation's Southern Medicinal Herb Seed Industry

WU Zhaocheng, CHEN Shiwei, CHEN Haijian, LIANG Qiuling, LAI Zhiming, XU Yangyu, DENG Liji, ZHAO Shuangshuang, DUAN Menjun, YUAN Zhineng, WU Ruhui, HUANG Yuquan, ZHAN Ruoting, CHEN Mingwen, CHEN Yehai*

. Guangdong Agribusiness Tropical Agriculture Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong;. Guangdong Agricultural Reclamation Institute of Tropical Crop Science, Huazhou, Guangdong;. Science Research Institute of Zhanjiang State Farms of Guangdong, Zhanjiang, Guangdong;. Guangdong Agribusiness South Asia Tropical Corp Science&Technology Center, Guangzhou, Guangdong;. School of Pharmaceutical Sciences, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou, Guangdong;. China Resources Sanjiu Medical & Pharmaceutical Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong

Abstract: The germplasm resources of Southern medicinal herbs, regarded as the "chip" of the industry, are of strategic significance in ensuring the effective supply of these herbs and also serve as the material basis for the original innovation in agricultural science and technology and the development of modern seed industries. To support the large-scale development of modern agriculture characterized by "high yield and high quality" in the Southern medicinal herb industry, Guangdong Agricultural Reclamation has joined hands with Guangzhou University of Chinese Medicine and China Resources Sanjiu to establish the "Guangdong Southern Medicinal Herb Seed Industry Innovation Park," basically constructing an integrated platform for the innovation and promotion of Southern medicinal herb seed industry, which includes "Guangdong Southern Medicinal Herb Germplasm Nursery (classified by efficacy) - Genuine and Major Southern Medicinal Herb Germplasm Nursery -



New Variety Breeding Base - Seed and Seedling Propagation Base - Innovation Laboratory - New Variety Promotion GAP Base." Currently, , kinds of Southern medicinal herb resources and kinds of , genuine and major Southern medicinal herb germplasm resources have been collected and preserved, functional genes of active components in Southern medicinal herbs have been excavated, modern breeding technologies have been developed, excellent germplasms have been created, and new varieties (lines) of *Pogostemon cablin*, *Illicium verum*, and *Schizonepeta* have been bred, and technical regulations for good seed propagation and standardized production have been drafted and published. Guangdong Agricultural Reclamation has achieved an annual seedling capacity of million, built , mu of GAP bases, and a total planting area of , mu. This paper, based on the development idea of the whole industry chain of "protection, breeding, propagation, and promotion," deeply analyzes the current situation of the innovative development of the Southern medicinal herb seed industry in Guangdong Agricultural Reclamation, discusses the development prospects of seed industry innovation, and proposes suggestions for strengthening germplasm collection and utilization, accelerating breakthrough new varieties, innovating seedling propagation technology, improving cultivation techniques, promoting Southern medicinal herb GAP production, and deepening collaborative innovation.

Keywords: southern medicinal herbs; traditional Chinese medicine; seed industry innovation; germplasm resources; preserve, cultivate, propagate, and promote

南药产业是广东省农垦集团公司（简称“广东农垦”）推进高质量发展的“新兴战略产业”。在年之前，广东农垦已试点种植益智、五指毛桃等品种.万亩；年至年间，通过产业化订单模式，新增种植岗梅、三叉苦和广藿香等品种.万亩；预计未来至年内，种植面积将迅速扩大到万亩。种业作为产业链的前端，决定中药材产量的稳定和质量优劣，发展南药产业新质生产力，南药种业创新是关键之举。为了推动南药产业的持续发展，广东农垦联合广州中医药大学（简称“广中医”）和华润三九医药股份有限公司（简称“华润三九”），共同创建了集国内外热带与亚热带地区药材“保种、繁育、推广”于一体的“广东省南药产业种业创新园”，在种质资源收集、品种选育创新、优良种苗速繁以及配套种植技术等方面均取得了显著成效。过去三年，广垦研究院牵头的科研体系及团队收集了上千种种质资源，选育出广藿香等优良品系，年种苗繁育能力达万株，并牵头制定了项技术规程，奠定了南药种业“育繁推”一体化发展的基础。然而，与高质量发展目标相比，我们仍面临诸多挑战，如种质资源评鉴不充分、优良品种选育起步晚、育苗栽培技术有待熟化等问题。本文通过深入调查与分析广东农垦南药种业的创新发展现状，展望未来前景，并提出对策建议，以进一步提升广东农垦南药种业的创新能力，为垦区及全国南药产业的创新发展提供参考。

发展现状



种质资源收集工作扎实

年，广垦研究院从广中医等单位引进益智、砂仁、山姜、魔芋、化橘红、天冬、鸡蛋花、鸡血藤、小叶包金等种南药，合计份共株，在广东省农垦热带作物科学研究所（简称“广垦热作所”）建立种质资源圃，为选育优良品种和发展生物技术提供了基础材料。经过两年发展，垦区引种数量超种，这些种质资源分别保存于广东农垦南药种质资源圃（位于茂名化州，占地约亩）和广东农垦南药种质资源圃中新分圃（位于广州增城，占地约亩）。

截至年月末，广东农垦南药种质资源圃引种药用植物种，约株，按其药材的功效和原植物的生态习性进行分区种植保存，分属于个科、个属。其中，豆科属种，占比.%；唇形科属种，占比.%；菊科属种，占比.%；姜科属种，占比.%；芸香科属种，占比.%；爵床科属种，占比.%；蔷薇科属种，占比.%；天门冬科属种，占比.%；大戟科属种，占比.%；锦葵科属种，占比.%，如图所示。基于“科”的辛普森多样性指数为.，基于“属”的辛普森多样性指数为.，表明资源圃的物种多样性较高。这些资源中涵盖沉香、巴戟天、阳春砂、金

毛狗脊、铁皮石斛和毛唇芋兰等珍稀濒危的野生药用植物，九里香、两面针、三叉苦、岗梅、黑老虎、鸡血藤等紧缺的名优中成药品种，广藿香、穿心莲、豆蔻、胖大海、丁香、马钱子等原产于南亚和东南亚的品种。根据统计，植物类南药约有种，广东农垦已收集其中约.%的品种¹。

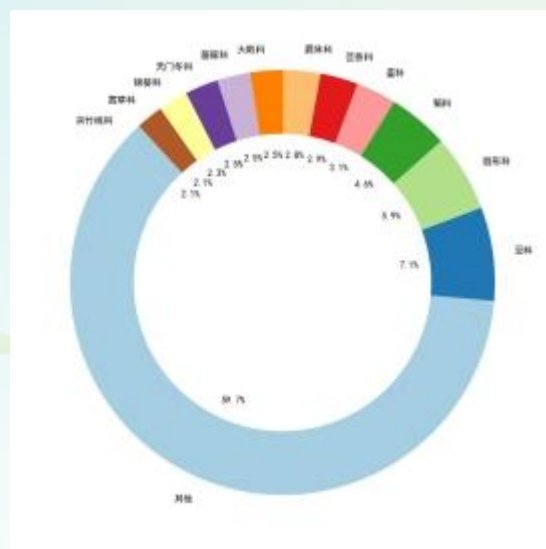


图 资源圃科分布情况

Fig. Distribution of Species in the Germplasm Resource Nursery

为进一步推进选育，针对广藿香、化橘红、春砂仁等种道地和大宗药材，收集了其野生种、栽培种及近缘种合计份，深入研究了它们在不同生态型、化学型等方面的特性，详见图。

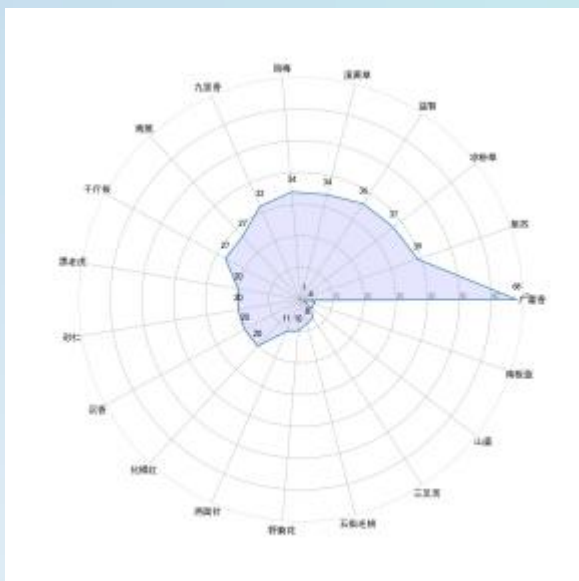


图 道地和大宗的南药种植资源收集情况

Fig. Collection Status of Genuine and Mass-Produced Southern Medicinal Herb Planting Resources

目前，我国已经建有多处国家级药用植物种质资源库，包括国家药用植物种质资源库、国家南药基因资源库以及成都中医药大学国家中药种质资源库。以南药为主体的种质资源圃（药用植物园）大多数为省部级，其中包括：广州中医药大学药用植物园，占地亩，保存药用植物约种；农业部儋州热带药用植物种质资源圃，占地亩，现已收集并保存了多种热带药用植物；云南版纳南药园，占地亩，引种收集了多种南药、民族药及其他药用植物，并保存了超过份的药用植物标本；海南兴隆南药园，占地亩，引种栽培了科多种南药。截至年月，广东农垦南药种质资源圃占地面积亩，保存南药种，其中包括广藿香、化橘红、春砂仁

等道地和大宗药材种质资源份，先后承担了国家级项目“广东农垦茂名国家现代农业产业园”与省级项目“广东省南药种业创新园”以及“道地南药化橘红种质资源圃的更新与维护”等。与上述省部级资源圃相比，广东农垦南药种质资源圃在种质保存数量和建设规模上均处于相近水平。

品种选育创新卓有成效

种质资源创新是种业的关键，在种质资源收集的基础上，广东农垦联合广中医和华润三九组建研发团队，充分发挥科研院所和龙头企业的引领示范作用，开展南药道地品种的野生品种驯化、功能基因挖掘、育种技术创新，优异种质创制、良种筛选测试等核心技术研发。

功能基因挖掘方面，团队利用基因组学、转录组和代谢组等多组学技术，结合酶学、生物化学及分子生物学研究手段，对广藿香、化橘红、野菊花、春砂仁等南药的主要药效成分合成代谢途径进行了深入研究，成功挖掘出多个关键功能和调控基因。研究发现，PcENO 与广藿香醇合酶相互作用，并通过增强 PcPTS 的酶活性来调节广藿香醇生物合成[]；不同化州柚品系新橘皮糖苷合成关键酶基因 CgT,RhaT 存在表达差异[]；野菊花萜类



合酶的功能基因 CiTPS 以 FPP 和 GPP 为底物产生种单萜和种倍半萜^[1]; 野菊花黄酮类化合物生物合成途径功能基因为 CiCOMT 和 CiUGT^[2]; 春砂仁薄荷醇脱氢酶 WvBDH 可能参与薄荷脑的生物合成^[3]; 春砂仁硼酰二磷酸 (BPP) 解生成龙脑是分两步进行, WvNUDX 是关键水解酶^[4]; 春砂仁中乙酸冰片酯合成基因为 WIBAT 和 GPPS。

育种技术创新方面, 通过前期挖掘关键目标性状的基因获得紧密连锁的分子标记, 构建了广藿香分子标记辅助选择育种技术^[5]; 研究筛选甲基磺酸乙酯 (EMS) 诱变处理纤花香茶种子的最佳处理条件, 并利用表型鉴定及 ISSR 和 SSR 双分子标记技术对典型表型变异植株进行分析, 构建了溪黄草等 EMS 化学诱变育种技术^[6]。采用秋水仙素对凉粉草茎段进行诱变育种, 构建了凉粉草多倍体育种技术。

优异种质创制方面, 团队通过应用分子标记辅助选择、种内杂交、化学诱变和基因组选择等多种育种技术, 创制了优质种质份, 其中纤花香茶菜份、凉粉草份、青蒿份、铁皮石斛份。

良种筛选测试方面, 团队在茂名、阳江和湛江等地建设了亩的研究基地, 对广藿香、化橘红、溪

黄草等道地和大宗南药新品种进行了系统观察和分析。目前, 团队完成三叉苦、九里香、两面针、岗梅、鸡血藤等个“野生转家种”南药品种的引种驯化, 申报了“华针”两面针、“华香”九里香、“华岗”岗梅新品种权。团队还筛选出了在各区域均产量高、挥发油得率高、区域测试中含量高且稳定的高醇型广藿香 P、P 和高酮型广藿香 P、P, 其中“粤藿一号”通过省级现场专家评定; 筛选出有效成分含量高的纤花香茶菜 CH、CH、CH 和产量高的纤花香茶菜 CH、MX、PN; 筛选个化橘红优异农家品种 KX 号、PDHR、PDH。这些成果为南药产业的发展提供了重要支持。

． 种苗繁育能力大幅提升

为应对南药生产中种源混杂和质量参差不齐的问题, 广东农垦在茂名和阳江两地建立了占地亩的育苗基地, 并配备了万平方米的高标准温室。通过这些设施, 广东农垦每年可以生产出万株岗梅、三叉苦、广藿香、紫苏和五指毛桃等南药种苗, 构建了从原种保存、原种繁育到良种繁育的完整种苗供应链, 实现了优质南药种子种苗的集中化、批量化、快速化、经济化供给。

在推动中药材种业向规模化、规范化和标准化发



展的过程中，广东农垦针对种子休眠期长、萌发率低、发芽不均匀等问题，以及种苗无性繁殖效率低、种性退化等挑战，采取了一系列创新措施。通过深入研究和应用破休眠、组织培养、嫁接、扦插等繁育技术，广东农垦牵头或联合制定了包括九里香、岗梅、溪黄草、化橘红、三叉苦、两面针和广藿香在内的项繁育标准。这些标准的制定和实施，标志着种苗繁育的系统化和标准化，为中药材种业的健康和持续发展提供了坚实的技术基础和质量保障。

标准种植基地迅速增加

至年月日，垦区南药种植总面积约为.万亩。其中，岗梅种植面积为.万亩，占比.%；三叉苦种植面积为.万亩，占比.%；沉香种植面积为.万亩，占比.%；化橘红种植面积为.万亩，占比.%；广藿香种植面积为.万亩，占比.%；紫苏种植面积为.万亩，占比.%。为确保中药材的高质量和高产量，广东农垦依托优良种子种苗的繁育基地，牵头或联合制定了涵盖岗梅、广佛手、益智、三叉苦、九里香、广藿香等种中药材的栽培技术规程。这些规程详尽地规定了从选地、种植、田间管理到病虫草害防治、采收与加工的全过程，形成了一套完整的技术操

作标准规范。与此同时，广东农垦还建设了.万亩的中药材 GAP（良好农业规范）认证基地，为确保药材的标准化生产提供了有力保障。

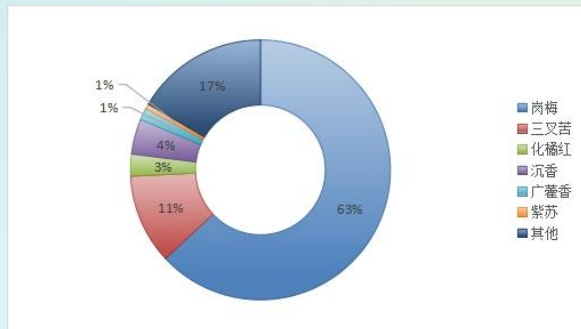


图 垦区南药种植情况

发展前景

随着人们健康需求水平的不断提升，在“健康中国”战略的推动下，我国中药产业正迈入高质量发展的新阶段。中药材市场的规模持续扩大，中药饮片行业也呈现出稳健增长的态势。为了满足中药材产业日益增长的发展需求，我国中药材种植面积正在不断扩展[]。目前，广东省中药材农林种植面积已达到万亩，涵盖了种药材，年产量达万吨，年产值约亿元，并带动关联产业产值超过亿元。尤其是在“十四五”期间，广东农垦计划新增建设了南药种植基地万亩以上，并辐射至周边地区万亩以上。

种业是种植业和加工业的前端，种业创新是中医药发展新质生产力的重要保障。但是我国南药种



业处于育种研发以公共科研部门为主而企业参与不足的阶段，存在育种基础薄弱、育繁推脱节、种企创新投入少、种子市场集中度低等问题，具体表现为：中药材栽培历史短，优良品种选育基础基本空白，主栽品种稳定性差；知识产权制度保护力度不足，育种投入高周期长风险大收益低，研发主体创新动力不足；优质种质资源储备和鉴定不足，系统性、规模化的种质资源整合不足；市场监管不足，种企数量多但研发能力弱、市场竞争力不强；种业创新转化不足，创新链衔接不畅，从基础研究到应用研究的技术集成创新环节投入不足，推广应用上具有绝对竞争力的重大品种很少。

为更好地服务产业需求，广垦农垦在中央及广东省委省政府的战略指引下，高站位谋划南药种业，系统收集、整理、保存南药种质资源，运用现代生物技术手段，对南药种质资源进行鉴定、评价和利用，正着力建设全国最全、规模最大的南药种质资源库（圃）；加强与科研院所和高校的合作，推动育繁推和产学研一体化，力图选育南药突破性重大新品种，打造华南地区最大的南药健康种子种苗繁育基地；推广高效、绿色、可持续

的种植技术，实现南药规模化、集约化、标准化生产，推动南药产业的稳步发展，力争打造全国最大的南药规模化连片种植基地；通过广东省南药种业创新园等项目建设，整体提升保护能力、科研能力、资源利用能力、科普教育能力以及园容园貌和美誉度，补齐短板、扩大优势、做优强项，实现“国内一流种业创新园”目标。

对策建议

1. 加强种质收集，构建种质利用平台

中药材种质资源是中药材新品种选育及道地药材遗传改良的材料来源，是提高中药材质量和生产技术水平的物质基础，是中医药产业的源头，是提高中药产业国际地位、增强国际竞争力的重要战略资源。广东农垦应持续开展大宗、常用、珍稀和濒危野生南药种质资源的收集和保存，建设南药种质资源保存库和信息库；通过引进先进的基因组学、分子生物学等现代技术，构建专业的表型精准鉴定和规模化基因发掘平台，加快野生中药材种质资源的评价和鉴定，规模化发掘控制药用植物次生代谢、产量、抗逆等性状的基因及其有利等位基因，并进行功能验证，创制优质、



高产、广适、适合机械化等目标性状突出和有育种价值的新种质，为后期选育具备良好推广性能和产业化特质的优良品种提供材料支撑。

· 加快新品种选育，推动南药良种化发展

良种在增产和抗病虫害方面的作用至关重要，它们是确保中药材质量和经济效益的关键因素。由于很多中药材的野外自然生长属性较强，人工驯化难度大、周期长，绝大多数中药材没有主栽品种，良种推广率不高。团队已选育出化橘红、广藿香、岗梅等新品种（系），为良种推广和产业发展提供了宝贵经验。在此基础上，广东农垦应进一步加大良种选育力度，持续运用引种驯化、选择育种、无性系、杂交育种、多倍体育种等传统手段，加快应用诱变育种、分子标记辅助育种、全基因组关联分析等现代化手段，结合实地田间试验和大规模示范种植，以功效成分、抗逆、抗病虫害、高产等为核心目标，选育具备良好推广性能和产业化特质的大宗优势药材优良品种，以满足多样化市场需求。同时，针对中药材品种认定办法的缺失，应积极参与制定相关标准，以促进良种的官方认定和推广。通过这些措施，可以提高南药的良种推广率，促进南药产业的健康发展。

· 创新繁育技术，建设现代南药种业基地

优质品种需要通过高效的繁育技术进行推广。目前，我国中药材种业市场还处于起步阶段。通过查询中国种子协会网及中国种业信息网相关数据，截至年月，具有中药材种子种苗经营资质的企业仅有家。大部分种植户采取自然留种，且不选择优株，导致品种退化和混杂问题严重；育苗基地小散乱、基础设施条件落后、机械化水平低、抗风险能力低；科学规范化的育苗集成技术还不够完善，已制定的育苗技术规范操作性不强；熟地育苗技术仍在探索、尚未突破；设施育苗技术不够完善，栽种后成活率低、产量低。广东农垦构建了百亩集约化优质种子繁育基地、万平高标准大棚和组织培养中心，实现道地中药材种子种苗生产统一供应。在近些年大量研究和生产实践的基础上，优化现有的繁育工艺，熟化种子破休眠、质量筛选、组织培养等技术，研发精量播种、丸粒化播种、覆土移栽等机械，提高种苗的繁殖效率和质量，创建国家级区域良种繁育中心，推动南药种苗产业的规模化、标准化发展。

· 完善栽培技术，推动南药 GAP 生产

当前，中药材的规范化和规模化生产正面临诸多



挑战,如地缘经济及小农经济耕作模式的制约,农业生产的比较效益偏低、栽培技术的不成熟,以及土壤微生态恶化和连作障碍的困扰,这些问题都影响了中药材 GAP 基地的可持续发展。市场上流通的 GAP 基地产品与非 GAP 基地产品相比,在价格上并没有明显的优势。当前, GAP 基地产出的药材主要用于企业自身中成药产品的生产,而非进入销售市场,导致 GAP 药材在市场上的占有率极低^[1]。此外,由于盲目引种、化肥农药的过度使用、采收加工方法不当等原因,大量栽培中药材的道地性正在逐渐消失,质量良莠不齐,严重影响了人民的用药安全。因此,中药材 GAP 的推行虽然意义深远,但当前 GAP 基地的药材产量和质量远未达到市场的需求水平。鉴于此,广东农垦作为农业国家队,肩负着发挥龙头作用的责任与义务,必须强化科技对产业发展的支撑作用。具体而言,应加强对岗梅、广藿香、三叉苦等大规模品种的重大有害生物防控、防灾减灾、节本增效等技术的研究,并开展中药材无公害标准化生产、病虫害监控、土壤综合治理、平衡施肥、农残重金属控制、精细生产等先进实用技术的推广示范。此外,广东农垦还需深化标准化生产管

理,加强质量监控和追溯体系建设,进一步扩大 GAP 基地示范区的建设规模,为中药材产业树立标杆。这将有助于推动南药产业从简单粗放的小农业模式,逐步迈向具有较高科技含量的规模化、规范化、机械化、产业化的现代农业模式。通过这一系列举措,广东农垦不仅可以提升中药材的产量和质量,还将对保障人民用药安全、促进中药材产业的可持续发展作出重要贡献。

3. 深化协同创新,构建南药种业可持续创新体系

针对新品种选育、健康种苗繁育、GAP 生产等农业端投入比较效益偏低、生产及研发投入意愿不高、产品质量管控较难的现状,进一步围绕“种质资源收集、种质资源评鉴、育种理论创新、育种工具手段开发、育种材料创制、新品种选育、种子生产及推广营销”的种子链,到“大田生产、趁鲜加工、精深加工、产品营销”的产品链,探索交易公平顺畅、利益分配公正、风险共同承担的种业协同创新机制和典型模式。促进链条上下游之间的环节匹配、主体协同、要素融合,打造以终端药品或药材需求为导向的高效创新供给体系,鼓励优良品种、健康种苗、GAP 生产优



质优价，实现品种高产稳产、药材质量保障、药

品高效安全^[1]。

参考文献

[1] 陈蔚文, 徐鸿华. 南药资源的保护与可持续利用研究[J]. 广州中医药大学学报, (vo).

[2] WU D, CHEN L, ZHONG B, et al. PcENO interacts with patchoulol synthase to positively affect the enzymatic activity and patchoulol biosynthesis in *Pogostemon cablin*[J]. *Physiol Plant*, (): e.

[3] 庄洁旋, 陈浪, 张丹华, 等. 不同化州柚品系新橘皮糖苷合成关键酶基因的差异表达分析[J]. 中药材, (vo).

[4] FENG L, LIN Y, CAI Y, et al. Terpenoid VOC profiles and functional characterization of terpene synthases in diploid and tetraploid cytotypes of *Chrysanthemum indicum* L[J]. *Plant Physiol Biochem*, : .

[5] DENG Y, YANG P, ZHANG Q, et al. Genomic insights into the evolution of flavonoid biosynthesis and O-methyltransferase and glucosyltransferase in *Chrysanthemum indicum*[J]. *Cell Rep*, (): .

[6] YANG P, CHEN Y X, WANG T T, et al. Nudix hydrolase WvNUDX is involved in borneol biosynthesis in *Wurfbainia villosa*[J]. *Plant J*, (): -.

[7] LIN X, HUANG L, LIANG H, et al. Genome-wide identification and functional characterization of borneol dehydrogenases in *Wurfbainia villosa*[J]. *Planta*, (): .

[8] 张丹华, 龚丽珍, 庄洁旋, 等. 广藿香基因组 SSR 分子标记开发与种质遗传多样性分析[J]. 基因组学与应用生物学, (vo).

[9] 刘靖, 赵双双, 古敬锋, 等. 纤花香茶菜 EMS 突变体库构建及 ISSR 与 SSR 分析[J]. 种子, (vo).

[10] 王继永, 王浩, 曾燕, 等. 中药材种业发展现状及品牌化战略路径[J]. 中国现代中药, (vo).

[11] 郭兰萍, 张燕, 朱寿东, 等. 中药材规范化生产 (GAP) 年: 成果、问题与建议[J]. 中国中药杂志, (vo).

[12] 程华, 王刚毅. 全球种业趋势及中国种业创新发展建议[J]. 科技导报, (vo).

责任编辑:



化橘红种质资源改接换种试验初报

许志文⁵, 陈瑞彪, 谢黎黎*, 梁秋玲, 罗平*, 周清华, 陈昱帆, 廖汝杏, 李丽敏,
陈烱样, 韩寒冰, 黄新敏

(1.广东农垦热带作物科学研究所, 广东茂名 525140; 2.广州中医药大学, 广东广州 510006; 3.广东石油化工学院, 广东茂名 525000)

摘要: 为了研究不同化橘红种质资源在道地药材产区化州改接换种后的表现, 本研究从广东省化州市不同区域引入 8 个品种化橘红种质资源 (密叶金毛、密叶、黄绒、金钟、凤尾、金钱督、陆赠线纹、乾宁一号) 在广东农垦热带作物科学研究所内化橘红基地改接换种, 两年后, 采集各种质资源的叶片、花与果实进行植物学性状调查, 并对其果实进行烘干以测定有效成分。结果发现各种质资源表现出不同的适应性, 其中密叶金毛与陆赠线纹改接换种后长势弱 (未采集到合适的胎果), 密叶、黄绒、金钟改接换种后植株长势较强, 叶片、花及胎果的植物学性状表现较好, 黄绒、金钟的胎果内的总黄酮、柚皮苷及野漆树苷含量相对较高。

关键词: 化橘红; 种质资源; 改接换种; 植物学特征性状; 总黄酮; 柚皮苷; 野漆树苷

Preliminary report of Huajuhong (*Citrus maxima* Tomentosa) germplasm resources re-grafting and seeding experiment

Xu Zhiwen, Chen Ruibiao, Xie Lili*, Liang Qiuling, Luo Ping*, Zhou Qinghua, Chen Yufan, Liao Ruxing, Li Limin, Chen Yangyang, Han Hanbing, Huang Xinmin

. Guangdong Agricultural Reclamation Tropical Crops Research Institution, Maoming, Guangdong, China; . Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou, Guangdong, China; . Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong, China

Abstract: To study the performance of different *Citrus maxima* Tomentosa germplasm resources in the Taoist medicinal herbs production area of Huazhou, varieties of *Citrus maxima* Tomentosa germplasm resources were introduced from different areas of Huazhou City, Guangdong Province, and were re-wired at the base of the Guangdong Agricultural Reclamation Tropical Crops Research Institution. After two years, the leaves, flowers and fruits of the various plasmodial resources were collected for botanical traits investigation, and their fruits were dried to determine the active ingredients. The results showed that the various qualitative resources showed different adaptability, among which, the plants of Miyejinmao and Luzengxianwen germplasm resources had weak plant growth after grafting, which had no suitable fruits been collected, while the plants of Miye, Huangrong and Jinzhong germplasm resources had strong plant growth after grafting, and the botanical traits of leaves, flowers, and fruits were better, Huangrong and Jinzhong had relatively high contents of total flavonoids, naringin, and rhoifolin within the fruits.

Keywords: *Citrus maxima* cv. *Tomentosa*; Germplasm resource; Introduction; Botanical characterization traits; Total flavonoids; Naringin; Rhoifolin

收稿日期

基金项目

作者简介

道地南药化橘红种质资源圃的更新与维护项目 ()

许志文 (—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 园艺植物逆境胁迫生理、南药种质资源收集利用与功能研究。*通信作者: 谢黎黎, E-mail: dqllx@.com; 罗平, E-mail: @qq.com



前言

化橘红，是芸香科柑橘属植物化州柚（*Citrus maxima* “Tomentosa”）或柚（*Citrus maxima* (Burm.) Merr.）的未成熟或接近成熟的干燥外层果皮^[1]，味苦、微辛、归肺脾经，有理气宽中、燥湿化痰、止咳等的功效，是较为常见的止咳化痰药，一直以来都有“南方人参”的美誉^[2]。近年来，越来越多的研究表明化橘红除了止咳化痰的功效以外，还具有消炎止痛、抗氧化、抗血栓、解酒、降低血糖血脂等的药用与保健功能^[3]。目前，随着化橘红产业的发展及生产规模扩大，其生产及加工研发越来越受重视，种植面积也在不断增加^[4]，但是随着化橘红产业的扩张，化橘红在市场上出现的问题也日益明显，以假充真、以次充好或产品标识不全的现象充斥在化橘红交易市场中^[5]。并且，化橘红不同品系植株之间特征表型不明显，非专业人员难以凭肉眼准确区别，导致其难以被生产人员所掌握，造成化橘红种质资源的收集、鉴定与保护工作的开展受到一定的限制^[6]。

因此，本研究的目的首先是为了保护化橘红的种质资源多样性，避免单一品种的过度种植，丰富化橘红品种的遗传多样性；其次是为部分农户改接换种提供经验，对一些树龄较大、生长衰退的化橘红植株通过改接换种使其恢复生机；最后是为了不断优化改良化橘红品种，提高化橘红产量和品质，推动化橘红产业的可持续发展，我们在化橘红道地产区化州引入份化橘红种质资源（密叶金毛、密叶、黄绒、金钟、凤尾、金钱督、陆赠线纹、乾宁一号）进行改接换种，两年后对这些化橘红种质资源的植株、叶片、花及幼果的植物学特征进行比较分析，对采集到化橘红幼果的种质资源的胎果进行有效成分含量测定，为化橘红道地药材产区化州引进其他化橘红种质资源，化橘红新品种育种或开展栽培试验研究提供理论依据。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

种化橘红种质资源（密叶金毛、密叶、黄绒、金钟、凤尾、金钱督、陆赠线纹、乾宁一号）、鼓风干燥箱、高效液相色谱仪、紫外分光光度计、游标卡尺、电子天平、塑料直尺、镊子、钢笔、铅笔、记号笔、标签牌、采样袋等。

1.2 实验方法

广东农垦热带作物科学研究所橘红基地砧木树种均为正尊金毛，将上述种化橘红种质资源按照梁崇润等^[7]的化橘红改接换种技术方法在我所橘红基地进行改接换种，分化橘红种质资源均挑选树势相同的砧木橘红树改接换种（试验性重复），改接换种之后对所有改接换种的橘红树进行相同的水、肥、病虫害管理，其中病虫害管理方法参考陈梅珍和马静燕^[8]的研究成果。

1.2.1 化橘红种质资源植株及叶片性状测定

本研究对各化橘红种质资源的植物学特征测定主要参照柑橘种质资源描述规范（NY/T—），对化橘红种质资源植株及叶片进行测定，植株主要测定树姿、长势、树冠形状、冠幅等植物学特征性状指标。化橘红种质资源采集叶片主要测定其叶片形状、叶尖形状、叶缘形状、翼叶形状、叶片长、叶片宽、叶型指数、翼叶长、翼叶宽和翼叶指数等植物学特征性状指标。以“叶型指数=叶长/叶宽”，“翼叶指数=翼叶长/翼叶宽”的计算公式对叶型指数和翼叶指数进行计算；肉眼观察叶片形状、叶尖形状、叶缘形状、翼叶形状等植物性状并记录数据。

1.2.2 化橘红种质资源花性状测定

对各化橘红种质资源的花瓣长度、花瓣宽度、雄蕊高度、雌蕊高度、雄蕊数、雌蕊粗度、密盘大小及柱头长宽等植物学特征性状进行测定和数据记录。

1.2.3 化橘红种质资源胎果性状及生理指标测定

根据陈小红等^[9]对于化橘红药材商品等级的分类，在化橘红种质资源果实大小约 2 cm 时进行采摘，采摘后对化橘红种质资源的胎果鲜重、胎果纵横径、果形指数等植物学特征性状进行测定和数据记录，其中果形指数根据公式“果形指数=纵径/横径”进行计算。

将化橘红果实放入烘箱内 60℃ 烘烤至果实恒重，将化橘红干果取出称重，记录果实干重。将化橘红干果打碎磨成粉末，过筛之后结合梁泳仪等^[10]、李锦坤等^[11]、刘佳明等^[12]、李幸穗等^[13]、梁文琳等^[14]（）、刘影和庞富^[15]的研究成果，按照《地理标志产品 化橘红》（DB/T —）^[16]的试验方法，采用紫外分光光度计测定化橘红干果的总黄酮含量，采用高效液相色谱仪对化橘红果中的柚皮苷、野漆树苷含量进行测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件对化橘红种质资源的植株、叶片、花及幼果的各项植物学特征数据进行记录保



存。采用 SPSS 软件对所测定每份化橘红种质资源的植株、叶片、花、幼果等数量性状进行平均值和标准差的计算,并以平均值±标准差的形式表示各项数据;计算每份化橘红种质资源中各项化学成分指标的平均值和标准差。采用 LSD 法计算各化橘红种质资源植物学性状以及有效成分差异,以不同字母表示差异显著 ($P<.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同化橘红种质资源的植株及叶片性状测定结果

2.1.1 不同化橘红种质资源的植株特征测定结果

改接换种两年后,对份化橘红种质资源的植株特征测定结果见表。其中密叶植株冠幅最大,显著大于其余七份种质资源 ($P<.05$),密叶金毛蜘蛛的冠幅最小,显著小于其他种质资源 ($P<.05$),黄绒植株的冠幅大于金钟与凤尾,不过差异不显著,但是黄绒的植株冠幅显著大于乾宁一号、金钱督和陆赠线纹 ($P<.05$),而金钟、凤尾的植株冠幅依次大于乾宁一号、金钱督和陆赠线纹,它们之间的冠幅差异都不显著。从表中可以看出密叶金毛、密叶、金钱督、陆赠线纹及乾宁一号的植株树姿呈半开张状,而黄绒、金钟与凤尾植株树姿呈直立状;密叶金毛、密叶、金钱督、陆赠线纹及乾宁一号的植株树冠形状呈圆头形,而黄绒、金钟与凤尾植株的树冠形状呈椭圆形。从表中可以得到,密叶与黄绒植株长势均显示为强,密叶金毛植株长势则显示为弱,而金钟、凤尾、陆赠线纹和乾宁一号的植株长势均为中等。

2.1.2 不同化橘红种质资源的叶片特征测定结果

份化橘红种质资源的叶片形状、叶尖形状、叶缘及翼叶形状测定结果见表,可见份化橘红种质资源的叶片形状都呈阔披针形,叶缘均呈现波状缘,翼叶形状均呈倒卵形。黄绒、金钟、凤尾、乾宁一号种质资源的植株叶片叶尖形状呈渐尖,密叶金毛、金钱督叶片叶尖形状呈钝圆,密叶金毛叶片的叶尖形状呈短尖。

份化橘红种质资源的叶柄长、叶片长与叶片宽、翼叶长与翼叶宽测定结果见图与图,份种质资源中叶柄最长的为乾宁一号,其次为陆赠线纹、黄绒、金钟、密叶、金钱督与凤尾,最短的为密叶金毛,份种质资源的叶柄长度差异都不显著。从图中可以看出,金钟的叶片最长,之后是陆赠线纹、黄绒与乾宁一号,它们之间叶片长度差异均不显著,而密叶与金钱督的叶片长度显著低于

金钟、陆赠线纹、黄绒与乾宁一号 ($P<.05$),密叶金毛与凤尾的叶片最短,显著短于密叶与金钱督 ($P<.05$);叶面宽度方面,密叶的叶片最宽,其次为金钟、黄绒和陆赠线纹、金钱督、乾宁一号和凤尾,而密叶金毛叶片最窄,显著窄于密叶、金钟、黄绒与陆赠线纹的叶片 ($P<.05$)。

份化橘红种质资源的翼叶最长的为金钟,其次为乾宁一号、黄绒与陆赠线纹,四者翼叶显著长于密叶、金钱督与凤尾 ($P<.05$),而密叶金毛翼叶最短,显著短于其余份种质资源 ($P<.05$)。翼叶最宽的为乾宁一号,其次为金钟、黄绒、陆赠线纹与密叶,这五者翼叶宽度显著大于凤尾与金钱督 ($P<.05$),而密叶金毛翼叶宽度最小,显著小于其余份种质资源 ($P<.05$)。

根据以上份化橘红种质资源的叶片长、宽及翼叶长宽,计算出各种质资源的叶形指数及翼叶指数,结果如图。叶形指数方面最大的为金钟,其次为乾宁一号、陆赠线纹、黄绒与密叶金毛,这五者的叶形指数显著大于金钱督、凤尾与密叶 ($P<.05$)。翼叶指数方面则是密叶金毛最高,显著高于其他份种质资源的翼叶指数 ($P<.05$),其次是金钱督、金钟、凤尾、乾宁一号、陆赠线纹及密叶,者间差异均不显著。

2.2 不同种质资源化橘红的花性状测定结果

份化橘红种质资源的花瓣长与花瓣宽测定结果见图,可见密叶的花瓣最长,其次为金钟,二者的花瓣长度显著高于黄绒、凤尾、乾宁一号与陆赠线纹 ($P<.05$),而金钱督与密叶金毛的花瓣长度最短,显著低于其余份种质资源 ($P<.05$)。花瓣宽度方面同样是密叶最宽,其次为金钟、黄绒与凤尾、乾宁一号以及金钱督,几者间差异不显著,花瓣宽度最小的为密叶金毛,其次为陆赠线纹与金钱督,其中密叶金毛与陆赠线纹的花瓣宽度显著小于密叶、金钟、黄绒与凤尾、乾宁一号 ($P<.05$)。8 份化橘红种质资源的雄蕊高度、雌蕊高度、雄蕊高度差、雌蕊粗度、密盘大小及柱头长宽的测定结果见图 5。从图中可以看出密叶的雄蕊最高,其次为金钟,二者的雄蕊高度显著高于黄绒、凤尾、陆赠线纹、乾宁一号与金钱督 ($P<0.05$),密叶金毛雄蕊高度最低,显著低于密叶、金钟、黄绒、凤尾、陆赠线纹与乾宁一号 ($P<0.05$);雌蕊高度最高的为凤尾,其次为乾宁一号、黄绒、金钟与陆赠线纹,五者雌蕊高度显著高于金钱督与密叶金毛 ($P<0.05$);雌蕊粗度最大的为黄绒,而密叶、金钟、金钱督、凤尾、陆赠线纹与乾宁



一号以及密叶金毛的雌蕊粗度一次减小，彼此之间差异均不显著；雄蕊与雌蕊高度差方面则是黄绒最大，其次为密叶、金钟、凤尾、乾宁一号、陆赠线纹、金钱督与密叶金毛，只有密叶、黄绒、金钟的雄蕊雌蕊高度差与密叶金毛、金钱督的雄蕊雌蕊高度差之间有显著差异 ($P < 0.05$)；8 份种质资源中，黄绒的密盘最大，其次为金钟、密叶、陆赠线纹、密叶金毛、金钱督，密盘最小的是凤尾，彼此之间差异均不显著。8 份种质资源的柱头长度方面以金钟最长，其次为密叶、凤尾、乾宁一号与黄绒，它们的柱头长度显著大于密叶金毛、金钱督与陆赠线纹 ($P < 0.05$)；8 份种质资源中柱头宽度最大的为金钟，其次为密叶，二者柱头宽度显著大于乾宁一号、凤尾与黄绒 ($P < 0.05$)，而乾宁一号、凤尾与黄绒的柱头宽度又显著大于密叶金毛、金钱督与陆赠线纹 ($P < 0.05$)。

2.3 不同种质资源化橘红的胎果性状测定结果

因为份种质资源改接换种后密叶金毛与陆赠线纹长势等各方面较弱，导致两年后未采集到合适胎果，所以这里只将采集到果的密叶、黄绒、金钟、凤尾、金钱督与乾宁一号的份化橘红种质资源的胎果进行形状测定。

图及图是以上采集到果的份化橘红种质资源的胎果鲜重与干重、纵径与横径测定结果。从图中可以看出密叶的胎果鲜重最重，其次为金钟与凤尾，三者的胎果鲜重显著重于乾宁一号与金钱督 ($P < .$)，金钱督的胎果鲜重最小，显著低于密叶、金钟、凤尾、黄绒与乾宁一号 ($P < .$)；等到份化橘红种质资源的胎果全部烘干至恒重之后，对其称重后发现干重最重的还是密叶，其次为金钟、乾宁一号、凤尾与黄绒，干重最小的依然为金钱督，其干重显著低于其余份化橘红种质资源胎果干重 ($P < .$)。从份化橘红种质资源的胎果纵横径测定结果来看 (图)，密叶的胎果横径最大，金钱督的胎果横径最小，显著小于密叶、金钟、凤尾及黄绒 ($P < .$)，而不同种质资源的胎果纵径方面，乾宁一号最大，其次为密叶，二者的胎果纵径显著大于金钟、凤尾与黄绒 ($P < .$)，而金钱督的胎果最小，显著小于其余份种质资源的胎果 ($P < .$)。

将以上份化橘红种质资源的胎果纵径与横径相比计算出果形指数，再将胎果鲜重与干重相比之后的结果见图，可以看出份化橘红种质资源的胎果果形指数最高的为乾宁一号，为.，其次为金钱督 (.)、黄绒 (.)、凤尾 (.)、金钟 (.)与

密叶 (.)。因为果形指数计算公式为纵径/横径，所以当果形指数比值大于1时，也就是乾宁一号胎果的纵径大于横径，果形较修长，金钱督胎果的果形指数近似等于1，纵径几乎等于横径，果形整体成圆球形，而黄绒、凤尾、金钟与密叶的果形指数小于1，横径大于纵径，果形整体呈现更扁的形状。此外，从图中不难看出份化橘红种质资源的干重与鲜重的比值彼此之间相差都不大，差异也不显著。其中干重与鲜重的比值这一指标揭示了这份化橘红种质资源的胎果烘干后的重量只占原来鲜重的%-%，也就是说，在烘干过程中胎果会损失掉原本胎果鲜重约%的水分。

将份化橘红种质资源的胎果烘干后打碎磨成粉末，粉末过筛之后测定其各种质资源胎果的总黄酮含量与水分含量结果见图、图。从图中可以看出黄绒的胎果中总黄酮含量最高，其次为金钱督、金钟与凤尾，而乾宁一号与密叶的总黄酮含量显著低于黄绒、金钱督、金钟与凤尾 ($P < .$)。

测定份化橘红种质资源胎果的柚皮苷与野漆树苷含量结果见图、图。从图中可以看出，乾宁一号的胎果水分含量最高，其次为密叶，二者的胎果水分含量显著高于凤尾、金钟、黄绒与金钱督 ($P < .$)。结合图与图中化橘红胎果的鲜重与纵径横径指标可以推断，由于密叶与乾宁一号的胎果尺寸较大，所以二者的胎果内水分含量较高，进而影响到二者胎果的总黄酮含量比其他种质资源胎果的总黄酮含量低，同样的金钱督的胎果重量与尺寸都偏小，胎果中果肉含量也相对较少，所以水分含量也偏低，进而测定出其总黄酮含量相对较高。整体来看，黄绒、金钟与凤尾的胎果重量与尺寸不大不小，水分含量相对密叶与乾宁一号低，总黄酮含量比二者都高。

图与图结合份种质资源胎果的重量与尺寸来看，由于乾宁一号与密叶的胎果重量与尺寸较大，胎果内有更多的果肉，所以柚皮苷的含量显著低于黄绒、金钱督、金钟与凤尾 ($P < .$)，同时，二者胎果内的野漆树苷含量也低于黄绒、金钱督、金钟与凤尾。金钱督由于胎果较小，果肉较少，其胎果测定出的柚皮苷含量与野漆树苷含量在份化橘红种质资源中均排第二。黄绒与金钟、凤尾在胎果重量尺寸差异均不显著的情况下，柚皮苷含量最高，野漆树苷含量显著高 ($P < .$)。

3 结论与讨论

3.1 结论



综合份种质资源在广东农垦热带作物科学研究所化橘红基地改接换种后植株、叶片、花及胎果植物学特征形的表现以及份种质资源的胎果有效成分来看,密叶、黄绒、金钟、凤尾的植株冠幅大,植株长势较强;叶片性状方面金钟与黄绒叶片与翼叶相对较长,叶形指数相对较高;花的性状方面密叶、金钟、黄绒花瓣长度较长,宽度较宽,雄蕊与雌蕊的高度也相对较高,密盘相对较大,柱头长度与柱头宽度也更长更宽;胎果大小重量方面,黄绒、金钟与凤尾胎果大小重量居中,果形相对较圆。根据陈小红等^[1]对化橘红药材商品规格等级标准的分析以及李琼霞等^[2]对不同直径化橘红果实的柚皮苷含量研究结果来看,黄绒、金钟与凤尾这三个品种的胎果一方面对工厂来说更适合工厂烘干、加工、切片等操作,另一方面这三个品种加工后的化橘红产品更精致美观,有效成分相对较高,也会更受消费者青睐,市场售价也同样较高。

3.2 讨论

3.1.1 化橘红改接换种后植物学特征对种质资源鉴别的影响

化橘红种质资源的辨别与分类对化橘红种植生产具有十分重要的意义,叶宾等^[3]通过一系列植物学分析、干品化学成分分析与分子标记分析鉴定了化州当地份化橘红的种质资源。曹征等^[4]应用主成分分析和聚类分析,从宏观和微观两个层面分析鉴别了化州平定镇及林尘镇等地份化橘红种质资源。徐幸酬^[5]等为了厘清不同化橘红种质资源的区别与各自优势,增加对化橘红种质资源的认识,其采用了多种成分指标测定方法,并结合农艺性状对份化州当地化橘红种质资源进行了评价分析。周英彪等^[6]基于 HPLC 技术,对化橘红“密叶金毛”花蕾、盛花、幼果与成果等物候期样本中香豆素类物质进行分析,建立了化橘红“密叶金毛”花蕾、盛花、幼果与成果等物候期的指纹图谱,保障了化橘红“密叶金毛”的栽培种植质量。综上所述,改接换种后的化橘红种质资源的植物学性状对化橘红的种质鉴别有较大的影响,缺少相关的性状数据会导致化橘红种质资源管理稍显欠缺,会从一定程度上阻碍化橘红的生产与产业发展^[7]。

3.1.2 化橘红改接换种后有效成分含量差异原因

化橘红理化指标是鉴别化橘红胎果质量重要指标^[8],刘影和庞富^[9]对近年来的化橘红胎果内有效成分柚皮苷的提取工艺与检测方法进行了比较研

究,发现影响不同化橘红胎果内柚皮苷含量的因素包括产地与品种、果龄、果实部位及炮制方法等。根据李琼霞等^[2]的研究成果,不同产地不同品种的化橘红种质资源的胎果,其所含的有效成分含量存在差异。同时,李宇邦等^[10]通过一测多评法比较了毛橘红与光橘红种黄酮类成分含量,发现毛橘红与光橘红中的柚皮苷、野漆树苷、柚皮素含量存在显著差异。以上几人的研究成果与本实验研究的结果基本一致,黄绒、金钟与凤尾三种化橘红种质资源的胎果的总黄酮含量、柚皮苷与野漆树苷含量与密叶、金钱督和乾宁一号三种化橘红种质资源的胎果的有效成分存在差异,由于密叶种质资源的胎果较大,其胎果内水份含量较高,所以测定其有效成分后,总黄酮含量、柚皮苷含量与野漆树苷含量偏低,而金钱督种质资源胎果相对较小,所以其胎果内的总黄酮含量、柚皮苷含量与野漆树苷含量高于密叶。

3.1.3 化橘红改接换种对于化橘红产业发展的意义与展望思考

梁一柱等^[11]对近年来化橘红在药品和食品领域的应用研究进行分析,得出了化橘红在药品与食品领域有非常广阔的市场前景的结论。因为化橘红在药品与食品的应用研究离不开化橘红的高效种植,而化橘红的高效种植很大一部分又取决于化橘红种质资源的鉴定评价对种植者的参考与指导,当种植者参考化橘红种质资源鉴定评价想对化橘红进行更新或再植,在不影响产量的情况下就会考虑到改接换种,所以改接换种对于化橘红产业发展具有一定的意义。

因为化橘红树在改接换种的前两年主要营养用于供给植株枝条与叶片的生长,结果量相对偏少,所以可以考虑将化橘红的花进行采收加工,以获取一定的经济效益。谭岸等^[12]通过水蒸气蒸馏法提取化橘红精油,发现化橘红精油代表性挥发性成分为烯烃类、醇类和酯类,而戚怡^[13]等采用低温变压浸出法提取化橘红花、果中挥发油,再用精馏法分离、气相色谱-质谱联用技术分析挥发油中轻、重组分,发现化橘红的花与果的挥发油成分与含量都比较相似,同样的刘影等^[9]发现化橘红的花含有非常丰富的挥发油,具有巨大的开发应用价值。因此,当化橘红种植者想更换产量更高、高品质更好的化橘红种质资源时,在化橘红改接换种的过程中可以换一种思路——采收化橘红花进行加工,探索出别样的化橘红产业发展之路。



参考文献

- [1] 中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社, .
- [2] 陈旺, 周郁成. "南方人参"化橘红[J]. 源流, (0): -.
- [3] 陈美桢, 王娟. 化橘红的药用和保健功能的研究进展[J]. 中国食品添加剂, (0): -. DOI: /j.issn-....
- [4] Peng Y, Hu M J, Lu Q, et al. Flavonoids derived from *Exocarpium Citri Grandis* inhibit LPS-induced inflammatory response via suppressing MAPK and NF- κ B signalling pathways[J]. Food and Agricultural Immunology, (0): -.
- [5] 苏志鹏. 化橘红活性成分的综合利用及对降血糖血脂活性的研究[D]. 广州:广东药科大学, .
- [6] Zhao Y, Kao C P, Liao C R, et al. Chemical compositions, chromatographic fingerprints and antioxidant activities of *citri exocarpium rubrum*(juhong)[J]. Chinese Medicine, (0): -.
- [7] 张刊, 张双双, 张百霞. 化橘红黄酮类化学成分研究进展[J]. 医学研究与教育, (0): -.
- [8] 梁一柱, 陈梅萍, 胡珍才, 等. 化橘红在药品和食品领域应用研究进展[J]. 亚太传统医药, (0): -.
- [9] 叶宾, 黄洁文, 李宇, 等. 份化橘红种质的鉴定研究[J]. 热带作物学报, (0): -.
- [10] 曹征, 陈国军, 何春玲, 等. 化州市化橘红种质资源主成分分析和聚类分析[J]. 中国农学通报, (0): -.
- [11] 梁泳仪, 肖冬悦, 王宏, 等. 化橘红黄酮深共熔溶剂提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, (0): -. DOI: /j.spjx... .
- [12] 梁崇润, 李守锦, 李国武, 等. 化橘红改接换种技术[J]. 中国热带农业, (0): +.
- [13] 陈梅珍, 马静燕. 无公害化橘红病虫害的综合防治技术[J]. 现代农业科技, (0): -.
- [14] 陈小红, 陈康, 潘超美, 等. 化橘红药材商品规格等级标准分析[J]. 中国实验方剂学杂志, (0): -. DOI: /j.cnki.syfjx. .
- [15] 梁泳仪, 肖冬悦, 王宏, 等. 化橘红黄酮深共熔溶剂提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, (0): -.
- [16] 李锦坤, 金刚亮, 王艳慧, 等. 化橘红提取物的制备工艺优化及其降脂作用[J/OL]. 现代食品科技, [--]. https://doi.org/.j.mfst.-....
- [17] 刘佳明, 陈洁, 张恩蓓, 等. 近红外光谱法快速测定化橘红中柚皮苷和野漆树苷的含量[J]. 中南农业科技, (0): +.
- [18] 李幸穗, 黄淑慧, 郭俐麟. 紫外可见分光光度法测定化橘红中总黄酮的含量[J]. 广州化工, (0): -.
- [19] 梁文琳, 林泳仪, 吴彩霞, 等. 化橘红有效成分提取、检测及药理作用的研究进展[J]. 广州化工, (0): +.
- [20] 刘影, 庞富. 化橘红有效成分柚皮苷的研究进展[J]. 粮食与油脂, (0): -.

- [21] 广东省质量技术监督局. 地理标志产品 化橘红: DB/T—[S]. 化州: 化州市技术监督协会, .
- [22] 李琼霞, 黎晓欣, 谢承恩, 等. 不同直径化橘红果实中柚皮苷含量的比较[J]. 中国当代医药, (0): -.
- [23] 徐幸酬, 王文涛, 罗华生, 等. 基于农艺性状及药效成分对道地化橘红种质的评价与分析[J/OL]. 亚太传统医药, [--]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/.R. . . .html.
- [24] 周英彪, 陈源星, 李梅菁, 等. 不同物候期“密叶金毛”化橘红 HPLC 指纹图谱的建立[J]. 广东石油化工学院学报, (0): -.
- [25] 李润唐, 李映志, 张映南, 等. 化橘红种质资源的植物学性状观察[J]. 广东农业科学, (0): -.
- [26] 李宇邦, 肖凤霞, 宋小欣, 等. 一测多评法比较毛橘红与光橘红种黄酮类成分含量[J]. 中草药, (0): -.
- [27] 谭岸, 陈杵生, 马雨茵, 等. 化橘红精油香气成分分析及品质检测[J/OL]. 现代食品科技, [--]. https://doi.org/.j.mfst.-....
- [28] 戚怡, 陈起周, 欧阳茜茜, 等. 化橘红花、果中挥发油成分的比较[J]. 广东医科大学学报, (0): -.
- [29] 刘影, 彭维, 胡双飞, 等. 化橘红成花过程挥发油成分的动态变化及活性分析[J]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文), (0): -. DOI: /j. cnki. acta. snus. ZR.



橡胶林下种植南药的可行性 与发展策略探讨

殷华峰

广东农垦南华农场有限公司,广东徐闻 524100

摘要: 近几年随着农业产业结构的不断调整和优化,林下经济作为一种新型的农业发展模式,逐渐受到人们的关注。橡胶林作为我国重要的经济林之一,具有广阔的林下空间。本文通过对橡胶林的生态环境特点以及南药的生长习性进行分析,探讨了橡胶林下种植南药的可行性,并提出了相应的发展策略,旨在为促进橡胶林下经济的发展提供理论依据和实践指导。

关键词: 橡胶林; 南药; 林下种植; 可行性; 发展策略

Feasibility and development strategy of planting southern medicine under rubber forest

YIN Huafeng

Abstract: With the continuous adjustment and optimization of the agricultural industrial structure, the underforest economy, as a new type of agricultural development model, has gradually attracted people's attention. As one of the important economic forests in China, rubber forest has a broad underforest space. Through the analysis of the ecological environment characteristics and the growth habits of rubber forest, this paper discusses the feasibility of planting southern medicine under rubber forest, and puts forward the corresponding development strategy, aiming to provide theoretical basis and practical guidance for promoting the development of rubber forest economy.

Key words: rubber forest; southern medicine; undergrowth planting; feasibility and development strategy

一、引言

1. 国务院重视,推进国家天然橡胶保护区划定和建设工作。

一是根据《国务院关于建立粮食生产功能区和重要农产品生产保护区的指导意见》(国发〔2017〕24号)要求,天然橡胶基地划入重要农产品保护区。国家每年安排中央预算内投资用于农垦天然橡胶基地建设,重点支持胶园更新或新植基地、胶园配套设施建设,改善和提升天然橡胶生产能力。

二是 2019 年《中共中央国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》要求,在提质增效基础上,巩固棉花、油料、糖料、天然橡胶生产能力,加快推进并支持农业走出去,加强“一带一路”农业国际合作,主动扩大国内紧缺农产品进口,拓展多元化进口渠道,培育一批跨国农业企业集团,提高农业对外合作水平,继续巩固天然橡胶生产能力,

改变长期依赖进口的局面。

三是国家农业农村部提出“南(橡)胶北(大豆)”产业发展规划。规划指出广东农垦要发挥自身优势,大力发展天然橡胶产业;同时积极创造条件,到适宜植胶的东南亚国家发展橡胶产业,将生产的天然橡胶运回国内满足国内需求。2020 年农业农村部农垦局提出做好“十四五”顶层设计。科学编制《天然橡胶生产能力建设规划(2021—2025 年)》,研究确定建设目标、工程任务、投资测算,着力提高我国天然橡胶综合生产能力,保障国民经济关键领域用胶安全。启动天然橡胶生产保护区精准支持政策研究。围绕建设好、管护好天然橡胶生产保护区,研究协调创设保护区精准支持政策。

橡胶树是我国热带地区重要的经济作物之一,其种植面积广泛。然而,单纯的橡胶种植在经济效益和生态效益方面存在一定的局限性。近年来,林下经济作为一种创新的发展模式,为橡胶林的综合利用提供了新的思路。南药作为我国传统的中药材,具有丰富的药用价值和市场需求。在橡胶林下种植南药,不仅可以提高土地利用效率,增加农民收入,还能改善生态环境,实现经济效益和生态效益的双赢。

二、橡胶林的生态环境特点

1. 橡胶林多分布在热带和亚热带地区,这些地区气候温暖湿润,雨量充沛。年平均温度较高,有利于橡胶树的生长。

2. 土壤一般为砖红壤、赤红壤等,土层较为深厚,但肥力相对较低。橡胶树生长过程中会大量吸收土壤中的养分,需要进行施肥管理以维持土壤肥力。

作者简介 殷华峰(1990—),男,现为广东农垦南华农场有限公司生产经营部副部长、农艺师;研究方向:作物栽培研究。

3. 橡胶林通常以单一的橡胶树种植为主,树种单一性导致生态系统的生物多样性相对较低。林下植被相对稀疏,主要是一些耐阴的草本植物和小型灌木。这些植被在一定程度上可以保持水土、调节气候,但种类和数量有限。

橡胶林通常具有较高的郁闭度,林下光照强度较弱,空气湿度较大,土壤肥力相对较低。同时,橡胶林的根系分布较浅,对土壤水分和养分的竞争相对较小,为林下植物的生长提供了一定的空间和资源。

三、南药的生长习性

1. 南药多生长在热带和亚热带地区,这些地区气候温暖湿润,气温较高且稳定。年平均温度一般在 20℃ 以上,部分南药甚至需要更高的温度才能良好生长。

2. 对湿度要求较高,通常生长在年降水量



丰富的地区，一般年降水量在 1000 毫米以上。高湿度的环境有利于南药植株保持水分，进行正常的生理代谢。

3. 不同的南药对土壤的要求有所差异，但总体来说，较为喜欢肥沃、疏松、排水良好的土壤。

4. 部分南药需要充足的阳光照射，如砂仁等。在阳光充足的环境下，这些南药能够进行充分的光合作用，生长旺盛。也有一些南药喜欢半阴或阴生环境，如石斛等。过强的阳光可能会对它们造成伤害，影响生长发育。

南药种类繁多，不同的南药品种对生长环境的要求各不相同。但总体来说，大多数南药具有喜阴、耐湿、适应性强等特点，适合在林下生长。例如，砂仁、益智、草果、良姜等南药品种，在弱光、高湿的环境下能够良好生长。

四、橡胶林下种植南药的可行性

1. 生态互补性

橡胶林的生态环境与南药的生长习性具有一定的互补性。橡胶林提供的遮阴和保湿条件，现在部分橡胶种植规格 4*12 米或者 4*20 米，以这样行距间种南药能够满足南药对光照和湿度的需求；而南药的种植可以增加土壤的覆盖度，减少水土流失，改善土壤结构，提高土壤肥力。

2. 经济效益

橡胶林下种植南药可以实现一地多用，增加单位面积的产出。南药的市场价格较高，种植南药可以为农民带来额外的经济收入，提高橡胶林的综合经济效益。

3. 政策支持

国家对林下经济的发展给予了政策支持，鼓励农民充分利用林下空间发展特色种植、养殖等产业。这为橡胶林下种植南药提供了良好的政策环境。

五、橡胶林下种植南药的发展策略

1. 科学选择南药品种

根据橡胶林的生态环境特点和市场需求，科学选择适合在橡胶林下种植的南药品种。在选择品种时，要充分考虑南药的生长习性、药用价值和市场前景，确保种植的南药能够适应林下环境并取得较好的经济效益。

2. 合理规划种植布局

根据橡胶林的郁闭度、地形地貌等因素，合理规划南药的种植布局。在郁闭度较高的区域，可以选择种植喜阴的南药品种如石斛和菇类等；在郁闭度较低的区域，可以适当种植喜光的南药品种如良姜、五指毛桃、砂仁等。同时，要注意南药与橡胶树之间的距离，尽量保持 2-4 米，避免相互竞争资源，也保留工作行以便后期机械作业。

3. 加强技术培训与指导

为农民提供橡胶林下种植南药的技术培训和

指导，提高农民的种植技术水平。培训内容包括南药的种植、管理、病虫害防治等方面，确保农民能够掌握科学的种植方法，提高南药的产量和质量。

4. 完善市场销售渠道

建立健全南药的市场销售渠道，加强与药企、药材经销商的合作，确保种植的南药能够及时销售出去。同时，要积极发展电子商务，拓宽南药的销售渠道，提高南药的市场竞争力。

5. 加强政策扶持

应加大对橡胶林下种植南药的政策扶持力度，在资金、技术、地租等方面给予优惠政策，鼓励农民积极参与橡胶林下种植南药产业的发展。

六、讨论与结论

橡胶林下种植南药是一种具有可行性和发展潜力的林下经济模式。通过科学选择南药品种、合理规划种植布局、加强技术培训与指导、完善市场销售渠道和加强政策扶持等措施，可以充分发挥橡胶林的生态优势和土地资源，实现橡胶林的可持续发展和农民的增收致富。在未来的发展中，我们应进一步加强对橡胶林下种植南药的研究和实践，不断探索创新，为推动林下经济的发展做出更大的贡献。



粉蕉抗逆生理及成熟基因表达的 研究

陈蔚楠, 陈 苗*

(广东海洋大学, 广东湛江, 524088)

摘要: 为深入了解粉蕉 (*Musa ABB Pisang Awak*) 抗逆境生理的特性和反应机制, 其种植范围、生长发育、产量及品质深受环境的影响。通过广泛的文献回顾, 从逆境胁迫的抗寒性、抗旱性、抗病性三个核心方面及香蕉果实发育成熟过程, 综述了粉蕉应对逆境环境的生理机制和粉蕉成熟过程果实香气物质变化及相关基因的表达特性。粉蕉在逆境胁迫下可以启动与逆境相应的基因形成蛋白, 调节细胞溶质, 强化细胞膜机制以增强对逆境的抗性和耐性。粉蕉在低温胁迫下对果实产生后熟障碍, 了解其基因表达与环境因素的关系有利于粉蕉果实成熟和储存。随着育种技术和基因组学的发展, 培育不同品种的粉蕉, 其抗逆性较其他香蕉品种强。因此, 深化粉蕉抗逆境和果实成熟机制的研究, 能够为粉蕉的逆境适应性改良、新品种的选育及粉蕉的贮运保鲜提供理论依据。

关键词: 粉蕉; 抗逆; 机制

引言

香蕉 (*Musasp.*) 隶属于芭蕉科 (*Musaceae*)、芭蕉属 (*Musa*), 是一种关键草本单子叶、多年生大型草本果树[1,3]。在香蕉种质资源的研究领域内, 国内外广泛采用多种分子标记技术, 诸如 SSR (简单重复序列)、AFLP (扩增片段长度多态性)、ISSR (间隔简单重复序列)、RAPD (随机扩增多态性 DNA) 及 SRAP (序列相关扩增多态性) 等, 这些技术被有效地应用于香蕉品种的遗传多样性评估、种群结构解析及分类鉴定等关键问题中[7-10]。其中, Wang Z 等学者本研究成功描绘了双单倍体野生香蕉 *Pisang Klutuk Wulung* (BB 基因组) 的精细基因组图谱, 通过重测序 9 种香蕉种质及转录组测序 44 份样品, 获取了高质量的 B 基因组数据。现代可食用香蕉的多样性源于 *M. acuminata* (A 基因组) 与 *M. balbisiana* (B 基因组) 之间的广泛杂交。研究发现, 多倍体香蕉中的 A、B 亚基因组间存在频繁的同源交换与重组现象, 体现 B 基因组对抗逆及果实成熟的贡献。周海琪等学者认为不能使用单一的分类方法, 通过 SRAP 分子标记技术对 89 份香蕉种质资源的亲缘关系进行分析和实证, 其相似系数变化范围在 0.241~1.000 之间, 当相似性系数为 0.49 时可以将分为六大类, 分别是香牙蕉、贡蕉和龙牙蕉为主的第一大类 (AAA、AA、AAB 基因型), 粉大蕉、粉蕉和 BB 类野蕉为主的第二大类 (ABB、

BB 基因型), 大蕉、阿宽蕉类野蕉为主的第三大类以及其他三类群。其中粉蕉、粉大蕉与 BB 基因型的野蕉亲缘关系较近[5]。

我国香蕉包括的主要品类有香芽蕉、粉蕉、贡蕉、大蕉及加工蕉等。粉蕉品种包括粉杂 1 号 (即苹果蕉)、广粉 1 号、金粉 1 号、热粉 1 号、青粉 1 号、矮粉 1 号等[6]。“育粉 2 号”和“育粉 3 号”是由“金粉 1 号”田间变异而来, “育粉 5 号”和“育粉 6 号”由“金粉 1 号”组培诱变而来, “青粉 1 号”是由“中粉 1 号”组培无性系而来[11-15]。“育粉 6 号”与“育粉 5 号”两者共同之处时抗 (耐) 香蕉枯萎病的品种, 均具备中矮秆的特性, 在正常且充分的栽培条件与肥水供给下, 果实品质优异, 果指饱满, 横切面接近圆形, 果棱不突出, 且果皮光滑。株高上也相似, 均控制在 3.0m 至 3.5m 之间[4,13-14]。

香蕉生长发育过程中, 幼苗的地上部和地下部经常受到水分胁迫、寒冷胁迫、盐胁迫和病害胁迫而影响香蕉果实的产品和品质, 对于枯萎病、叶斑病、黑星病等病害以品种选育为主。次级代谢物质对果实的品质、抗逆境有关。香蕉属于呼吸跃变型水果, 具有后熟作用, 不同成熟阶段有不同的营养成分变化[29-30]。本文综述逆境胁迫下的粉蕉的抗逆生理特征, 从抗病性、抗旱性、抗寒性等三方面综述粉蕉逆境生理机制和应答反应, 并综述粉蕉果实成熟的特征、相关代谢及基因鉴定, 为选育优良抗逆性和果实品质的粉蕉新品种提供理论依据。

粉蕉逆境胁迫的生理生化研究

粉蕉病害的生理生化研究

香蕉枯萎病 (*Fusarium wilt of banana*, FWB) 又称巴拿马病 (*Panama disease*), 是由

作者简介: 陈蔚楠 (1996-), 女, 广东中山人, 硕士研究生, 研究方向: 热带农业生物技术研发与应用。*通讯作者, 陈苗 (1984-), 女, 副教授, 博士; 研究方向: 热带农业生物技术研发与应用; E-mail: 351557790@qq.com。

香蕉枯萎病菌 (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc) [17]。宋晓兵等学者通过组培苗伤根接种法, 研究了蕉种质对香蕉枯萎病菌 4 号生理小种的抗性水平, 结果表明, 粉杂显现中抗, 广粉 1 号和粉蕉显现高感[16]。广粉 1 号抗叶斑病、黑星病、炭疽病、香蕉束顶病等[68]。热粉 1 号、热粉 1 号都耐叶斑病, 不抗枯萎病[70-71]。“育粉 6 号”与“育粉 5 号”作为抗 (耐) 香蕉枯萎病的粉蕉新品种, 其香蕉枯萎病发病率显著低于金粉 1 号, 对 Foc4 (发病率为 0.1%~5.0%) 和 Foc1 (发病率为 1.0%~10.0%) 小种均具强抗性, 宿根栽培抗病性佳, 均展现出显著的抗病优势及对不



良环境的适应性[4,13-14]。

国内外学者均认为香蕉与病原菌互作的过程中,会通过活性氧等抗性物质以增强细胞壁厚度及结构和合成抗菌肽[41],并且香蕉的防御酶体系由多种关键酶协同构成,包括过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、多酚氧化酶(PPO)、苯丙氨酸解氨酶(PAL),以及几丁质酶与 β -1,3-葡聚糖酶[19-23]。外切几丁质酶活性的大小与香蕉品种的抗、感病之间呈正相关;PO酶和内切几丁质酶活性的大小和变化趋势与香蕉品种的抗、感病性之间不存在相关性[38]。还有研究发现,漆酶4B、谷胱甘肽硫转移酶、ClassIII型过氧化物酶、类几丁质酶(putative chitinase)和纤维素合成酶催化亚基等5个基因在抗病品种中的相对表达量均高于感病品种。克隆具有分泌几丁质酶的KKWB-5菌株诱导并设置对照,证明分泌有信号肽的几丁质酶可以引导外源抗病蛋白分泌至内生细菌胞外从而抑制其生长[33-34]。对抗病次生代谢产物的合成和活性氧迸发起关键作用或对病菌有拮抗作用。CDPKs参与香蕉内在抗病应答。[40]吴超等学者设置对照组探究粉蕉防御酶与抗枯萎病间的关系,结果表明,CAT、POD、PPO防御酶活性大小和抗感品种与未接种防御酶活峰值增幅都与品种抗病性呈正相关,SOD防御酶活性变化与抗病性关联较小,其复杂性需进一步研究[32]。接种Foc4后,PAL是苯丙烷代谢的启动酶,调控该途径首步反应,对苯丙烷代谢至关重要,其产物在植物成长及逆境适应中功能显著。曾坚等学者从粉蕉基因组中鉴定出8个MaPAL基因分别命名为MaPAL1~MaPAL8,除了MaPAL6外其他香蕉PAL基因和拟南芥及水稻的PAL基因聚在一起,从家族基因结构及蛋白质结构域表明8个MaPAL基因属于PAL家族基因。MaPAL2和MaPAL8基因在Foc4浸染下表现出下调,可能响应Foc4病菌的侵染[19]。Xingchen Jia等学者认为,利用拟南芥HOS15蛋白序列MaHOS15可能通过水杨酸的关键调控因子相互作用介导香蕉枯萎病,把易感品种和抗病品种进行Foc4接种,结果表明,ManPR4和ManPR11在易感品种中下调,在抗性品种中上调[36]。还有研究是用内生细菌芽孢杆菌(*velezensis* EB1)生物预处理生根后期的香蕉组培苗能有效地抵御Foc的入侵,EB1处理的菌丝则出现明显的破坏,如细胞完整性丧失、明显的质体膨胀、严重的空泡化、核结构异常和细胞器退化等,且通过调控植物SA、JA的防御信号通路以增强抗病性[39]。

香蕉束顶病(banana bunchy top virus, BBTV)是香蕉最重要的病毒病,BBTV主要感染芭蕉科,香蕉品种普遍易感,大蕉和粉蕉较抗病。实验选香蕉4种及抗性大蕉、粉蕉各1种为寄主。发现粉蕉上广州天河分离物为代表的7个分离物(属

NSP组)病毒易接种,而高州分离物(属NS组)病毒接种失败,揭示广东BBTV存在NSP和NS两个不同株系[26]。Yu, N.T.等学者根据香蕉转录组测序数据,利用香蕉叶cDNA样本,采用RT-PCR方法克隆E3泛素蛋白连接酶基因。结果表明,在香蕉叶总蛋白中检测到约25 kDa的特异性免疫反应带,表明该多克隆抗体是针对香蕉E3泛素蛋白连接酶的特异性抗体,证明香蕉E3泛素蛋白连接酶参与抗香蕉束顶病毒的机制[27]。陈康对粉蕉接种广东地区的香蕉细菌性软腐病菌,结果表明香蕉细菌性软腐病的病原菌存在地理差异性的致病性分化。还选取Xj7-1-4做为接种菌,选取粉蕉植株生长的4个阶段作为接种材料,结果表明,9个月以下粉蕉抗性差,6个月生长期的粉蕉病情指数最高[28]。综上所述,粉蕉抵御病原菌浸染的能力与其体内相关防御酶和复杂的基因诱导机制有关。

粉蕉盐胁迫的生理生化研究

在盐胁迫下乙烯或其前体氨基环丙烷羧酸(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase, ACC)大量生成,诱导修复因子基因的表达[50]。苯丙氨酸解氨酶(PAL)能将L-苯丙氨酸转化为反式肉桂酸,影响次生代谢产物合成,会相应非生物环境胁迫[19]。CDPKs在植物干旱中促进相关胁迫应答或信号分子的处理[40]。脱落酸(Abscissic acid, ABA)能提高植物耐盐性,土壤盐渍化后,ABA诱导植物增强细胞膜渗透调节,降低离子含量提高PEP羧化酶活性[24]。NHX通常指的是钠氢交换体(Sodium/Hydrogen Antiporter)基因家族,植物Na⁺/H⁺反转运蛋白(NHXs)是一种定位于细胞膜的蛋白,其作用是维持细胞Na⁺/K⁺和pH的稳态。盐胁迫响应信号通路SOS(Salt Overly Sensitive)信号通路中关键Na⁺/H⁺转运蛋白SOS1,能将多余的Na⁺挤出细胞,它们都参与植物对盐分胁迫的响应[52-54]。还有研究表明甘露醇和高盐胁迫处理下,MaPIP2-6基因粉蕉在处理早期表达量轻微下降,随后被诱导并达到最大值,该基因可能参与盐胁迫应答[55]。有学者证明MaPIP2-7的过表达减轻盐胁迫下细胞膜的损伤、提高了渗透适应性和ABA水平,降低了Na⁺和K⁺的含量,提高了K⁺/Na⁺的比值[66]。周双云研究盐胁迫下巴西蕉和粉蕉生理指标的变化,利用主成分分析筛选出叶的MDA含量、叶的可溶性糖含量、根的MDA含量、根的SOD、根的可溶性糖含量、根的脯氨酸含量、根的可溶性蛋白含量、叶的SOD、根的质膜透性作为香蕉盐胁迫生理响应的重要评价指标[44]。

Wei Hu等学者研究ABA信号传导核心成分的PYL-PP2C-SnRK2家族与巴西蕉(BX)和粉蕉(FJ)这两个栽培品种对非生物胁迫响应。结果表明,



盐处理下, 1/21 PYLs、10/84 pp2s 和 0/11 SnRK2s 在 BX 中显著诱导, 而 1/21 PYLs、6/84 pp2s 和 0/11 SnRK2s 在 FJ 中显著上调, 10 个基因 (MaPYL-8、-24、MaPP2C-20、-39、-47、-52、-53、-57 和 MaSnRK2-9、-10)、5 个基因 (MaPYL24 和 MaPP2C-67、-77、-80、-83) 和 14 个基因 (MaPP2C-87、-83、-67、-52、-57、-61、-85、-25、-9、-8、-51、-13、-76 和 SnRK2-9) 在 FJ 中分别通过盐处理显著诱导 (基于 Log_2 的倍数变化 >1 ; P 值 <0.05), A 基因组里 MaPP2C-44 和-63 在盐处理后在 FJ 中表现出上调 (如图 1)。王蕾等学者对粉蕉设置对照并盐处理以分析植株各部位的营养元素及耐盐机制, 当盐浓度 $>0.01\%$ 时, 随着盐浓度的升高, 降低了粉蕉从土壤中吸收养分的能力, 这表明土壤在水势较低时, 土壤与跟细胞间的渗透压之差变低, 根细胞难吸水, 再加上盐离子会与其他营养元素竞争使得粉蕉体内营养元素降低; 由于叶片和球茎可能具有选择性吸收 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的能力, 叶片的全镁、全钙含量下降速度较其他部位慢; 细胞为了保持胞内稳定, 会通过外排 Na^+ 或者调节 Na^+ 在不同部位的分布, 可能是将较多的 Na^+ 贮存于根部, 从而阻止 Na^+ 向叶片运输及 Na^+ 在运输过程中被茎木质部或韧皮部传递细胞吸收[42]。曾坚等学者分析不同逆境条件下 MaPAL 家族基因的表达情况发现在盐胁迫下, MaPAL1、MaPAL7 表现出上调, 没有基因呈现出下调, 表明 MaPAL1、MaPAL7 可能对盐胁迫响应[19]。王文昌研究探讨了盐胁迫下香蕉幼苗的钙信号系统, 发现 NaCl 胁迫影响钙离子分布, 增强钙调蛋白 (CaM) 和钙泵 (Ca^{2+} -ATPase) 活性及基因表达。特别指出, 粉蕉在盐胁迫下根部的 Ca^{2+} -ATPase 基因表达显著变化, 且趋势先升后降, 可能与其较高耐盐性相关。通过调控 Ca^{2+} 稳态, 香蕉幼苗增强了盐胁迫适应能力, 粉蕉表现尤为显著。唐宇其等学者克隆粉蕉 1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC) 氧化酶 (ACO) 基因 (MbACO2), 并进行表达分析, 为研究粉蕉 ACO 基因家族在逆境胁迫过程中的功能作用, 结果表明, 经过高盐处理 (300 mmol/L 氯化钠) 后, 盐胁迫处理能诱导 MbACO2 基因上调表达 (如图 2) [51]。徐亚利用不同基因型的巴西蕉 (*M. acuminata* L. AAA group) 和粉蕉幼苗为材并从香蕉 A、B 基因组数据库获取 NHX 和 SOS1 基因和蛋白序列, 对 MaNHXs、MbNHXs、MaSOS1、MbSOS1 进行分析, 结果表明, 从香蕉 B 基因组数据库鉴定到 9 个 MbNHXs 基因家族成员定位在液泡、细胞膜; 从 B 基因组中获得 1 个香蕉质膜 Na^+/H^+ 逆转运蛋白基因 MbSOS1, 该基因有 5 种 (Me JA、GA、SA、IAA、ABA) 和 4 种 (GA、IAA、ABA、Me JA) 植物激素响应元件; 幼苗在 200 mmol $\cdot$ L $^{-1}$ NaCl 盐处理下, MaNHXs 均在香

蕉根、假茎和叶片中表达, MbSOS1 基因主要在假茎中受 NaCl 诱导表达; MaSOS1 基因和 MbSOS1 基因可以使酵母突变体 AXT3 的耐盐性和耐高温性显著提高[43]。MaROP 5g 基因植株的耐盐性增强可能与其降低了细胞膜损伤、提高了细胞内 K^+/Na^+ 比值和 Ca^{2+} 浓度有关, 该基因增加了盐敏感 (SOS) 途径基因和钙信号途径基因的表达[61]。综上所述, 粉蕉抵御盐胁迫的机制涉及复杂的生理和分子机制, 包括转录因子的调控作用、植物激素的信号传递及离子平衡维持, 这些机制共同作用以提高粉蕉的耐盐性。

粉蕉水分胁迫的生理生化研究

水分胁迫是影响粉蕉生长的主要逆境之一。“金粉 1 号”粉蕉较抗旱但不耐涝, 热粉 1 号耐旱 [70-71]。从香蕉叶片渗透物质来看, 干旱胁迫下, 植物细胞内积累各种渗透调节物质如脯氨酸可溶糖、可溶性蛋白等物质降低渗透势, 进行渗透调节。以维持细胞内水分平衡; 从香蕉叶片细胞质膜来看, 干旱胁迫下, 叶片细胞膜系统在氧自由基作用下产生膜脂过氧化作用, 膜的通透性变大、电解质外渗以及积累丙二醛等有毒物质, 容易导致细胞死亡, 过氧化物酶 (POD) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 能够迅速清除细胞内多余的氧自由基维持膜脂系统的稳定[57, 72]。此外, 水分胁迫还会激活植物体内的植物激素如脱落酸 (ABA) 的信号传导途径, 调控与抗逆相关的基因表达 (Yang et al., 2015)。脱落酸 (Abscisic acid, ABA) 能提高植物抗旱性, 土壤干旱时, ABA 会诱导叶片细胞质膜间的信息传递, 使其叶片气孔不均匀关闭, 减少水分蒸腾作用而增强植物抗旱性[24]。干旱条件下, 乙烯的生成抑制 ABA 诱导气孔关闭, 水涝条件下引起缺氧, 乙烯增加使乙烯应答基因家族表达量上调[50]。在植物中 ABA 受体作为 ABA 信号途径中保守参与植物抗旱响应[37]。有学者证明 MaPIP2-7 的过表达在干旱条件下对香蕉膜损伤、细胞渗透平衡和 ABA 水平降低[66]。曾坚等学者分析不同逆境条件下 MaPAL 家族基因的表达情况发现在渗透胁迫下, MaPAL1、MaPAL3、MaPAL4、MaPAL7 表现出上调, 没有基因呈现出下调, 表明 MaPAL1、MaPAL3、MaPAL4、MaPAL7 可能对渗透胁迫响应[19]。Wei Hu 等学者研究 PYL-PP2C-SnRK2 家族与粉蕉胁迫响应认为其转录基因可能对干旱存在诱导。学者研究粉蕉 ACO 基因家族在逆境胁迫过程中的功能作用, 经过干旱 (200 mmol/L 甘露醇) 处理后, 结果表明, 干旱胁迫处理能诱导 MbACO2 基因上调表达 (如图 2) [51]。何海旺等学者以可溶性蛋白含量、脯氨酸含量、电导率、丙二醛含量、POD 活性和 SOD 活性 6 项生理指标对 5 种香蕉种植进行抗旱评价, 抗旱能力大小顺序依次为: 金粉 1 号 $>$ 广东粉蕉 $>$



粉杂>HA>桂蕉 6 号[58]。通过 ^{13}C 标记实验, Vantyghem 等人发现水分胁迫和吸芽(sucker)存在均会增加碳素向储存组织的分配, 但当两者同时存在时, 会导致碳素可利用性不足, 从而减少粉蕉块根中淀粉的积累和吸芽的碳素分配[60]。香蕉干旱胁迫下渗透调节物质主要集中在地上部叶片, 地下部根部主要是水分和矿质元素的运输, 对 2 种香蕉(帝王蕉和粉蕉)幼苗叶片干旱胁迫的研究证实可溶性蛋白质和可溶性糖含量随干旱程度越强而增加, 根系渗透调节物质含量为变化且重度胁迫[63]。在低温、盐和干旱胁迫下, 粉蕉(FJ)的 MaROP-3b、-5a、-5c、-5f、-5g、-6 基因表达量显著高于对照(FPKM > 8.9)。在渗透处理下, MaROP 6 在 FJ 中上调(FPKM > 2.3)[61]。

粉蕉寒冷胁迫的生理生化研究

寒冷胁迫会导致粉蕉细胞膜结构损伤和代谢紊乱。一般认为香蕉的耐冷性与生物膜脂质组分、比例结构、膜脂中不饱和脂肪酸的含量及生物膜相关蛋白质有关[62], 光合作用、呼吸作用和关键酶对胁迫相互作用[22]。多胺参与植物耐冷反应, 其可与膜结构上磷酸基团结合以维持膜的稳定性, 同时会提高 DOS、POD、CAT 等活性以清楚自由基保护膜, 降低企业的相对导电率、增加可溶性糖、脯氨酸等渗透调节物质的含量维持膜的正常渗透功能[47]。低温胁迫会使乙烯大量产生[45, 50]。脱落酸(Abscisic acid, ABA)可诱导植物增强耐寒性, 利用其活性可预防早春低温危害[24]。有学者研究证明 MaPIP2-7 作为 AOP(水通道蛋白)基因组 PIP2 亚家族成员过表达的生理效应(如图 3)在寒冷胁迫下使香蕉膜损伤程度降低, 丙二醛和离子外溢水平也降低, 脯氨酸、可溶性糖和 ABA 含量增加, 植株外形上叶片、根系都完好[66]。学者发现“天宝蕉”的 MaSULTR3.1-2 基因可能助其抵御低温, 通过硫代谢清除超氧自由基, H_2O_2 增加促使气孔闭合, 减缓生长以适应寒冷[74]。相关广粉 1 号抗寒力比香蕉强, 叶片可忍耐 $2^\circ\text{C}\sim 4^\circ\text{C}$ 的短时低温[68], 热粉 1 号较耐寒[70]

Wu 等人鉴定了与冷胁迫相关的三个硫氧还蛋白基因(MaTrx6、MaTrx9 和 MaTrx12), 并发现 MaTrx12 在冷胁迫下的表达受到乙烯的正向调控[59]。Wei Hu 等学者研究 ABA 信号传导核心成分的 PYL-PP2C-SnRK2 家族与巴西蕉(BX)和粉蕉(FJ)这两个栽培品种对非生物胁迫的蛋白质基序、基因结构和表达模式, 并从香蕉基因组中鉴定了 24 个 PYL、87 个 PP2C 和 11 个 SnRK2。结果表明, 低温处理下, 4/21 pyl、17/84 pp2c 和 0/11 SnRK2s 表达显著上调(基于 Log2 的 fold change > 1; p 值 < 0.05), 而 5/21 pyl、19/84 pp2c 和 2/11 SnRK2s。MaPP2C-25、-43、-44、-45、-46 和 -63 在冷处理后在 FJ 中上调(如图 1), 粉蕉受这些基因比巴

西蕉响应冷胁迫更显著[25]。曾坚等学者分析不同逆境条件下 MaPAL 家族基因的表达情况发现在寒冷胁迫下, MaPAL1、MaPAL4、MaPAL7 表现出上调, MaPAL2 呈现出下调, 表明 MaPAL1、MaPAL4、MaPAL7 可能对寒冷胁迫响应[19]。

学者研究粉蕉 ACO 基因家族在逆境胁迫过程中的功能作用, 经过和低温(4°C 22 h)处理后, 结果表明, 寒冷胁迫处理能诱导 MbACO2 基因上调表达(如图 2)[51]。Wang X 等学者对粉蕉进行化学诱变形成突变体 RF1, 研究发现可溶性糖含量的大幅增加和淀粉积累的增加以及纤维素沉积的减少是抗寒性和抗病性增强的体现[57]。Wei Hu 等学者研究是揭示粉蕉对寒冷胁迫的耐受机制。通过转录组分析, 研究人员鉴定了在 FJ 品种中相对于 BX 品种在寒冷胁迫下特异表达或表达变化倍数更高的基因。具体来说, 经过 22 小时的冷处理后, FJ 品种的 404 个基因在 BX 品种中未被识别, 而 FJ 品种中有 1210 个基因是独特的, 且有 1502 个基因在两个品种中都受到寒冷胁迫的共同调控。在这些共同调控的基因中, FJ 品种中有 434 个基因的表达变化幅度更大。这些基因涉及多种生物学过程和功能, 如氧化还原酶活性、防御反应、对逆境的响应等。研究发现, 包括转录因子(如 ERF、ZFP 和 WRKY)、热休克蛋白和 E3 泛素蛋白连接酶在内的 30 个耐受基因在 FJ 品种中普遍受到寒冷、渗透和盐胁迫的共同调控表明这些基因可能赋予粉蕉对多种逆境的耐受性。ABA(植物逆境激素脱落酸)和 ROS(活性氧)信号网络在 FJ 品种中的活性更高, 这可能是其强逆境耐受性的分子机制之一[64]。

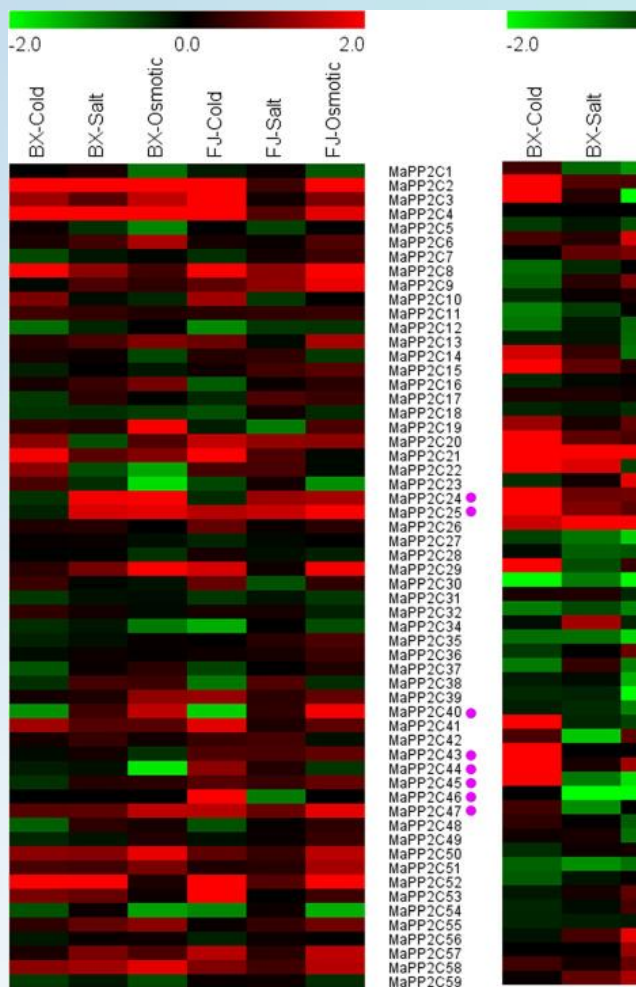


图1 BX 和 FJ 品种中香蕉 PP2Cs、PYLs 和 SnRK2s 响应冷、盐和渗透处理的表达谱。基于 Log₂ 的倍数变化用于创建热图。基因表达的倍数变化以颜色作为刻度显示。A 组 PP2C 标有紫点。 Fig. 8 Expression profiles of banana PP2Cs, PYLs, and SnRK2s in response to cold, salt, and osmotic treatments in BX and FJ varieties. Log₂ based fold change was used to create the heat map. Fold changes in gene expression are shown in color as the scale. Group A PP2Cs are marked with purple dot

资料来源：The core regulatory network of the abscisic acid pathway in banana: genome-wide identification and expression analyses during development, ripening, and abiotic stress.

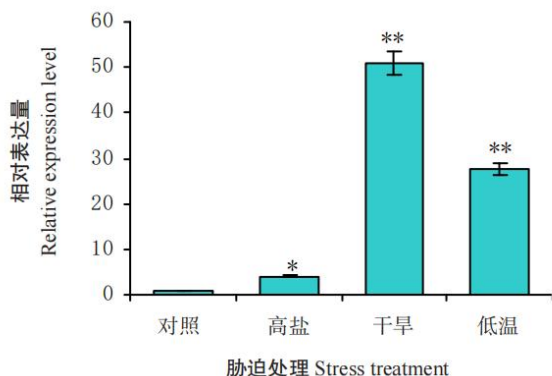


图 2: MbACO2 基因在高盐、干旱和低温胁迫下的表达情况 Fig.9 Expression of MbACO2 gene in high-salt, drought and low temperature treatments

*和**分别表示与对照差异显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$)
* represented significant difference compared to control ($P<0.05$),

** represented extremely significant difference ($P<0.01$)

资料来源：粉蕉 MbACO2 基因克隆及其表达分析

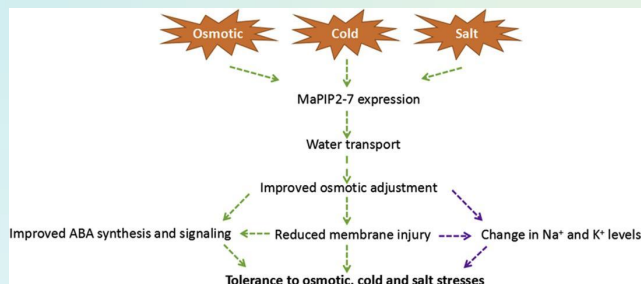


图 3: MaPIP2-7 增加香蕉对干旱、寒冷和盐胁迫的耐受性的推测工作机制。紫色箭头表示盐响应的特定生理过程。

Fig. 11. The presumed working mechanism of action of MaPIP2-7 to increase banana tolerance to drought, cold, and salt stresses. Purple arrows indicate the salt response-specific physiological process.

资料来源：An aquaporin gene MaPIP2-7 is involved in tolerance to drought, cold and salt stresses in transgenic banana (*Musa acuminata* L.).

粉蕉成熟理化性质和基因表达研究

粉蕉(Musa AAB Group Fenjiao)属于芭蕉属香蕉的一个栽培品种，以其高大的植株、薄而易剥的果皮而著称。其果肉呈乳白色或浅橙黄色，质地细腻柔滑，口感甘甜，带有淡淡的香气[73]。粉蕉要求环境条件较好，温度较高，不能有霜冻，光照较强，果期要求水分供给充足，湿度较高[69]。广粉 1 号果实较香蕉耐寒力稍差[68]。香蕉的香气成分主要由醇类、酸类、醛类、酯类、酮类、酚类化合物组成，不同季节成熟的‘广粉一号’粉蕉香气成分差异的主要物质是乙酸异戊酯、丁酸异戊酯、己醛、异戊酸异戊酯，3 月份成熟的粉蕉香气物质中，酯、醛类物质共有 16 种，含量为 90.9%。9 月份成熟的粉蕉香气成分中，酯、醛类物质为 22 种，含量 98.61%，1-甲基环丙烯（1-MCP）对粉蕉通过抑制果实软化、抑制呼吸速率和乙烯的产生，1-MCP 处理通过减少前体影响挥发性成分、生长素和挥发物代谢途径相关基因的产生和表达水平[75]。香蕉果实的香气主要源自脂肪酸、氨基酸及次生代谢产物。脂肪酸经历氧化过程，可生成直链脂肪族的醇、醛、酮和酯。此外，脂氧合酶（LOX）作用下，脂肪酸直接氧化也能产生特定的醛类以及相应的醇与酯。¹⁴C 标记的脂肪酸在香蕉中同样转变成醇和酯。至于氨基酸，它们通过转氨作用转化为支链酮酸，随后可能经历脱羧或脱氢反应，生成支链醇和酰基辅酶 A (acyl-CoA)，



最终形成支链酯类化合物。放射性碳-14 标记实验揭示,香蕉果实中的亮氨酸可转变成 3-甲基-1-丁醇、3-甲基丁酸、3-甲基丁酯及酮异己酸;而缬氨酸则能转化为 2-甲基-1-丙醇、2-甲基丙酸、乙酸 2-甲基丙酯和酮异戊酸[78]。粉蕉后熟过程中,蛋白质、脂肪、灰分、钾含量基本保持不变,水分、可溶性固形物、可溶性糖、有机酸、膳食纤维、糖酸比随着成熟度增加而上升,而果胶、Vc、淀粉和抗性淀粉含量随着成熟度的增加而下降[77]。乙烯还能促进香蕉果实成熟,通过提高细胞细胞膜的通透性,加强果实呼吸作用以达到催熟作用[50]。香蕉采收成熟度是 7 成熟,而粉蕉达到 9 成的成熟度才采收,两者后熟障碍机制是不同的。郑秋丽以粉蕉果实为试验材料,分析低温胁迫引起采后粉蕉果肉后熟障碍的机理,结果表明,(1)从低温贮藏粉蕉颜色来看,11℃ 是粉蕉的适宜贮藏温度,而 2℃、4℃、7℃ 贮藏都可引起粉蕉低温胁迫;(2)从低温胁迫对粉蕉转黄指数来看,在 2℃、4℃、7℃ 低温胁迫的一定天数贮藏后,温度越低时间越长,胁迫越严重,转黄速度越慢;(3)从低温胁迫对催熟后粉蕉冷害指数来看,2℃、4℃、7℃ 贮藏都可引起粉蕉低温胁迫,贮藏时间与冷害指数呈正比。粉蕉低温贮藏一定时间再转移到室温下催熟,冷害指数增加。(4)从低温胁迫对催熟后粉蕉果皮色度、果皮亮度、色度角来看,温度越低,粉蕉色饱和度、果皮亮度、色度角降低越快,降低值越大;贮藏温度越低、时间越长转移到室温催熟后,粉蕉色饱和度增加,与对照粉蕉的色饱和度整体值比较低,色度角降低,胁迫越严重色度角越低(5)从低温胁迫对催熟后粉蕉果肉胎座硬度来看,低温胁迫会增加果肉胎座硬度,同时温度越低,胁迫时间越长,催熟后粉蕉果肉胎座硬化更明显;受冷害粉蕉细胞结构受到破坏,催熟后果肉胎座附近细胞中淀粉粒较多且细胞壁不均匀加粗,后熟软化受到抑制(6)从粉蕉品质感官评价来看,无论从色泽、爽滑度、柔软度、甜度、香气及综合口感来说,25℃ 催熟粉蕉和 25℃ 自然成熟都是较高的(如图 2)。(7)从低温胁迫对催熟后粉蕉淀粉酶活性和淀粉含量来看,低温胁迫降低粉蕉贮藏期内、催熟后淀粉酶的活性和淀粉含量;(8)从低温胁迫对催熟后粉蕉直链淀粉和支链淀粉含量来看,粉蕉 ERF 与 EBF2 与直链淀粉、支链淀粉含量相关性较大,贮藏间及贮藏后低温胁迫越严重,支链淀粉和直链淀粉含量下降越快;(9)从低温胁迫对催熟后粉蕉可溶性糖来看,贮藏间及贮藏后低温胁迫越严重,粉蕉蔗糖、葡萄糖、果糖、总糖含量的增加;(10)粉蕉 MbEIL1、MbEIL2、MbEIL3、MbEIL4、MbERF1、MbCBF、MbICE1、MbICE2、MbICE3 在酵母中具有转录自激活活性[49]。覃佳佳重点研究了低温对粉蕉淀粉

降解酶基因表达的影响,并筛选了与逆境应答相关的互作蛋白(PWD1、GWD1、AMY2B/3、BAM4/7、SEX4、LSF1、ISA3),发现 7℃ 贮藏条件下粉蕉易发生冷害,导致后熟障碍,而 11℃ 贮藏条件下果实后熟正常。鉴定了在低温胁迫下表达差异的淀粉降解相关酶基因,它们在 7℃ 贮藏的粉蕉中受到抑制。筛选出 33 个与 MaEBF1 互作的蛋白,有 2 个蛋白对包内囊泡运输、维持细胞极性有作用;3 个蛋白与乙烯、生长素、脱落酸的信号转导有关,6 个蛋白与植物抗逆性有关,有 3 个蛋白与蛋白降解,还有 5 个未知功能基因。部分互作蛋白基因在低温胁迫下的表达模式与粉蕉果实的冷害指数、硬度和转黄指数具有相关性[79]。宋遵阳旨在探究低温胁迫和高浓度 1-MCP(1-Methylcyclopropene)处理对粉蕉果实后熟障碍的生理生化影响,并从分子层面揭示其作用机制。低温胁迫导致粉蕉果实后熟障碍,影响淀粉和细胞壁的降解,抑制果实软化。鉴定了与后熟障碍相关的淀粉降解基因和细胞壁降解基因。MaEBF1 与 MaABI5-like 蛋白互作,促进 MaABI5-like 激活 MaBAM8、MaPWD1、MaISA2、MaXYL23、MaXYL23-like 和 MaPL8 的启动子活性以参与调控低温胁迫引起的粉蕉果实后熟障碍。发现 MaEBF1 与 MaABI5-like、MaNAC67-like 和 MaCCCH33-like2 等转录因子互作,并共同调控果实后熟过程中的淀粉和细胞壁降解。高浓度 1-MCP 处理导致粉蕉果实果皮和果肉成熟不一致。通过 RNA-Seq 分析,筛选出与高浓度 1-MCP 处理相关的大量差异基因,涉及植物激素信号转导、淀粉和蔗糖降解等途径[80]。探究香蕉 F-Box 蛋白 MaEBF1 如何通过 MaNAC67 类似蛋白的相互作用来调控低温抑制下的淀粉降解,MaEBF1 在 7℃ 储藏 12 天后的表达受到抑制,淀粉降解相关基因和 MaNAC67(与乙烯信号成分 *mei5* 相互作用参与果实成熟)类似基因的表达也受到严重影响。MaEBF1 与 MaNAC67 类似蛋白在细胞核中定位,并且能够物理性地结合在与淀粉降解相关的基因启动子上,如 MaBAM6、MaSEX4 和 MaMEX1。酵母双杂交、GST 下拉和 BiFC 实验证实 MaEBF1 与 MaNAC67 类似蛋白的相互作用,并进一步激活了 MaBAM6 和 MaSEX4 的启动子[82]。

为研究 ACO 基因家族在香蕉果实发育成熟过程的应答机制,结果表明,随着粉蕉果实发育成熟,MbACO2 在细胞核和细胞质中基因表达量整体上呈逐渐升高趋势,该基因在果实成熟过程产生应答[51]。MaIAA17-like 是 Aux/IAA 家族成员,其基因蛋白通过结合叶绿素启动子、细胞壁启动子和淀粉降解相关基因,影响粉蕉软化成熟过程。此外,MaEBF1 与 MaLAA17-like 相互作用,介导果实成熟过程,激活粉蕉去绿和软化相关基因,CI 诱导的成熟障碍,还参与生长素和乙烯信号的

串扰（如图 4）[67]。张海波等学者通过转录组学分析，揭示了 AP2/ERF 超家族成员作为转录因子处于乙烯信号通路下游在粉蕉果实采后成熟过程中的成熟软化、叶绿素降解、类黄酮和芳香物质的合成表达差异。粉蕉果实成熟期中，74 个家族成员表达显著不同，占家族成员的 23.3%。其中，32 个基因的 FPKM 值超过 10，4 个超过 50，包括 MaERF15、MaERF42、AP2-28 和 MaRAV2；而 MaERF42 和 AP2-28 的 FPKM 值更是超过 100，显示出高水平表达。粉蕉特异的 17 个基因在成熟过程中表达，29 个基因与成熟紧密相关，这些基因在乙烯生物合成启动期表达激增，表明它们可能在成熟调控中起重要作用。特别是 MaERF42 和 AP2-28[76]。研究香蕉中 MuMADS1 和 MaOFP1 两种蛋白的表达特性及其精细的相互作用机制。MuMADS1 在香蕉果实发育和成熟过程中表达水平逐渐增加，在成熟初期达到峰值后逐渐下降。MaOFP1 的表达水平在香蕉果实成熟过程中显著低于 MuMADS1，且在粉蕉 (FJ) 品种中的表达水平高于巴西 (BX) 品种。MuMADS1 的 K 结构域与 MaOFP1 的卵形结构域在体外和体内实验中均显示出相互作用[81]。1-MCP 和 EA 的结合干扰了果胶溶解和细胞壁降解的酶促过程，。1-MCP 与 EA 联合作用抑制了粉蕉果皮和果肉中 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)氧化酶、ACC 合成酶、果胶甲基酯酶、聚半乳糖醛酸酶和果胶裂解酶活性，以及除 MbPME1 外的相应 MbACS1、MbACO1、MbPG1、MbPL1 表达水平。这两个过程都是“粉椒”香蕉成熟和质地变化的关键因素[83]。

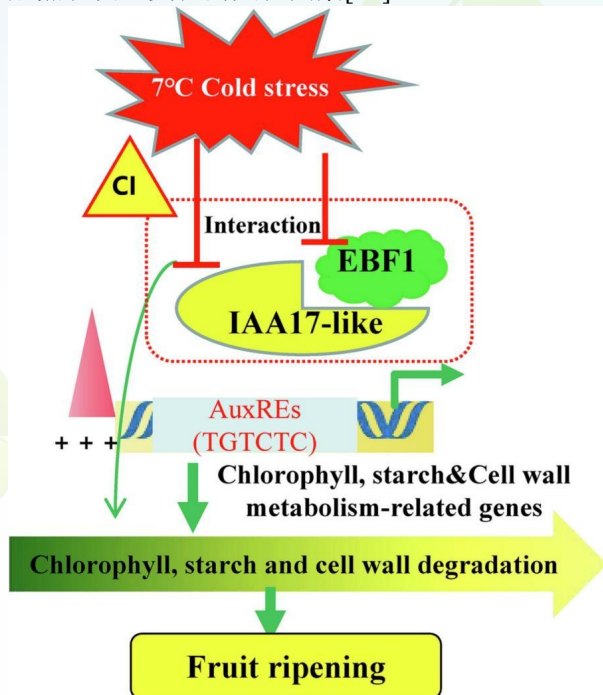


图 4: MaIAA17-like/MaEBF1 调控粉蕉成熟和软化的工作模式 MaIAA17-like 通过直接结合叶绿素、淀粉和细胞壁降解途径的启动子上调关键基因。值得注意的是，

maebf1 与 maiaa17-样蛋白相互作用，增强了 maiaa17-样蛋白在淀粉和细胞壁降解基因启动子上的激活。然而，低温胁迫严重抑制了 MaIAA17-like 和 MaEBF1 的表达，进而严重抑制了叶绿素、淀粉和细胞壁降解相关基因的表达，导致果实去绿和软化失调。

Fig. 9. A proposed working model of MaIAA17-like/MaEBF1 in regulating Fenjiao banana ripening and softening. MaIAA17-like can up-regulate the key genes in chlorophyll, starch and cell wall degradation pathways by directly binding the promoter of these genes. Notable, MaEBF1 interact with MaIAA17-like and enhancing the activation of MaIAA17-like on the promoters of starch and cell wall degradation genes. However, chilling stress severely inhibited the expression of MaIAA17-like and MaEBF1, and then severely repressed the expression of chlorophyll, starch and cell wall degradation related genes, leading to fruit de-green and softening disorder.

资料来源：Auxin-responsive protein MaIAA17-like modulates fruit ripening and ripening disorders induced by cold stress in ‘Fenjiao’ banana.

结论与展望

综上所述，从抗病性来看，香蕉在与病原菌互动时，通过产生活性氧和合成抗菌肽等抗性物质增强细胞壁，激活包含 POD、CAT、PPO、PAL 等关键酶的防御体系。特定防御酶活性与香蕉品种的抗病性正相关，而 SOD 酶与抗病性的关联需进一步研究。MaPAL 基因家族在抗病应答中起重要作用，且内生细菌的应用可增强香蕉对枯萎病的抗性。此外，E3 泛素蛋白连接酶在香蕉抗束顶病毒机制中可能发挥作用，而香蕉细菌性软腐病的病原菌在不同地理区域表现出致病性差异。从抗盐性来看，粉蕉在应对盐胁迫时，通过多种生理和分子机制增强耐盐性。MaPIP2-6 和 MaPIP2-7 基因在盐胁迫下的表达变化显示它们可能参与应答过程。过表达 MaPIP2-7 可减轻细胞膜损伤，提高细胞的渗透适应性和 ABA 水平，并优化 K⁺/Na⁺ 比值。香蕉的耐盐性还与特定防御酶活性、营养元素吸收能力、细胞内 Ca²⁺ 稳态的调节有关。MaPAL 家族基因在盐胁迫下的表达上调，暗示其在响应中起作用。粉蕉的耐盐性增强还与其根部 Ca²⁺-ATPase 基因表达变化相关，而 MbACO2 基因的上调表达则与 ACC 氧化酶在逆境中的功能有关。此外，MaNHXs 和 MbSOS1 基因在盐胁迫下的表达模式为香蕉的耐盐性提供了分子层面的见解。从抗旱性来看，渗透胁迫下，MaPAL 家族基因表达上调，可能参与响应渗透胁迫。PYL-PP2C-SnRK2 家族在粉蕉中的转录基因可能对干旱有诱导作用。MbACO2 基因在干旱胁迫下的上调表达也与逆境适应有关。何海旺等学者通过多项生理指标评价了不同香蕉品种的抗旱能力。Vantghem 等人的 ¹³C 标记实验揭示了水分胁迫和吸芽对碳素分配的影响。低温、盐和干旱胁迫下，粉蕉中 MaROP 基因家族的表达模式显示了其在



逆境响应中的潜在作用。从抗寒性来看,研究人员发现多种基因和蛋白在香蕉对冷胁迫的响应中发挥作用。Wu 等人鉴定了三个受乙烯正向调控的硫氧还蛋白基因,而 Wei Hu 等学者揭示了 ABA 信号传导的 PYL-PP2C-SnRK2 家族在粉蕉在冷胁迫下显著上调。曾坚等学者发现 MaPAL 家族中的特定基因在寒冷胁迫下表达变化,暗示其响应作用。粉蕉 ACO 基因家族的 MbACO2 在低温下同样上调表达。化学诱变粉蕉形成的突变体 RF1 显示出增强的抗寒性和抗病性。Wei Hu 等学者的转录组分析揭示了粉蕉耐受冷胁迫的机制,包括特异性表达基因和参与多种生物学过程的基因,这些可能与粉蕉的逆境耐受性有关。ABA 和 ROS 信号网络在粉蕉中的活性增强,可能是其逆境耐受性的分子机制之一。从粉蕉的果实成熟机制来看,1-MCP 通过抑制乙烯作用减少香气物质的产生。香蕉果实成熟过程中,香气形成涉及脂肪酸和氨基酸的代谢转化。低温影响粉蕉淀粉酶活性和淀粉含量,改变糖含量和细胞壁降解,影响果实软化和品质。1-MCP 处理导致果皮和果肉成熟不一致,影响淀粉和细胞壁降解相关基因表达。粉蕉中特异的转录因子如 MaEBF1、MaNAC67 等在成熟调控中起关键作用,通过与逆境应答相关的互作蛋白参与果实后熟过程。

目前,对于巴西蕉等其他香蕉品种的抗枯萎性生理机制研究较多,对于粉蕉的抗枯萎性研究大多是抗病性评价,对其中防御酶具体机制和基因表达的研究较少,且对有关抗叶斑病、束顶病抗虫害等生理机制研究较少。做粉蕉种类的盐胁迫、水分胁迫的研究较少,都是与其他香蕉品类做实验去做相应的基因表达和抗盐性研究。粉蕉的水通道蛋白、多胺的抗寒性研究也较少,未见对粉蕉利用硫代谢以抵御寒冷的研究。未涉及具体的遗传操作或转基因研究来进一步验证 MaEBF1 和 MaNAC67 类似蛋白的功能,其具体的分子机制和调控网络仍需进一步阐明。文献中未详细讨论 E3 泛素蛋白连接酶在香蕉抗病性中的具体作用机制,未来的研究可以探索 E3 泛素蛋白连接酶在香蕉中的抗病信号传导途径,以及其在抗病毒和其他病原体中的潜在应用。粉蕉果实香气形成途径、催化后熟障碍的基因表达研究较少。提出了 MaEBF1 与 MaNAC67 类似蛋白可能作为正向调节因子参与淀粉代谢,但具体的分子机制和调控网络仍需进一步阐明。

为了使粉蕉在生长发育和果实成熟过程中具有优良品质,可以通过乙烯利预处理有效减轻了香蕉叶片在低温下的萎蔫,减少了电导率,同时促进了光合作用的效率。预处理后的叶片在低温冲击下,细胞结构损伤轻微,叶绿体功能未受损,表明乙烯利有助于维持叶片形态,保护细胞膜,增强其低温下的光合性能 [65]。选地与整地:选择

光照充足、土壤疏松、排水良好、地下水位低的中性或弱碱性土壤,重视开沟整地高度,避免传播根系土壤病。选苗和定植:选择优良脱毒组培苗,全年均可种植,覆盖薄膜以防防水防虫。肥水管理:粉蕉需肥量大,水分管理不能积水,施肥量比香蕉少但氧化钾比例略高。土壤管理:植后一个月内中耕松土,之后避免中耕,使用化学除草法。矮化处理:使用多效唑水剂进行矮化,促进根系发达。除芽与留芽:定期除芽,采用新的吸芽处理方法减少感染机会。断蕾及护果:断蕾提高蕉果品质,冬季抽蕾要套薄膜袋防寒。病虫害防治:重点防枯萎病,及时处理病株,隔离发病点,使用特定药剂防治灰纹病和害虫[84-85]。

参考文献

- [1] 中国热科院成功绘制香蕉 B 基因组精细图谱为香蕉遗传改良奠定重要基础[J].科学种养,2019,0(10):47-47
- [2] Wang Z, Miao H, Liu J, et al. Musa balbisiana genome reveals subgenome evolution and functional divergence[J]. Nature Plants, 2019, 5(8):1. DOI:10.1038/s41477-019-0452-6.
- [3] Yang, HuaCAa;Kuang, Ruibina;Yang, Mina;Zhou, Chenpinga;Huang, Bingxiong;Xu, Shaofenga;Wei, YuerongaCAB. Breeding of a new Pisang Awak variety 'Qingfen No.1' with good quality and high yield[J]. Journal of Fruit Science, 2020, Vol.37(2): 293-296
- [4] Zhao, MingCAa;Long, Fanga;Wu, Penga;Zou, YuaCAb;Mo, Tianlia;Huang, Xiang;He, Haiwanga. Breeding of a new Pisang Awak (ABB) variety Yufen No. 6 with high resistance against Fusarium oxysporum f. sp. cubense[J]. Journal of Fruit Science, 2023, Vol.40(9): 2024-2028
- [5] 周海琪,夏玲,吕顺,曾莉莎,王芳,黄晓彦,陈东仪,刘文清,梁少丽,刘丽琴. 89 份香蕉种质资源 SRAP 分子标记亲缘关系分析[J]. 热带作物学报, 2024, 45(4): 703-711
- [6] 我国粉蕉产业发展报告[z]. 国家香蕉产业技术体系. 2022.07.06 <http://www.cars31.cn/contents/9/1621.html>
- [7] 刘金福,潘东明,代立春,陈清西,庄西卿,李英豪. 香蕉 RAPD 反应体系的建立[J]. 中国农学通报, 2009, 25(16): 51-55
- [8] 卢家仕,韦绍龙,黄素梅,韦弟,李朝生,龙盛风,覃柳燕. 基于 ISSR 分子标记的广西香蕉种质资源遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(4): 775-780.
- [9] 余智城,何雪娇,曹明华. 基于表型性状和 SSR 标记的 20 份香蕉材料遗传多样性研究[J]. 中国南方果树, 2014, 43(3): 10-14
- [10] 谭卫萍,张秋明,于晓英,曾继吾,黄秉智,易干军. 香蕉种质遗传多样性与亲缘关系的 AFLP 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 715-720
- [11] 邹瑜、赵明. “育粉 2 号”粉蕉[Z]. 国家香蕉产



业 技 术 体 系 .2023.03.13
<http://www.cars31.cn/contents/12/1902.html>

[12] 邹瑜、赵明.“育粉 3 号”粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系 .2023.03.13
http://www.cars31.cn/contents/12/1903.html?__r=7718

[13] 邹瑜、赵明.“育粉 5 号”粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系 .2023.03.13
<http://www.cars31.cn/contents/12/1904.html>

[14] 邹瑜、赵明.“育粉 6 号”粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系 .2023.03.13
<http://www.cars31.cn/contents/12/1905.html>

[15] 杨护,邝瑞彬,杨敏,周陈平,黄炳雄,徐少峰,魏岳荣.优质丰产粉蕉新品种‘青粉 1 号’的选育[J].果树学报,2020,37(2):293-296

[16] 宋晓兵,彭埃天,凌金锋,陈霞,周娟.18 份广东香蕉种质对枯萎病的抗性评价[J].生物安全学报,2016,25(3):218-221

[17] Pant, B.; Bai, T.; Du, C.; Baidya, S.; Magar, P.B.; Manandhar, S.; Shrestha, J.; Dita, M.; Rouard, M.; Fu, G.; et al. Molecular Diagnosis and Vegetative Compatibility Group Analysis of Fusarium Wilt of Banana in Nepal. *J. Fungi* 2023, 9, 208.

[18] Chen, Chunlinga; Li, Jinmana; Luo, Jiea; Chen, Yitingb; Cheng, Chunzhenc; Lai, Zhongxiong; Huang, YujiaCAa. Effects of *Serendipita indica* on drought resistance of banana seedlings[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2024, Vol.30(1): 118-125(干旱)

[19] 曾坚,王舒婷,周洁薇,胡伟,曾力旺.粉蕉 PAL 家族基因的鉴定及其在逆境胁迫下的表达分析[J].江苏农业学报,2023,39(6):1286-1293.

[20] Chunzhen Cheng ,Dan Li,Quan Qi,Xueli Sun , Mensah Raphael Anue ,Bodjrenou Mahoudjro David,Yongyan Zhang ,Xiangyang Hao,Zihao Zhang Zhongxiong Lai.The root endophytic fungus *Serendipita indica* improves resistance of Banana to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4[J].*Eur J Plant Pathol* (2020) 156:87 - 100

[21] 陈芳兰. 野生蕉 β -1,3 葡聚糖酶基因克隆及抗寒相关功能分析[D]. 福建:福建农林大学,2016.

[22] 只佳增, 岳建伟,张建春, 等.香蕉抗逆境生理机制研究进展[J].亚热带农业研究,2021,17(3): 184-191,

[23] 王卓,徐碧玉,贾彩红,张建斌,刘菊华,金志强.香蕉过氧化物酶基因表达和酶活性与香蕉抗枯萎病的关系[J].中国农学通报,2013,29(34):115-121

[24] Tan Hong Li Zhidong(Chengdu Institute of Biology, the CAS).Research and Application on Plant Hormone--Absciscic Acid, ABA[J].Bulletin of the Chinese Academy of Sciences,1997,11(4):309-310

[25] Hu, W., Yan, Y., Shi, H. et al. The core regulatory network of the abscisic acid pathway in banana: genome-wide identification and expression

analyses during development, ripening, and abiotic stress. *BMC Plant Biol* 17, 145 (2017).
<https://doi.org/10.1186/s12870-017-1093-4>

[26] 何自福,李华平,肖火根,范怀忠.香蕉束顶病毒株系生物学特性的研究[J].植物病理学报,2001,31(1):50-5562

[27] Yu, N.T., Zhou, Q., Yuan, H.W., Xian, S.L., Wang, J.H., Yang, Y. and Liu, Z.X. (2022) Antiserum Preparation and Specific Detection of Banana RING-E3 Ubiquitin-Protein Ligase. *American Journal of Plant Sciences*, 13, 371-379.

[28] 陈康. 香蕉细菌性软腐病菌的致病性和遗传分化及不同生长期粉蕉抗性的研究[D]. 重庆:西南大学,2013.

[29] 朱孝扬, 李秋棉, 罗均, 等. 粉蕉后熟过程中香气品质变化及其关键基因表达特性[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 96-103.

[30] 陈海强,杨公明,梅为云,李昌宝,余铭.不同品种香蕉果实成熟期主要营养与功能成分含量变化[J].广东农业科学,2014,41(22):24-28

[31] 曾蕊,陈琦光,禄璐,唐倩菲,周而勋.香蕉与枯萎病菌 4 号小种互作过程中防御酶活性的变化[J].华中农业大学学报,2014,33(2):61-64

[32] 吴超,毕可可,黄华枝,何世庆.香蕉枯萎病抗性防御酶的测定[J].安徽农业科学,2015,43(3):107-109211

[33] 王贵花,曾凡云,谢艺贤,王宇光,张欣,彭军,漆艳香.枯萎病菌胁迫下 10 个香蕉防御相关基因的表达分析[J].中国南方果树,2018,47(1):67-72

[34] 夏启玉,王宇光,孙建波,等.一株拮抗香蕉枯萎病的内生细菌的分离及其几丁质酶基因信号肽的分泌活性分析[J].中国生物工程杂志,2010,30(09):24-30.DOI:10.13523/j.cb.20100905.

[35] 王子澍,王明元,陈科霖,贾幸宸,卫瑾怡,荣航,唐易.香蕉 HOS15 基因的鉴定及枯萎病菌胁迫下的表达分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2024,45(3):351-356

[36] Xingchen Jia;Kelin Chen;Yinglong Chen;Yi Tang;Hang Rong;Ping Lin;Yuhao Zhou;Chuqiao Wang;Mingyuan Wang1CA2;Jianfu Liu1;Qizhi Wang1;Hailing Yu1.MaHOS15 negatively regulates plant immune defense induced by banana fusarium wilt via salicylic acid pathway[J].*Physiological and Molecular Plant Pathology*,2024,Vol.133: 102352

[37] 杨毅,陈丽,李小意.脱落酸 ABA 受体的功能以及翻译后修饰研究进展[J].四川大学学报(自然科学版),2023,60(5):29-36

[38] 李赤,黎永坚,于莉.香蕉枯萎病菌对不同香蕉品种防御酶系的影响[J].中国农学通报,2010,26(17):251-255

[39] Xiang D, Yang X, Liu B, Chu Y, Liu S and Li C (2023) Bio-priming of banana tissue culture plantlets with endophytic *Bacillus velezensis* EB1 to improve



- Fusarium wilt resistance. *Front. Microbiol.* 14:1146331.
- [40] 黄素珍.钙依赖蛋白激酶在香蕉枯萎病发病过程的表达分析[D].海南大学,2013.
- [41] 雷朝喜.香蕉新品种对枯萎病菌 4 号小种的抗性评价 [D]. 华南农业大学,2019.DOI:10.27152/d.cnki.ghanu.2019.000547.
- [42] 王蕾,兰柳艳,罗晓慧,沈欢,蒋潇,武鹏.盐胁迫下粉蕉植株营养元素的吸收与分布特征[J].热带作物学报,2023,44(4):724-729
- [43] 徐亚.香蕉 NHX 和 SOS1 基因鉴定及功能验证 [D]. 海南大学,2021.DOI:10.27073/d.cnki.ghadu.2021.000900.
- [44] 周双云.2 种不同基因组类型香蕉耐盐生理响应及其盐胁迫下 Ca^{2+} 的动态调节 [D].海南大学,2014.
- [45] 张春梅.多胺与逆境胁迫关系综述[J].河西学院学报,2010,26(2):47-50
- [46] 王文昌.香蕉在盐胁迫下 Ca^{2+} 、 CaM 、 Ca^{2+} -ATPase 的时空变化[D].海南大学,2016.
- [47] 周玉萍,王正询,田长恩.多胺与香蕉抗寒性的关系的研究[J].广西植物,2003,23(4):352-356
- [48] 王安邦,金志强,刘菊华,贾彩红,张建斌,苗红霞,徐碧玉.香蕉泛素结合酶基因 MaUCE2 在非生物胁迫下的表达分析 [J]. 生物技术通报,2013,29(5):77-80
- [49] 郑秋丽.低温胁迫引起粉蕉果肉后熟障碍的生理研究及 cDNA 文库构建 [D]. 华南农业大学,2017.
- [50] 高弘扬,周良云,罗碧,许丹芸,杨全.乙烯信号转导及其在植物逆境响应中的作用[J].江苏农业科学,2020,48(12):15-1516-19
- [51] 唐宇其,颜彦,李美英,胡伟.粉蕉 MbACO2 基因克隆及其表达分析 [J]. 南方农业学报,2021,52(1):155-162
- [52] Long, L., Zhao, JR., Guo, DD. et al. Identification of NHXs in *Gossypium* species and the positive role of GhNHX1 in salt tolerance. *BMC Plant Biol* 20, 147 (2020).
- [53] Fu X, Lu Z, Wei H, Zhang J, Yang X, Wu A, Ma L, Kang M, Lu J, Wang H, Yu S. Genome-Wide Identification and Expression Analysis of the NHX (Sodium/Hydrogen Antiporter) Gene Family in Cotton. *Front Genet.* 2020 Aug 18;11:964.
- [54] Xiang-Yun Zhang, Ling-Hui Tang, Jia-Wei Nie, Chun-Rui Zhang, Xiaonan Han, Qi-Yu Li, Li Qin, Mei-Hua Wang, Xiahe Huang, Feifei Yu, Min Su, Yingchun Wang, Rui-Ming Xu, Yan Guo, Qi Xie, Yu-Hang Chen. Structure and activation mechanism of the rice Salt Overly Sensitive 1 (SOS1) Na^+/H^+ antiporter[J]. *Nature plants*, 2023, Vol.9(11): 1924-1936
- [55] 侯晓婉,胡伟,颜彦,徐碧玉,金志强.香蕉 MaPIP2-6 基因的克隆、亚细胞定位及表达分析[J].西北植物学报,2015,35(3):427-433
- [56] 吴秋桢.香蕉 PI-PLC 家族鉴定、MaPLC6 克隆及其遗传转化 [D]. 福建农林大学,2023.DOI:10.27018/d.cnki.gfjnu.2023.000786.
- [57] Wang X, Wang A, Li Y, Xu Y, Wei Q, Wang J, Lin F, Gong D, Liu F, Wang Y, Peng L and Li J (2021) A Novel Banana Mutant “RF 1” (*Musa* spp. ABB, Pisang Awak Subgroup) for Improved Agronomic Traits and Enhanced Cold Tolerance and Disease Resistance. *Front. Plant Sci.* 12:730718.
- [58] 何海旺,武鹏,林茜,龙芳,赵明,邹瑜,李贤高,王趣友,林贵美.基于主成分分析的 5 份香蕉种质抗旱性评价[J].种子,2017,36(6):67-71
- [59] Wu, F., Li, Q., Yan, H., Zhang, D., Jiang, G., Jiang, Y., & Duan, X. (2016). Characteristics of Three Thioredoxin Genes and Their Role in Chilling Tolerance of Harvested Banana Fruit. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 1526.
- [60] Vantyghem, M., Beelen, E., Hood-Nowotny, R., Merckx, R., & Dercon, G. (2023). ^{13}C labeling unravels carbon dynamics in banana between mother plant, sucker and corm under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1141682.
- [61] Miao, H., Sun, P., Liu, J., Wang, J., Xu, B., & Jin, Z. (2018). Overexpression of a novel ROP gene from banana (MaROP5g) confers increased salt stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 3108.
- [62] 吴烁凡,何维弟,李春雨,董涛,毕方铖,盛鸥,邓贵明,胡春华,窦同心,高慧君,刘思文,易干军,姚振,杨乔松.香蕉抗寒分子机制研究进展[J].果树学报,2022,第 39 卷(3): 483-494
- [63] 王蕊,李新国,李绍鹏,王令霞,黄绵佳.干旱胁迫下 2 种香蕉幼苗叶片和根的主要渗透调节物质的变化 [J]. 基因组学与应用生物学,2010,29(3):518-522
- [64] Hu, W. et al. (2017). Comparative physiological and transcriptomic analyses provide integrated insight into osmotic, cold, and salt stress tolerance mechanisms in banana. *Scientific Reports*, 7, 43007.
- [65] 韦弟,李杨瑞,邸南南,闭志强,卜朝阳.乙烯利对香蕉抗寒性的影响 [J]. 热带作物学报,2009,30(12):1789-1792
- [66] Yi,Xu ;Wei,Hu ;Juhua,Liu;Shun,Song;Xiaowan,Hou;Caihong,Jia;Jingyang,Li;Hongxia,Miao;Zhuo,Wang;Weiwei,Tie;Biyu,Xu;Zhiqiang,Jin .An aquaporin gene MaPIP2-7 is involved in tolerance to drought, cold and salt stresses in transgenic banana (*Musa acuminata* L.).[J].*Plant physiology and biochemistry*,2020,Vol.147: 66-76
- [67] Hangcong Chen;Zunyang Song;Lihua Wang;Xiuhua Lai ; Weixin Chen;Xueping Li;Xiaoyang ZhuCA1.Auxin-responsive protein MaIAA17-like modulates fruit ripening and ripening



disorders induced by cold stress in 'Fenjiao' banana[J].International Journal of Biological Macromolecules,2023,Vol.247: 125750

[68] 邹瑜、赵明.广粉 1 号粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系.2020.11.12
<http://www.cars31.cn/contents/12/969.html>

[69] 邹瑜、赵明.粉杂 1 号粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系.2020.11.12
<http://www.cars31.cn/contents/12/970.html>

[70] 邹瑜、赵明.金粉 1 号粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系.2020.11.12
<http://www.cars31.cn/contents/12/972.html>

[71] 邹瑜、赵明.热粉 1 号粉蕉[Z].国家香蕉产业技术体系.2020.11.12
<http://www.cars31.cn/contents/12/971.html>

[72] 于俊红,彭智平,李文英,黄继川,吴雪娜,林志军,杨林香.水分胁迫对香蕉幼苗的生理效应[J].广东农业科学,2012,39(22):82-83

[73] 龙兴,尧金燕,方仁,莫贱友,黄穗萍,黄伟雄.中粉 1 号粉蕉引种试验初报[J].南方农业学报,2013,44(6):984-988

[74] 倪珊珊,林争春,刘彦英,陈裕坤,田栩瑞,王秀美,李小芳,张舒婷,赖钟雄.香蕉 MaSULTR3 家族成员的全基因组鉴定与不同温度下表达模式分析[J].热带作物学报,2021,42(3):637-648

[75] 麻少莹,吴亨,戴霏,黄杰.香蕉香气成分的研究进展[J].现代食品,2021,6(23):110-113117

[76] 张海波,郑云柯,付毛妮,张建斌,贾彩红,李新国,刘菊华.香蕉 AP2/ERFs 超家族的重新鉴定及在果实采后成熟过程中的差异表达特性[J].果树学报,2024,41(5):861-874

[77] 陈海强,杨公明,梅为云,李昌宝,余铭.不同品种香蕉果实成熟期主要营养与功能成分含量变化[J].广东农业科学,2014,41(22):24-28

[78] 乜兰春,孙建设,黄瑞虹.果实香气形成及其影响因素[J].植物学通报,2004,21(5):631-637

[79] 覃佳佳.MaEBF1 互作蛋白筛选及关键基因在低温胁迫引起粉蕉后熟障碍中的表达分析[D].华南农业大学,2018.

[80] 宋遵阳.粉蕉果实后熟障碍转录调控机理的研究 [D]. 华南农业大学,2020.DOI:10.27152/d.cnki.ghanu.2020.000075.

[81] Zheng Y, Fu M, Wang J, Miao H, Jia C, et al. 2023. Protein expression and fine interaction mechanism of banana MuMADS1 and MaOFP1. Fruit Research 3:8

[82] Zunyang Song;Jiajia Qin;Qiuli Zheng;Xiaochun Ding;Weixin Chen;Wangjin Lu;Xueping Li;Xiaoyang Zhu.The Involvement of the Banana F-Box Protein MaEBF1 in Regulating Chilling-Inhibited Starch Degradation through Interaction with a MaNAC67-Like Protein[J].Biomolecules,2019,Vol.9(10): 552

[83] Rong Wang^{1,2};Lan Zhang^{3,2};Faiz Ur Rahman^{1,2};Jun Luo¹;Tongxin Liu¹;Weixin Chen¹;Xueping Li¹CA1;Xiaoyang Zhu¹CA2.1-methylcyclopropene combined with ethylene absorbent delays the ripening of 'Fenjiao' banana (Musa ABB Pisang Awak)[J].Scientia Horticulturae,2024,Vol.326: 112772

[84] 邝卓昂¹, 黄春亮¹, 黄风光², 李永忠³, 傅炳栋³.粉蕉高效栽培技术要点[J].中国热带农业,2007,(2): 53

[85] 李琼娟¹; 李春惠²; 宁贤³.简述粉蕉优质高产高效栽培技术要点[J].南方农业,2020,第 14 卷 (12): 39-40



化零为整成规模，强化管理 出效益

——广垦糖业自营甘蔗基地案例推介

廖锡华

广东广垦糖业集团有限公司，广东湛江 534022

摘要： 广东广垦糖业集团有限公司是以制糖业为主业的大型农业产业集团，近年来，制糖业面对甘蔗产业劳动力短缺、蔗源不足的问题，为保障蔗源供应，广垦糖业集团在下属丰收、华海公司两个国有农场建立规模化甘蔗种植基地，通过规模化经营、探索甘蔗全程机械化生产方式，经过几个榨季的艰苦探索，初步形成了相对成熟的经验做法。

关键词： 制糖业；国有农场；甘蔗基地；规模化；机械化

广东广垦糖业集团有限公司是以制糖业为主要产业的大型农业产业集团，下辖 6 家制糖厂及 2 家国有农场，2023/2024 年榨季，广垦糖业集团总榨蔗量 299.2 万吨，总产糖量 27.9 万吨。广垦糖业旗下有 3 家糖厂以湛江垦区蔗源为主要蔗源来源，近年来湛江垦区面对甘蔗产业劳动力减少、砍蔗工人缺乏，及种植面积减少导致蔗源不足的问题。为保障蔗源供应，减少甘蔗产业劳动力不足的影响。广垦糖业紧紧围绕国家及广东农垦“十四五”发展规划对糖板块的目标，立足自身发展条件，积极建设甘蔗大基地，以推广甘蔗全程机械化、扩大规模化、标准化经营为目的，形成甘蔗糖业工农一体化经营管理新模式，进一步确保蔗糖保产保供能力，持续推动糖业高质量发展。甘蔗基地发展情况总结如下：

1. 甘蔗基地基本情况

广垦糖业甘蔗基地自 2017 年开始建设，至 2024 年已完整运营 6 个榨季（2018/2019 榨季-2023/2024 榨季）。

1.1 基地面积： 累计原料蔗 32.61 万亩。甘蔗基地面积建设初期面积快速增长，后种植面积逐步稳定。

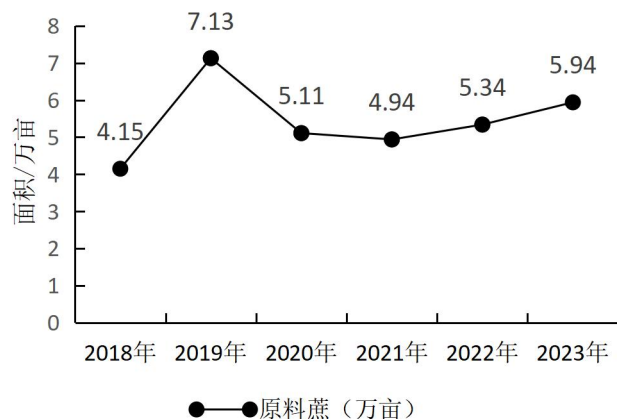


图1 甘蔗基地近6年面积情况

1.2 收获蔗量： 持续上升，累计 145.13 万吨；

作者简介： 廖锡华(1982—)，男，农艺师；研究方向：热带农业生产经营管理，产业化技术研发与应用；E-mail: liaoxihua2001@126.com。

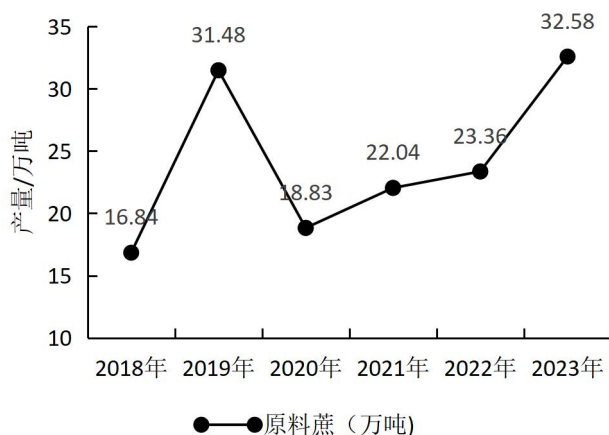


图2 甘蔗基地近6年原料蔗总产量情况

1.3 平均单产： 前五年在 4.4 吨左右，2023 年雨水充沛，基地甘蔗单产提高到 5.48 吨/亩。

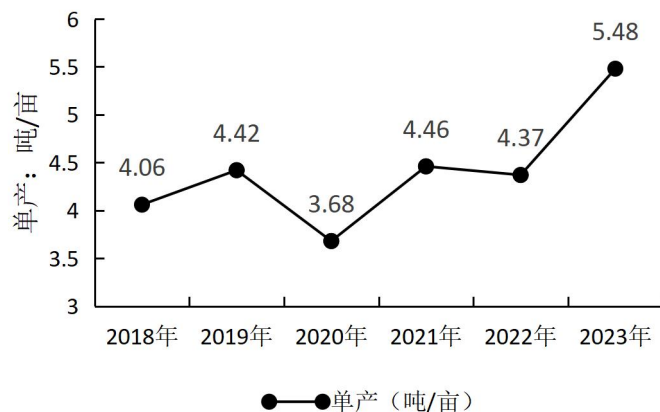


图3 甘蔗基地近6年单产情况



1.4 利润：甘蔗基地运营 6 年来，除 2020 年因严重干旱导致甘蔗失收而亏损严重外，其余年份净利润持续向好。

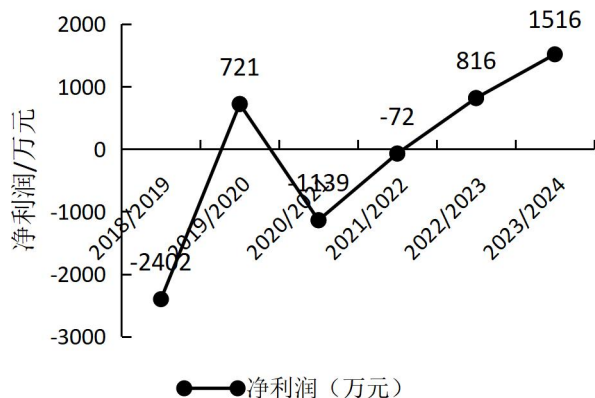


图 4 甘蔗基地近 6 年净利润情况

甘蔗基地通过 6 年的建设，面积基本维持在 5 万亩以上，甘蔗平均单产稳定在 4.4 吨以上，基地基本实现全程机械化，规模化效应逐渐显现，盈利能力显著增强。

2. 甘蔗基地主要做法

2.1 严格制定及落实相关管理方案，初步探索出相对完善的全程机械化技术集成和基地管理办法。

为加强对甘蔗基地管理，广垦糖业下发《广垦糖业甘蔗全程机械化基地管理办法（试行）》、《广垦糖业集团甘蔗全程机械化双高示范基地经营管理方案》等制度及《广东广垦糖业集团有限公司甘蔗标准化栽培技术指导措施》，规范甘蔗基地管理标准和事项流程，通过压实责任、强化监督，逐步实现精细化、标准化和对标管理；同时丰收、华海公司也分别根据自身实际制订了《甘蔗示范基地经营管理实施方案》、《双高基地经营管理实施方案》及《丰收公司榨季基地甘蔗运输跟踪管理办法》、《华海公司榨季甘蔗砍装运方案》等管理方案，方案明确基地管理人员的相关工作职责，并拟定了原料甘蔗种植任务、田间管理、榨季各相关工作任务等考核办法，明确奖罚，为基地的生产经营等各项工作的顺利推进提供了强有力的制度保障。

2.2 选对人，用对人；减少环节，贴身经营。

甘蔗基地在选人用人上均选拔责任心强、生产和管理经验丰富的生产队队长和职工担任管理人员，做到人岗匹配，充分发挥该部分人员业务熟练、经验丰富、执行力强的优势。

甘蔗基地管理上采用公司统筹、基地各站具体执行的扁平化管理方式，各管理站直接对接农机服务企业；同时采用原料蔗工地直装进厂的方式，减少中间环节，降低损耗，提高效益。

2.3 优化土地资源配置，提升土地生产力。

为促使甘蔗基地土地资源配置更合理优化，广垦糖业通过高标准农田建设、小型农田水利建设等项目对土地资源进行优化，平整土地、配套建设灌溉排水系统、改造农田道路、改良与培肥土壤等，提高蔗田生产能力；通过蔗叶回田措施，有效改善土壤板结等问题；抓好水利基础设施建设，一定程度上解决雷州半岛“秋冬连春旱”季节性缺水难题。目前经过优化整合后，已经基本实现基地大面积连片，符合大基地建设的要求，其中最大连片地块为 2000 亩，到 2024 年底前基本实现甘蔗基地集中连片的布局。

2.4 不断调优品种结构，甘蔗亩产和糖分得到提升。

近年来，基地甘蔗品种结构单一，以柳城 05-136 为主，占总种植面积的 80% 以上。由于多年的种植，品种种性退化问题越来越突出，抵御自然灾害的能力减弱。甘蔗基地管理将品种结构优化作为一个重点工作来抓，积极引入甘蔗新品种，共计引入桂糖 08-120、桂糖 08-1180、桂糖 08-460、桂糖 59、粤糖 61 号等多个高糖高产新品种，同时，逐步减少柳城 05-136、桂糖 42 两个品种的种植面积，将其种植比例控制在 45% 以内，优化早中晚熟品种结构，力争早中晚熟品种结构比例达到 3:5:2。

2.5 严格推行标准化、精细化种植模式。

甘蔗基地采取全程种、管、收机械化经营，水肥一体化的生产模式，并按照《广东广垦糖业集团有限公司甘蔗标准化栽培技术指导措施》执行，从甘蔗用地规划、备耕、种苗选取、种植、除草、中耕管理、追肥、砍收等生产周期进行标准化和精细化管理。另外华海公司还推行“五统一”标准化、精细化种植，即统一种植时间、统一品种、统一生产资料、统一栽培措施、统一收获。目前，华海公司已在各个基地管理站选取 300-500 亩的连片土地，种植桂糖 55（08-120）品种，统一肥料投入，统一同时按照机械收获的行距（1.3*0.4）进行种植管理，该种植模式种植面积已超过 6000 亩。

2.6 加强与农机服务公司合作，促进农机与农艺配套，大规模提高生产作业效率。

基地通过加强与农机公司合作，根据甘蔗种



植、田管、收获机械合理调整甘蔗种植行距、管理措施，促进农机与农艺配套，减少因农机耕作造成的田间损失，大规模提高机械化生产作业效率。目前围绕甘蔗生产的耕、种、管、收四个环节中的耕、种、管环节的机械化率达到 90%以上，机械化砍收也已达 10%以上。

3.取得成效

3.1 进一步稳定蔗区蔗源，保障甘蔗原料供应。

丰收、华海公司自营甘蔗基地累计提供甘蔗原料(工业蔗)145.13 万吨，供应比例由 2018/2019 榨季的 12.15%升至 2023/2024 榨季的 23.73%。同时，由于甘蔗基地示范带动作用，丰收、华海公司甘蔗总产量占调丰、华丰糖厂榨蔗比例由 2018/2019 年榨季的 45.7%，59.6%，提升至 2023/2024 年榨季的 58.3%，61.5%。在湛江甚至全国蔗区面积缩小、甘蔗减产严重的形势下，调丰、华丰两制糖公司的甘蔗基本能得到保障，较好发挥企业规模效益。

3.2 提升效率，降本增效。

随着老龄化持续严重，垦区面临甘蔗无人种植的难题。甘蔗基地推广，极大提高种植效率。以丰收公司基地为例,基地人均种植面积是职工的近 20 倍，平均每人管理面积达 1200 亩，按照丰收公司每个岗位工人 60 亩计算,减少岗位工人 528 人，每年降低企业管理成本 633.6 万元，在人工成本逐年增加及职工老龄化严重现状下，提升了公司管理效率，降低了管理成本。

3.3 化零为整，整合土地资源，促进垦区产业高质量发展。

广垦糖业从开始建设自营甘蔗基地以来，加快整合土地资源，实现地块集中连片、规模化经营，合理布局蔗糖产业用地，为今后进一步发展规模化甘蔗大基地，促进蔗糖产业升级打下坚实基础。

3.4 甘蔗规模化、机械化、标准化建设进一步成熟，探索出可复制推广的经营管理模式。

通过甘蔗基地规模化、机械化、标准化推广种植，实现农艺和机械耕作、砍收的配套统一，规模化、机械化程度高。标准化管理也进一步规范甘蔗基地各管理环节工作和事项的流程、标准要求及监管，通过压实责任，强化监管，提高基地管理人员的积极性，探索出可复制推广的经营管理模式。

3.5 创新集中采购，生产成本进一步降低。

通过建设大规模基地，统一农业生产资料，统一招标集中采购，大大降低肥料农业投入平均成本，如种蔗专用药肥，采购单价较周边蔗农少量自采每吨降低 400-700 元，大大降低了基地投入成本，显著提高了基地规模效益。

3.6 创新生产方式，社会效益凸显。

通过推广小锄低砍的方式，在有效提高亩产量的同时还带动了贵州、广西等省份逾 5000 余人从事原料蔗砍收服务事业，每榨季砍蔗工实现砍蔗收入 2 万元以上，为进一步巩固脱贫攻坚成果贡献一份力量。



浅谈湛江垦 区发展甘蔗 分步式机收

前景

廖锡华

广东广垦糖业集团
有限公司,广东湛江
524022

摘要: 本文通过对湛江
垦区试点应用甘蔗分步

式机收情况进行系统总结, 阐述了试点应用成果及存在问题,
为下一步在湛江垦区发展甘蔗分步式机收厘清了思路。

关键词: 甘蔗; 分步式机收;

表 1 湛江垦区近十个榨季机收情况

榨季	进厂蔗量 (万 吨)	机砍蔗量 (万吨)	机收甘蔗占 比
2014/2015	131.5	4.0	3.0%
2015/2016	145.4	4.6	3.1%
2016/2017	176.1	5.4	3.1%
2017/2018	224.1	15.4	6.9%
2018/2019	215.5	14.8	6.9%
2019/2020	219.1	13.9	6.3%
2020/2021	162.8	12.4	7.6%
2021/2022	165.4	11.9	7.2%
2022/2023	157.5	10.5	6.7%
2023/2024	178.1	10.3	5.8%
平均	177.6	10.3	5.7%

近年来, 广西蔗
区调整甘蔗机收发
展方向, 因地制宜,
采用分步式机收法,
取得了良好的效果。
该方法可以降低
地形对机收的制约、
大大增加作业区域,
且可以在实现较为
良好的除杂率的同
时减少对甘蔗宿根
的影响, 从而实现可

持续的甘蔗生产全程机械化。

作者简介: 廖锡华(1982—), 男, 农艺师; 研究方向: 热带农业生产
经营管理, 产业化技术研发与应用; E-mail: liaoxihua2001@126.com。

1. 分步式机收概况

广东农垦湛江垦区是重要的甘蔗种植区域, 年种植甘蔗 30 万亩以上, 年产原料蔗超 150 万吨, 是全国重要的蔗糖生产基地。甘蔗产业作为广东农垦的优势主导产业, 近年来, 湛江垦区不断提升甘蔗耕、种、管、收各环节的机械化率, 以期降低生产成本, 提高生产效率。经过多年实践发展, 围绕甘蔗生产的耕、种、管环节均实现了较高的机械化率, 达到 90% 以上。然而, 受地形与农机农艺不配套等多重因素影响, 湛江垦区机械化收获发展缓慢, 近十个榨季, 湛江垦区机收率平均仅为 5.7%, 机收率亟待提升。

湛江垦区机械化收获率低的原因主要有几点: 一是所用甘蔗联合收割机收获的甘蔗含泥、含杂率较高, 垦区糖厂由于采用一步法制糖工艺, 处理起来难度大, 糖厂不乐意接受; 二是联合收割机收获损耗较大, 目前国外一般联合收获损耗控制在 15% 左右, 湛江垦区由于机手熟练度及地形、甘蔗种植行距等因素影响, 机收损耗超过 15%, 个别地块甚至达到 40%, 蔗农不乐意接受; 三是联合收割机收获时易对甘蔗蔗头造成损害, 造成来年甘蔗减产; 此外, 由于联合收割机自身重、转弯半径大, 只适合平坦的大地块或者坡度较缓的缓坡地, 而对于较陡的地块或者面积较小的甘蔗种植地块则几无用武之地。联合机收工农均达不到良好的满意度, 所以推进较慢。

分步式机收法是由砍蔗和除杂两个环节组成, 即将原联合收割机的割圃和切段除杂分开, 割圃环节可以用人工或者专用砍蔗机械进行, 减少对蔗头的破坏的同时减少甘蔗含泥量; 除杂环节用专门的切段除杂设备处理, 既降低甘蔗含杂量的同时, 甘蔗机收损耗也大大降低, 工农单位均乐意接受, 是一个不错的机收方式。

2. 分步式机收在湛江垦区试点情况

2023/2024 年榨季, 广垦糖业集团组织在下属丰收、华海公司试点应用甘蔗分步式机收。试点应用主要切段除杂机械为柳工农机生产的第一代甘蔗切段除杂设备, 经过近 2 个月的试点运行, 取得了良好的运行效果, 主要运行数据如下:

表 1 2023/2024 年榨季广垦糖业试点应用分步式机收
情况

单位	累 计 割 圃 效 率 (吨 / 率	折 合 品 蔗 砍 量 (吨	累 计 毛 蔗 入 点 量 (吨	累 计 加 工 成 品 甘 蔗 量	累 计 成 品 率	累 计 费 用 (元	吨 蔗 综 合 加 工 成 本 (	基 地 甘 蔗 人 工 砍 收 成	分 布 式 机 收 人 工 砍 收
----	--	--------------------------------------	---	---	-----------------------	----------------------------	---	---	---



天	()	(	元/	本	成
) 吨	吨	吨)	吨)	(本	比
/	)		元/	元/	较
天			吨)	吨)	(
)					元
					)
		77			
丰 3.	3.	46	36	.6	556
收 8	0	96	48	9	500
				%	
		74			
华 6.	5.	46	34	.3	534
海 8	1	29	40	1	542
				%	
小		93	70		
计		25	88		

注：分步式机收吨蔗综合加工成本未含分步式机及配套设施折旧。

割圃效率：丰收为 3.8 吨/人/天，华海为 6.8 吨/人/天，应用前期：丰收公司割圃工采用日工制，按照 150 元/天计算，割圃效率约为 3 吨毛蔗/人/天；华海公司为按吨计算，按照 45 元/吨计算，割圃效率约 6 吨/天。后期两单位均将割圃与加工承包给个人，割圃效率均有所提高。

折合成品蔗砍收效率：丰收为 3 吨/人/天，华海为 5.1 吨/人/天，效率为人工砍收甘蔗的 2-3 倍。

累计成品率：累计成品率为一吨毛蔗加工成成品甘蔗的比例，丰收为 77.69%，华海为 74.31%。

吨蔗综合加工成本：吨蔗综合加工成本为包含割圃费用，运输毛蔗费用，切断除杂一切费用及电费，但不含除杂设备设施折旧及场地租赁费用。丰收为 153 元/吨，华海为 155 元/吨，较人工砍收甘蔗分别降低 11 元/吨，10 元/吨。

加工效率方面：后期运转成熟后，两加工点日产成品蔗均超 100 吨。

净蔗含杂方面：目前华丰、调丰均参照广西做法，在应用推广阶段按 4%对分步式机收进行扣杂。华丰糖厂对分步式机收甘蔗进行干湿天气对比抽查，测得干爽天气甘蔗总含杂率 8.50%，潮湿天气甘蔗总含杂率 11.57%。调丰糖厂进行抽查实测含杂率则为 11.23%。

小结：经过 2 个月的试点应用，分步式机收在同等砍蔗量的情况下，可以大大降低砍蔗工用

量，仅需原来砍蔗工数量的 30%-50%，可以大大缓解砍蔗工不足的问题；同时由于是采用人工割圃，对蔗头无伤害，含泥量少，糖厂乐意接收。

3.分步式机收存在问题

3.1 切段除杂设备有待改进

分步式机收切段除杂设备目前多数为厂家第一代产成品，主要的生产厂家集中在广西区域，如柳工农机、惠来宝等，这些机械设备属初次研发生产，运行过程中发现存在很多问题，如卡蔗、皮带打滑等，频繁卡蔗造成处理效率下降，机械设备有很大的提升空间。此外，运行切段除杂设备依赖熟练的操作工，如果操作工人不熟练，特别是抓毛蔗工人不熟练，将会导致切段除杂效率大大降低。

3.2 综合成本费用略高

分步式机收未加切段除杂设备和场地折旧的情况下吨蔗成本与人工成本比节省 10 元左右，如果加上设备和场地折旧，则综合砍蔗成本与人工几无差距，甚至略高于人工砍蔗成本，需要进一步提高各环节运行效率，降低各环节运行成本。

3.3 运行效率有待提升

主要是综合砍蔗效率不高，丰收为 3 吨/人/天，华海为 5.1 吨/人/天，效率仅为人工砍收甘蔗的 2-3 倍，仍需要大量砍蔗劳动力。

3.4 受天气影响较大

分步式机收分为割圃和切段除杂两个环节，易受下雨天气影响。如果雨太大，割圃无法进行，毛蔗淋雨变潮湿后，甘蔗切段除杂效果差，成品甘蔗含杂高。

3.5 副产物难以处理

受国家政策调整影响，当前生物质发电厂度电售价与煤电售价相当，生物质发电厂基本不再使用甘蔗叶发电。分步式机收大量产生的蔗叶副产物目前还没找到合适的消化途径，堆积过多易引发火灾。

3.6 分步式机收场地受限

切段除杂设备需要占地 1000 m²以上，其中部分需要硬化，并办理设施农用地备案手续，不得占用基本农田，面积合适、通水、通电、通路同时土地性质又符合要求的场地属实不多。

4.在湛江垦区应用前景分析

分步式机收通过人工割圃和机械切段除杂结合的方式显著降低了甘蔗含泥量、含杂量，同时降低了地形对甘蔗机收的限制，综合砍收成本与人工砍收成本相当，但所需砍蔗工人数仅为原先



的 30%-50%，可以大大降低砍蔗工人数，工农业均收益。在当前人口老龄化，特别是砍蔗工人老龄化、从业人口日趋萎缩、砍蔗人工成本逐年上涨的情况，分步式机收是降低砍蔗成本、减少劳动力使用量的有效途径。

近年来，湛江垦区面临清明节前后砍蔗工人大量返乡的情况，砍蔗工人严重不足，甘蔗面临无法完全收获的问题。在当前联合机收难以迅速大规模提升的情况下，分步式机收无疑是提高甘蔗收获环节机械化率、降低人工依赖度的有效抓手。未来，在砍蔗工人大幅萎缩的情况下，甘蔗收获必将以联合收获为主，以分步式机收为辅，分步式机收是联合机收的有效补充。



基于双因素方差分析探究覆膜和施肥对甘蔗出苗的影响

冯学娟⁶, 杨江波², 经福林¹, 张曼其¹, 陈士伟¹, 刘伟清¹, 庞生¹, 吴刃¹

1 广东省湛江农垦科学研究所, 广东湛江, 524086;

2 广东农垦热带农业研究院有限公司, 广东广州, 511365

摘要: 通过设计覆膜和施肥两种处理探究双因素对甘蔗出苗的影响。结果表明, 覆膜和施肥均能够促进甘蔗出苗, 在不同施肥水平下, 两次调查结果均显示露膜 10 cm 处理出苗数最多, 而覆膜后再将泥土全覆盖上层将降低出苗数。在不同的覆膜处理下, 两次调查结果均显示三个施肥水平中, 1890 kg/ha 水平下甘蔗出苗数最多。覆膜和施肥的交互效应显示, 相对于不同施肥水平, 覆膜对甘蔗出苗的影响更大。

关键词: 甘蔗; 覆膜; 施肥; 双因素; 方差分析

Effects of Plastic Film Mulching and Fertilization on Sugarcane Emergence Based on Two-factor Analysis of Variance

FENG Xuejuan¹, YANG Jiangbo², JING Fulin¹, ZHANG Manqi¹, CHEN Shiwei¹, LIU Weiqing¹, PANG Sheng¹, WU Ren¹, TIAN Xiahong¹

1. Science Research Institute of Zhanjiang State Farms of Guangdong, Zhanjiang, 524086, Guangdong;

2. Guangdong Agribusiness Tropical Agriculture Institute Co., Ltd., Guangzhou, 511365, Guangdong

Abstract: By designing two treatments that include plastic film mulching and fertilization to explore the effects of two factors on sugarcane emergence. The results showed that both mulching and fertilization could promote the emergence of sugarcane seedlings, and the results of the two surveys showed that the number of seedlings was the

highest in the 10 cm treatment with open film under different fertilization levels, and the number of seedlings would be reduced when the soil was covered with the upper layer after mulching. Under different mulching treatments, the results of the two surveys showed that among the three fertilization levels, the number of seedlings emerged was the highest at the 1890 kg/ha level. The interaction effect of mulching and fertilization showed that mulching had a greater effect on sugarcane emergence than different fertilization levels.

Keywords: Sugarcane; plastic film mulching; fertilization; two-factor; analysis of variance

甘蔗是我国重要的糖料作物, 也是我国战略物资之一^[1], 在我国广东、广西、海南、福建、云南等地广泛种植, 这些地区往往水汽条件充沛, 具备甘蔗生产的良好条件, 但近年来极端天气频发, 甘蔗出苗时期常出现干旱少雨情况, 严重影响甘蔗的发芽和生长^[2]。甘蔗作为长周期生长作物, 具有生物量大、养分需求量高的特点^[3]。在早期的甘蔗生产过程中, 为拿到更多的产量, 部分地区存在过量施用化肥而极少施用有机肥, 日积月累, 出现土壤板结、肥料利用率低、养分随雨水冲刷流失严重等阻碍甘蔗可持续发展的现象^[4]。近年来, 随着测土配方施肥技术的普及以及肥料工业的进步, 越来越多的作物专用肥料出现在市场, 甘蔗专用肥的施用既能提高甘蔗养分吸收效率, 又能降低施用成本, 达到增产增收的目的^[5]。

根据前人研究发现, 与露地栽培相比, 覆盖栽培对甘蔗发芽、分蘖、后期生长有明显的促进作用, 解放前后广东省徐闻县农民就有用甘蔗叶、稻草等覆盖种植的习惯。虽然用此类覆盖能够起到促进甘蔗生长的作用, 但由于提供了良好的越冬场所, 会增加病虫鼠害发生的机率^[6]。随着我国工业经济发展, 地膜覆盖技术的使用越发成熟^[7]。地膜种蔗能够大大提高产量和经济效益^[8], 并且降低病虫鼠害发生, 是一种适合大面积推广的种植技术。

本研究针对地膜栽培技术和甘蔗专用肥的施用, 进行两种因素 6 个水平的交叉试验, 分析其对甘蔗出苗的影响, 为甘蔗生产提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2022 年 2 月~5 月进行, 地点设在广

基金项目 广东农垦 2024 年耕地建设与利用资金项目
(NO. 102125231650020230002)

作者简介 冯学娟 (1971—), 女, 农艺师, 主要从事土壤肥料研究。
Email: 892308299@qq.com



东省湛江市麻章区广东省湛江农垦科学研究所实验基地。供试甘蔗品种为桂糖 55 号，种苗为本单位自育，健康、长势一致；供试地膜为聚乙烯吹塑薄膜，博白县三冠塑料有限公司生产，规格 350 mm×0.01 mm；供试肥料为甘蔗专用有机肥，广东省丰收糖业发展有限公司复肥厂生产，肥料基本性质：有机质 15.82%、pH 值 6.8、氮 10.12%、磷（P₂O₅）12.21%、钾（K₂O）8.11%、含水量 14.67%。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验设置覆膜和施肥两个因素。覆膜因素（A）分三个水平，分别为：全覆盖（A1）、露膜 5 cm（A2）、露膜 10 cm（A3），全覆盖指甘蔗播种后先覆盖地膜，再用泥土全部覆盖不留空白，露膜 5 cm、露膜 10 cm 分别指播种后先用地膜覆盖种苗，再将泥土覆盖地膜，接着以种苗为中线左右两边拨开泥土分别露出地膜 2.5 cm、5 cm；施肥因素（B）分三个水平：分别为：900 kg/ha（B1）、1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）。试验设计详见表 1。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

因素 Factor	B1	B2	B3
A1	A1 B1	A1 B2	A1 B3
A2	A2 B1	A2 B2	A2 B3
A3	A3 B1	A3 B2	A3 B3

试验地块在播种前全面翻耕 1 次，翻耕深度 20 cm，充分去除碎石、前茬作物残留物及其他与试验无关的垃圾等。为方便地膜覆盖，采取行式随机区组设计，详见图 1。每种组合均设 3 次重复，共 27 个小区，每个小区长 100 cm、宽 35 cm，小区之间设置 20 cm 缓冲带，播种前按提前标注的组合施肥，将肥料与土壤充分拌匀后平铺在小区内，厚度约 10 cm，每小区播种仅 1 行，播种 5 个，间距相等，播种后浇水，每小区用水量一致，以浇透且无积水为宜，随即按要求覆膜和盖土。播种后仅做日常除草工作，除遇极端干旱天气，否则不再浇水。

分别于播种后 45d、90d 调查甘蔗出苗数量并记录。

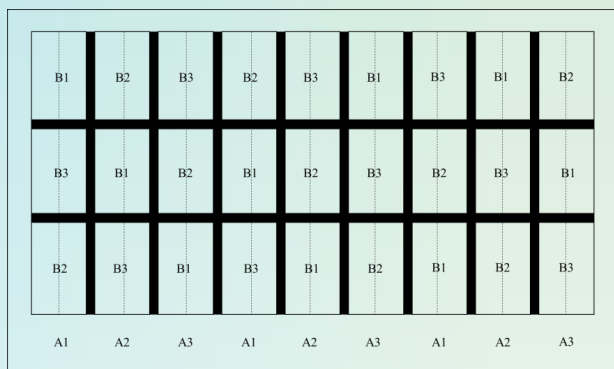


图 1 试验区组设计

Fig. 1 Experimental block design

1.2.2 方差分析

获得数据后构造检验统计量并进行各离差平方和求解，分别为：覆膜因素（A）的离差平方和（ SS_A ），反映覆膜程度对甘蔗出芽数量的影响；施肥因素（B）的离差平方和（ SS_B ），反映施肥水平对甘蔗出芽数量的影响； SS_{AB} 表示覆膜和施肥两种因素的交互效应引起的离差； SS_E 为误差平方和，由随机因素引起的离差，反映试验误差对试验指标的影响； SS_T 为总离差平方和，其各自计算公式为：

$$SS_A = n_a \sum_{i=1}^{n_a} (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

$$SS_B = n_b \sum_{j=1}^{n_b} (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

$$SS_E = \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

式中， $\bar{X}$ 为全部观测值的总均值， $\bar{X}_i$ 为覆膜因素（A）在不同水平的平均值， $\bar{X}_j$ 为施肥因素（B）在不同水平的平均值， X_{ij} 为第 i 个水平的第 j 个观测值。若覆膜因素（A）与施肥因素（B）存在交互性，则 SS_{AB} 为 SS_T 与 SS_A 、 SS_B 、 SS_E 之差。

为消除观测值数目对误差平方和计算结果的影响，需要用各平方和计算结果除以它们各自所对应的自由度，即为均方。其各自的自由度分别为 f_A 、 f_B 、 f_{AB} 、 f_E 、 f_T 。统计理论也已经证明，组间均方与组内均方之比是服从 F 分布的，为方便查看和分析结果，其各数据值可用表格形式给出，见表 2。



表 2 方差分析结果

Fig. 2 Anova result

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值
source of variation	quadratic sum	degree of freedom	mean sum of square	F value
因素 A			$MS_A =$	$F_A =$
Factor A	SS_A	df_A	SS_A/df_A	MS_A/MS_E
续表 2				
Continued table 2				
方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值
source of variation	quadratic sum	degree of freedom	mean sum of square	F value
因素 B			$MS_B =$	$F_B =$
Factor B	SS_B	df_B	SS_B/df_B	MS_B/MS_E
因素 A×因素 B			$MS_{AB} =$	$F_{AB} =$
Factor A×Factor B	SS_{AB}	df_{AB}	SS_{AB}/df_{AB}	MS_{AB}/MS_E
误差			$MS_E =$	
Error	SS_E	df_E	SS_E/df_E	
总和				
Total	SS_T	df_T		

1.2.3 数据处理

数据统计和处理采用 Microsoft Excel 2016，方差分析、显著性分析采用 IBM SPSS 23.0。

2 结果与分析

2.1 第一次调查结果

两种处理 45d 后，各处理组合的甘蔗出苗情况如表 3 所示。其中出苗最多的处理为露膜 10 cm × 1890 kg/ha 施肥水平 (A3 × B3)，平均出苗 10.00 个，而出苗最少的处理为全覆盖 × 1890 kg/ha 施肥水平 (A1 × B3) 和露膜 5 cm × 1450 kg/ha 施肥水平 (A2 × B2)，均为 5.67 个。从两种处理分别来看，施肥处理中，1890 kg/ha 水平 (B3) 出苗数最多，平均为 8.11 个；覆膜处理中，露膜 10 cm 处理 (A3) 出苗数最多，平均为 9.11 个。

表 3 第一次调查出苗结果

Fig. 3 The first survey results of seedling emergence

单位：个				
因素	B1	B2	B3	均值
Factor				Mean value
	7.00 ±	7.33 ±	5.67 ±	6.67 ±
A1	1.00	0.58	2.08	1.41
	8.33 ±	5.67 ±	8.67 ±	7.56 ±
A2	1.15	2.31	0.58	1.94
	8.33 ±	9.00 ±	10.00 ±	9.11 ±
A3	0.58	1.00	1.00	1.05
均值	7.89 ±	7.33 ±	8.11 ±	-
Mean value	1.05	1.94	2.26	

如表 4 所示，在处理 45d 时，施肥对甘蔗出苗并无显著影响 ($P=0.4372>0.05$)，但覆膜对甘蔗出苗的影响显著 ($P=0.0028<0.05$)，同时，覆膜和施肥的交互效果对甘蔗出苗同样有显著影响 ($P=0.0329<0.05$)。因此需要继续分析不同因素交互效果对甘蔗出苗的影响程度。

表 4 第一次调查结果方差分析表

Fig. 4 Anova table of the first survey results

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值
Source of variance	Sum of squares	Degree of freedom	Mean sum of square	F value	P value
覆膜 A					
Membrane					
nae	27.5556	2	13.7778	8.2667	0.0028
tectoria					
A					
施肥 B					
Fertilization	2.8889	2	1.4444	0.8667	0.4372
ion B					
覆膜 A × 施肥 B	22.2222	4	5.5556	3.3333	0.0329



Membra				
nae				
tectoria				
A×				
Fertilizat				
ion B				
误差	30.0000	18	1.6667	
Error				
总和	82.6667	26		
Torel				

由表 5 可知,处理后 45d,在 900 kg/ha (B1) 施肥水平下,不同的覆膜处理间对甘蔗出苗无显著影响。而在 1450 kg/ha (B2)、1890 kg/ha (B3) 两个施肥水平下,不同的覆膜处理间对甘蔗出苗有显著影响。其中,1450 kg/ha (B2) 施肥水平下,露膜 5 cm (A2) 处理与露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗影响差异显著 ($P=0.0162<0.05$); 1890 kg/ha (B3) 施肥水平下,全覆盖 (A1) 处理与露膜 5 cm (A2) 处理、露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗分别有显著差异 ($P=0.0020<0.05$ 、 $P=0.0322<0.05$),但露膜 5 cm (A2) 处理与露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗影响并不显著。

表 5 在施肥因素下覆膜因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 5 Results of multiple comparison of the effects of mulching factors on the emergence of sugarcane under fertilization

施肥 B Fertilization B	覆膜 Mem brana e tecto ria A	平均 值差 值 Mean differe nce	标准 误差 Stan dard error	P 值 P	差值的 95%置信区 间 95% confidence interval for the difference	
					下限 Lower limit	上限 Upper limit
B1	A	-1.333	1.05	0.	-4.1152	1.4486
	3	3	41	61		
	A	-1.333	1.05	0.	-4.1152	1.4486
	2	3	41	61		
	A	0.000	1.05	1.	-2.7819	2.7819

2	3	0	41	00		
	A	1.333	1.05	0.		
	1	3	41	66	-1.4486	4.1152
	A	0.000	1.05	1.		
	2	0	41	00	-2.7819	2.7819
	A	1.333	1.05	0.		
	1	3	41	66	-1.4486	4.1152
	A	-1.666	1.05	0.		
	3	7	41	39	-4.4486	1.1152
	A	1.666	1.05	0.		
	2	7	41	39	-1.1152	4.4486
	A	-3.333	1.05	0.		
	3	*	41	01	-6.1152	-0.551
	A	-1.666	1.05	0.		
	1	7	41	39	-4.4486	1.1152
	A	3.333	1.05	0.		
	2	*	41	01	0.5514	6.1152
	A	1.666	1.05	0.		
	1	7	41	39	-1.1152	4.4486

续表 5

施肥 B Fertilization B	覆膜 Mem brana e tecto ria A	平均 值差 值 Mean differe nce	标准 误差 Stan dard error	P 值 P	差值的 95%置信区 间 95% confidence interval for the difference	
					下限 Lower limit	上限 Upper limit
B3	A	-4.333	1.05	0.	-7.1152	-1.551
	3	*	41	00		
	A	-3.000	1.05	0.	-5.7819	-0.218
	2	*	41	03		



A	2	A	-1.333	1.05	66	-4.1152	1.4486
		3	3	41	61		
		A	3.000	1.05	03	0.2181	5.7819
	3	1	*	41	22		
		A	1.333	1.05	66	-1.4486	4.1152
		2	3	41	61		
		A	4.333	1.05	00	1.5514	7.1152
		1	*	41	20		

注：多重比较调节：邦弗伦尼法。*表示在 0.05 水平下差异显著。下同。

表 6 可知，处理后 45d，在全覆盖（A1）处理、露膜 10 cm（A3）处理下不同施肥水平间甘蔗出苗均无显著差异。在露膜 5 cm（A2）处理下，1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）两个施肥水平间甘蔗出苗的差异显著（ $P=0.0322<0.05$ ）。

表 6 在覆膜因素下施肥因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 6 Results of multiple comparison of effects of fertilization factors on sugarcane emergence under mulching factors

覆膜 A Membr anae tectoria A	施肥 B Fertilizat ion B	平均 值差 值 Mean differe nce	标准 误差 Stand ard error	P 值 P volu e	差值的 95% 置信区间 95% confidence interval for the difference	
					下限 Low er limit	上限 Upp er limit
A1	B2	-0.333	1.054	1.00	-3.1	2.44
		3	1	00	152	86
	B3	1.333	1.054	0.66	-1.4	4.11
		3	1	61	486	52
	B	1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44
		7	1	38	152	86
A2	B1	0.333	1.054	1.00	-2.4	3.11

A2	B	B2	3	1	00	486	52	
			-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11	
	3	B1	7	1	38	486	52	
			-1.333	1.054	0.66	-4.1	1.44	
	A3	B	B2	3	1	61	152	86
				2.666	1.054	0.06	-0.1	5.44
		1	B3	7	1	29	152	86
				-0.333	1.054	1.00	-3.1	2.44
		B	B3	3	1	00	152	86
				-3.000	1.054	0.03	-5.7	-0.2
2		B1	*	1	22	819	181	
			-2.666	1.054	0.06	-5.4	0.11	
B		B2	7	1	29	486	52	
			3.000	1.054	0.03	0.21	5.78	
A3	B	B2	*	1	22	81	19	
			0.333	1.054	1.00	-2.4	3.11	
	3	B1	3	1	00	486	52	
			-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11	
	1	B3	7	1	00	486	52	
			-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11	
	B	B3	7	1	38	486	52	
			-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78	
	2	B1	0	1	00	819	19	
			0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44	
A3	B	B2	7	1	00	152	86	
			1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78	
	3	B1	0	1	00	819	19	
			1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44	
	B	B3	7	1	38	152	86	
			-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11	
	1	B3	7	1	00	486	52	
			-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11	
	B	B3	7	1	38	486	52	
			-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78	
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00	819	19		
		1.666	1.054	0.39	-1.1	4.44		
B	B3	7	1	38	152	86		
		-0.666	1.054	1.00	-3.4	2.11		
1	B3	7	1	00	486	52		
		-1.666	1.054	0.39	-4.4	1.11		
B	B3	7	1	38	486	52		
		-1.000	1.054	1.00	-3.7	1.78		
2	B1	0	1	00	819	19		
		0.666	1.054	1.00	-2.1	3.44		
B	B2	7	1	00	152	86		
		1.000	1.054	1.00	-1.7	3.78		
3	B1	0	1	00				

2.2 第二次调查结果

处理后 90d 进行第二次调查，出苗结果如表 7 所示。出苗最多的处理为露膜 5 cm×1890 kg/ha 施肥水平（A2×B3）和露膜 10 cm×1890 kg/ha 施肥水平（A3×B3），平均出苗均为 23.00 个，出苗最少的处理为露膜 5 cm×1450 kg/ha 施肥水平（A2×B2），仅 12.67 个。从两种处理分别来看，施肥处理中，1890 kg/ha 水平（B3）出苗数最多，平均为 21.44 个；覆膜处理中，露膜 10 cm 处理（A3）出苗数最多，平均为 22.00 个。与第一次调查结果一致。

表 7 第二次调查出苗结果

Fig. 7 The second survey results of seedling emergence

单位：个



因素 Factor	B1	B2	B3	均值 Mean value
A1	17.00± 3.00	20.67± 1.15	18.33± 4.04	18.67± 3.04
A2	19.00± 2.65	12.67± 3.79	23.00± 3.61	18.22± 5.38
A3	22.00± 2.00	21.00± 2.65	23.00± 5.57	22.00± 3.35
均值 Mean value	19.33± 3.12	18.11± 4.73	21.44± 4.53	-

表 8 为处理后 90d 的出苗情况方差分析结果。与第一次调查结果不同的是，施肥和覆膜对甘蔗出苗均无显著影响 ($P=0.0579>0.05$, $P=0.1357>0.05$)，而二者的交互效应对其影响显著 ($P=0.0453<0.05$)，这与第一次调查结果一致。

表 8 第二次调查结果方差分析表

Fig. 8 Second survey results analysis of variance table

方差来源 Source of variation	平方和 Quadratic sum	自由度 Degree of freedom	均方和 Mean sum of square	F 值 F value	P 值 P value
覆膜 A Membrane A	76.7407	2	38.3704	3.3528	0.0579
施肥 B Fertilization B	51.1852	2	25.5926	2.2362	0.1357
覆膜 A × 施肥 B Membrane A × Fertilization B	138.3704	4	34.5926	3.0227	0.0453

误差 Error	206.0000	18	11.4444
总和 Total	472.2963	26.0000	

由表 9 可知，处理后 90d，在 900 kg/ha (B1) 和 1890 kg/ha (B3) 两个施肥水平下，不同的覆膜处理间对甘蔗出苗均无显著影响。而在 1450 kg/ha (B2) 施肥水平下，不同的覆膜处理间对甘蔗出苗有显著影响。其中，露膜 5 cm (A2) 处理与全覆盖 (A1) 处理、露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗影响均差异显著 ($P=0.0289<0.05$, $P=0.0222<0.05$)；全覆盖 (A1) 处理与露膜 10 cm (A3) 处理对甘蔗出苗影响并不显著 ($P=1.0000>0.05$)。

表 9 在施肥因素下覆膜因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 9 Results of multiple comparison of the effects of mulching factors on the emergence of sugarcane under fertilization

施肥 B Fertilization B	覆膜 A Membrane A	平均值差 Mean difference	标准误差 Standard error	显著性 Conspicuousness	差值的 95% 置信区间 95% confidence interval for the difference	
					下限 Lower limit	上限 Upper limit
B1	A 1	-5.00	2.76	0.261	-12.28	2.289
	A 3	0.00	2.76	1.000	-9.289	5.289
	A 2	-2.00	2.76	0.875	-10.28	4.289
	A 3	-3.00	2.76	0.875	-10.28	4.289
	A 2	2.00	2.76	1.000	-5.289	9.289
	A 1	0.00	2.76	0.875	-4.289	10.28
B2	A 2	0.00	2.76	0.261	-2.289	12.28
	A 3	5.00	2.76	0.261	-2.289	12.28
	A 1	0.00	2.76	1.000	-7.623	6.956
B3	A 1	-0.33	2.76	1.000	-7.623	6.956
	A 3	3.33	2.76	0.261	-2.289	12.28



B3	A	8.00	2.76	0.028	15.28	0.7102
	2	0*	22	9	98	
	A	-8.33	2.76	0.022	-15.62	
	3	3*	22	2	31	
	A	-8.00	2.76	0.028	-15.28	
	1	0*	22	9	98	
	A	8.33	2.76	0.022	15.62	
	2	3*	22	2	31	
	A	0.33	2.76	1.000	-6.956	
	3	33	22	0	5	
	A	-4.66	2.76	0.325	-11.95	
	3	67	22	1	65	
B3	A	-4.66	2.76	0.325	-11.95	2.623
	2	67	22	1	65	
	A	0.00	2.76	1.000	-7.289	
	3	00	22	0	8	
	A	4.66	2.76	0.325	-2.623	
	1	67	22	1	1	
	A	0.00	2.76	1.000	-7.289	
	2	00	22	0	8	
	A	4.66	2.76	0.325	-2.623	
	3	67	22	1	1	
	A	4.66	2.76	0.325	-2.623	
	1	67	22	1	1	

表 10 可知，处理后 90d，在全覆盖（A1）处理、露膜 10 cm（A3）处理下不同施肥水平间甘蔗出苗均无显著差异。在露膜 5 cm（A2）处理下，1450 kg/ha（B2）、1890 kg/ha（B3）两个施肥水平间甘蔗出苗的差异显著（ $P=0.0045<0.05$ ），这与第一次调查结果一致。

表 10 在覆膜因素下施肥因素间对甘蔗出苗影响的多重比较结果

Fig. 10 Results of multiple comparison of effects of fertilization factors on sugarcane emergence under mulching factors

覆膜 A Membranae tectoria a A	施肥 B Fertilization B	平均值差 Mean difference	标准误差 Standard error	显著性 Conspicuousness	差值的 95% 置信区间 95% confidence interval for the difference	
					下 限	上 限

A1	B	B2	-3.66 67	2.76 22	0.6028	-10.956	3.6231
		B3	-1.33 33	2.76 22	1.0000	-8.6231	5.9565
	2	B3	2.33 33	2.76 22	1.0000	-4.9565	9.6231
		B1	3.66 67	2.76 22	0.6028	-3.6231	10.9565

续表 10

Continued table 10

覆膜 A Membranae tectoria A	施肥 B Fertilization B	平均值 差值 Mean difference	标准 误差 Standard error	显著 性 Conspicuousness	差值的 95%置信 区间 95% confidence interval for the difference					
					下限 Lower limit	上限 Upper limit				
A1	B	B2	-2.3	2.76	1.000	-9.6231	4.9565			
			333	22	0					
	3	B1	1.3	2.76	1.000	-5.9565	8.6231			
			333	22	0					
A2	B	B2	6.3	2.76	0.102	-0.9565	13.623			
			333	22	3					
		1	B3	-4.0	2.76			0.494	-11.289	3.2898
				000	22			3		
	2	B3	-10.	2.76	0.004	-17.623	-3.043			
			333	22	5					
		*						1	5	
	3	B1	-6.3	2.76	0.102	-13.623	0.9565			
			333	22	3					
		B2		10.	2.76			0.004	3.0435	17.623
				333	22			5		
*										
	B1	4.0	2.76	0.494	-3.2898	11.289				
	000	22	3							



A3	B	B2	1.0	2.76	1.000	-6.2898	8.2898
			000	22	0		
		1					
		B3	-1.0	2.76	1.000	-8.2898	6.2898
			000	22	0		
	B	B3	-2.0	2.76	1.000	-9.2898	5.2898
			000	22	0		
		2					
		B1	-1.0	2.76	1.000	-8.2898	6.2898
			000	22	0		
B	B2	2.0	2.76	1.000	-5.2898	9.2898	
		000	22	0			
	3						
	B1	1.0	2.76	1.000	-6.2898	8.2898	
		000	22	0			

3. 讨论与结论

岩温劳^[9]等的研究表明,甘蔗出苗率全膜覆盖比半膜覆盖和不盖膜分别提高 20.18%和 34.80%,而产量全膜覆盖比半膜覆盖和不盖膜分别提高 33.3%和 84.4%。本试验最后结果显示,在三个施肥水平下均为露膜 10 cm (A3) 处理出苗数最多,其平均值分别比全覆盖(A1)处理和露膜 5 cm(A2)处理高出 17.84%和 20.75%。由此可见,在盖膜后覆土情况下,适当将土拨开漏出地膜可提高出苗数。

施肥^[10]对甘蔗的出苗也有一定影响。李恒锐^[11]等的研究表明,在等价投入前提下,施用甘蔗专用肥后甘蔗产量、产糖量以及工农业产值均高于施用进口复合肥和化肥与牛粪配置的常规肥;廖青^[12]等的研究也表明甘蔗专用肥能够提高甘蔗蔗糖成分,获得明显的经济效益。因此本试验选择施用甘蔗专用肥作为研究对象,在不同的覆膜处理下,两次调查结果均显示三个施肥水平中,1890 kg/ha (B3) 水平下甘蔗出苗数最多。

在本试验条件下,由结果可知,相对于不同施肥水平,覆膜对甘蔗出苗的影响更大,无论在哪种施肥水平下,覆膜的 3 种处理中,两次调查结果均显示露膜 10 cm 条件下甘蔗出苗数最多,可能是因为露膜宽度更大,甘蔗种在出苗前接收阳光更加充足,有效促进了发芽和出苗。

综上所述,在本地区实际生产中,甘蔗播种后建议覆盖地膜,地膜上用土覆盖后在播种位置露膜 10 cm 以上,其余部分用土压实,既可防虫防草,亦可保水保温保肥。同时应尽量施足基肥,满足发芽和出苗的营养需求。

- [1] 李 鸣,陈玲玲,张积森. 甘蔗[J]. 基因组学与应用生物学, 2023, 42(12): 1383.
- [2] 谭宏伟,周柳强,谢如林,黄美福. 蔗区降雨分布与甘蔗需水及加肥灌溉效应[J]. 西南农业学报, 2008, (05): 1381-1384.
- [3] 彭李顺,曹峥英,蔡文伟,甘仪梅,杨本鹏. 膜下滴灌减量施肥对甘蔗农艺性状、产量和养分利用率的影响[J]. 热带作物学报, 2023, 44(11): 2322-2329.
- [4] 朱 宁,曹 博. 甘蔗种植的化肥利用率及碳减排潜力分析[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(10): 1397-1399+1412.
- [5] 廖 青,江泽普,邢颖,杨绍镠,陈桂芬,梁潘霞,蒙炎成. 缓释肥和专用肥对甘蔗产量和品质的影响[J]. 广西糖业, 2017(01): 10-14.
- [6] 蔡仁林. 甘蔗覆膜栽培技术[J]. 中国糖料, 2003, (01): 40-41.
- [7] 陈奇恩. 中国塑料薄膜覆盖农业[J]. 中国工程科学, 2002(04): 12-15+21.
- [8] 李成宽,屈再乐,张贵苍,李朝正,刘芳爱,孟爱宝,汤彩茹,熊国斌. 地膜全覆盖对旱地甘蔗产质量及效益的影响[J]. 中国糖料, 2017, 39(01): 26-27.
- [9] 岩温劳,余健,岩说,夏梦吟,李芳,李春秀,李艳芳,特芮. 勐海县甘蔗品种云蔗 05-51 新植覆膜技术初探[J]. 中国糖料, 2018, 40(01): 38-39.
- [10] 杨承礼. 甘蔗需肥特点与施肥技术分析[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(12): 46-48.
- [11] 李恒锐,邱文武,马文清,彭 崇,卢美瑛. 不同类型肥料对甘蔗产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 83-85.
- [12] 廖 青,江泽普,邢 颖,杨绍镠,陈桂芬,梁潘霞,蒙炎成. 缓释肥和专用肥对甘蔗产量和品质的影响[J]. 广西糖业, 2017, (01): 10-14.



内生菌抑菌基因克隆及序列 分析与表达产物的抑菌作用 研究

戴利铭

云南省热带作物科学研究所

解淀粉芽孢杆菌 BS-3 是从健康橡胶树树根系组织中分离获得的一株对多种植物真菌病害具有较强抗菌活性的内生细菌。采用 PCR 方法从菌株 BS-3 基因组 DNA 中扩增出 TasA 基因，构建 pET28a/TasA 和 pCZN1/TasA 原核表达载体，获得 pET28a-TasA 和 pCZN1-TasA 融合表达的抑菌蛋白；利用生长速率法检测纯化重组蛋白对多种病原菌的抑菌特性。结果 TasA 基因包含 1 个 483bp 的完整开放阅读框，编码 160 个氨基酸；1-27 个氨基酸为信号肽，7-29 个氨基酸为跨膜结构域。将截去信号肽和跨膜结构域的 TasA 基因成功构建 pET28a-TasA 和 pCZN1-TasA 原核表达载体。pET28a-BL21-TasA 重组蛋白在 37℃ 下以包涵体的形式表达；而 pCZN1-Arctic Express-TasA 重组蛋白在 15℃ 下成功在上清液中表达。pCZN1-Arctic Express-TasA 获得的重组蛋白经纯化后检测其抑菌活性，发现该蛋白对尖孢炭疽病菌、橡胶链格孢叶斑病菌、小孢拟盘多毛孢均有抑制作用，抑菌率分别为 99.38%、66.17%、30.88%。



3 种葛根叶绿体基因组的特征与比较分析

郭丽君 王爱勤

广西大学农学院

葛根是豆科蝶形花亚科多年生藤本植物，具有极高的药用、食用和经济价值。而葛资源在品种和质量上存在许多差异。因此，有必要对葛属植物的资源和系统发育关系进行鉴定。为揭示葛属植物葛麻姆 *Pueraria montana* var. *montana* (桂葛 18 号)、粉葛 *P. montana* var. *thomsonii* (桂葛 1 号) 和野葛 *P. montana* var. *lobata* (桂葛 8 号) 的叶绿体基因组特征和系统发育关系，对 3 种葛的叶绿体基因组进行测序和分析，并结合相关类群 (23 种豆科植物) 进行系统发育分析。结果表明，葛麻姆、粉葛和野葛的叶绿体基因组大小分别为 153,442 bp, 153,673 bp, 153,471 bp。3 种葛均编码 129 个基因，包括 84 个蛋白编码基因，37 个 tRNA 基因和 8 个 rRNA 基因；基因组结构、密码子使用和基因分布高度相似。叶绿体基因组的变异区主要存在于非编码区。葛根的大单拷贝区 (LSC) 比反向重复区 (IRb) 有更高的变异。系统发育分析表明，3 种葛根聚类在一个分支中，粉葛与野葛的亲缘关系较与葛麻姆更近。rpl16 基因、SSRs 序列、回文重复序列和串联重复序列可用于葛品种的鉴定。葛叶绿体基因组有助于葛属植物鉴定和进化关系研究。



苹婆及其近缘种种质资源调 查、评价及核心种质构建

罗培四

广西南亚热带农业科学研究所

摘要: 1. 苹婆及其近缘种种质资源调查 对广西、广东、贵州、云南等省份苹婆、假苹婆、粉苹婆、香苹婆等物种种质资源进行了调查, 收集保存苹婆及其近缘种种质资源 162 份; 预测苹婆及其近缘种适生区及影响其生长和分布的限制性气候因子。 2. 苹婆及其近缘种亲缘关系分析 对香苹婆的叶绿体基因组进行测序, 结合苹婆、香苹婆等植物的叶绿体基因组进行物种进化分析; 基于 ISSR 分子标记进行苹婆及其近缘种进行亲缘关系分析。 3. 苹婆果实性状遗传多样性分析及综合评价 采用聚类分析、主成分分析和逐步回归分析等方法对苹婆的果实性状进行遗传多样性分析和综合评价, 筛选出 4 个关键性状指标和 5 个综合性状优良的种质。 4. 苹婆及其近缘种核心种质构建 基于 18 个表型性状数据, 通过 2 种遗传距离、3 种系统聚类方法、2 种取样策略, 筛选适用于苹婆表型性状的核心种质构建策略。 基于 ISSR 标记数据, 通过 2 种遗传距离、2 种系统聚类方法以及 2 种取样策略以及 5 种取样比例, 筛选适用于分子标记数据的构建策略。 利用混合遗传距离构建核心子集, 探讨基于表型和 ISSR 整合数据构建苹婆核心种质的可行性和优越性。



榴槿重要害虫——马来异裂

木虱 *Allocarsidara*

malayensis (Crawford) (半翅

目：裂木虱科) 在中国的发现及识别

李磊

中国热带农业科学院环境与植物保护研究所



天然橡胶加工工艺中磷的迁移特征研究

崔祥华 张桂梅 姜士宽 岩利 祁龙

云南省热带作物科学研究所

摘要：天然橡胶是重要的工业原料，也是不可或缺的国家战略资源。天然橡胶加工过程中产生的废水含有大量磷化合物，对生态环境、经济效益等方面均产生负面影响，且磷元素主要来源于天然胶乳原料本身，分析磷在天然橡胶加工过程中的迁移特征，有助于解决制胶废水中磷处理领域的热点和难点。本实验研究内容为橡胶加工工艺条件对天然胶乳中磷迁移的影响，研究以鲜胶乳和凝胶为原料时，胶乳干胶含量、氨含量、胶乳凝固 pH 值、凝胶存放天数等工艺条件对胶乳和凝胶原料中磷迁移的影响，检测胶乳、乳清、干胶中总磷与有效磷含量，分析天然橡胶加工过程中磷的迁移规律。结果表明，在天然橡胶加工过程中，磷元素大部分迁移至乳清中，少部分磷元素留在了干胶内。凝胶 pH4.7、pH4.8 时，乳清中总磷含量与有效磷含量差异最明显，随着 pH 值增加，乳清中有效磷含量显著增加；干胶胶片的总磷含量与干胶含量、加氨量、胶乳 pH 值呈正相关，干胶含量越低变化越明显；凝胶 pH 值越高，磷的迁移率越低，乳清中的磷含量越高。



滨海植物碱蓬、马鞍藤生物 学分析和基因组解析

程焱
福建农林大学

土壤盐碱化问题逐渐对全球农作物生产和人类的可持续发展构成威胁。因此，解析植物耐盐机理并鉴定耐盐基因，以用于作物的耐盐性改良，具有重要的意义。滨海植物碱蓬(*Suaeda glauca*)、马鞍藤(*Ipomoea pes-caprae* L.)是典型的盐生植物，具有较高的耐盐性。为了探索盐生植物的耐盐机制，本团队对碱蓬、马鞍藤开展了系统的生物学特征分析和基因组研究。在生物学分析工作中，我们系统了解了碱蓬、马鞍藤的种子形态、种子萌发、花器官发育等形态特征，并从细胞学水平上分析了它们雌雄配子体发育的过程，观测了其染色体数目和基因组大小等基本生物学信息。碱蓬基因解析工作于 2023 年发表在《Horticulture Research》上。在这项工作中，我们获得了染色体水平的单倍体碱蓬参考基因组。对碱蓬的 ABCE 基因家族进行的系统分析揭示，A 类基因的功能失调可能是导致碱蓬缺乏花瓣的主要原因。通过比较基因组分析，碱蓬基因组解析工作还揭示了“DNA/染色质稳定性维持”的耐盐新机制。马鞍藤基因组解析工作于 2023 年发表在《Seed Biology》上。此研究组装并注释了首个染色体水平的马鞍藤参考基因组，并发现马鞍藤的耐盐机制依赖于负责离子吸收、运输和液泡隔离的关键转运蛋白和调节蛋白基因的扩张，从而促进盐离子摄取并运输到液泡内隔离储存；此外，马鞍藤细胞内高盐浓度耐受性也是该组成型机制的关键组成部分，主要体现在“DNA/染色质稳定性维持”相关基因在基因组中的显著扩张。本研究是继之前研究之后，再次在耐盐植物中发现“DNA/染色质稳定性维持”的耐盐新机制。此机制的发现为盐生植物的耐盐性提供了新见解，并为通过遗传改良增强作物的耐盐性提供了新的视角。



五个芒果品种的不同成熟度 果实挥发物的鉴定

兰泰辉 黄玲 韦斌
广西大学

芒果极易受到橘小实蝇为害，且不同成熟度果实的受害程度不同。挥发物在橘小实蝇寄主选择中有重要作用，芒果活性挥发物鉴定有助于开发绿色有效的引诱剂或驱避剂。因此，我们抽提并鉴定了五个芒果品种不同成熟度的果实挥发物，进行了成分及类别分析。结果显示，从五个品种芒果挥发物中共鉴定出 117 种化合物，其中萜烯类 41 种、烷烃类 11 种、酯类 39 种、醇类 8 种、酮类 7 种、醛类 8 种、其他类 3 种。其中，贵妃绿熟 37 种，黄熟 22 种，完熟 22 种；台农一号绿熟 11 种，黄熟 22 种，完熟 28 种；澳芒绿熟 33 种，黄熟 50 种，完熟 64 种；金煌芒绿熟 23 种，黄熟 33 种，完熟 34 种；桂热 82 号绿熟 24 种，黄熟 42 种，完熟 40 种。澳芒鉴定出挥发性成分最多，其次为桂热 82 号，台农一号最少。 α -蒎烯、 β -月桂烯、 α -蒎品烯、D 柠檬烯、 β -罗勒烯、蒎品油烯、对-伞花烃、3-己醇和 3 己酮为 5 个芒果品种挥发物共有组分。这些研究结果将有助于橘小实蝇田间引诱剂或驱避剂的开发，为害虫绿色防控及“推-拉”策略执行提供基础。



CC-type glutaredoxins regulate abiotic stress responses in cassava

阮孟斌

热带作物生物育种全国重点实验室/中国热带农业科学院热带生物技术研究所

Drought is one of the important limited environmental factors causing the decline of cassava tuber root yield, which seriously affects the seedling survival rate and tuber root formation of cassava cultivars at seedling stage. Reactive Oxygen Species (ROS) homeostasis plays a key role in cassava response to drought stress. Glutaredoxins (GRX) are very important for ROS homeostasis in plants under environmental stress, but the function and molecular mechanism by which GRX regulating the drought resistance in cassava cultivars remained unknown. The cassava CC-type glutaredoxin MeGRXC3 is predominantly localized in the nucleus and exogenous ABA treatment may cause re-localization of MeGRXC3 in the nucleus of guard cells. MeGRXC3 regulates activity of catalase at both transcriptional and post-translational levels, therefore involving in ROS homeostasis and stomatal movement in responses of cassava to drought stress. MeGRXC3 interacts with a cassava TGA transcription factor MeTGA2 in the nucleus, and regulates the expression of MeCAT7 through a MeTGA2-MeMYB63 pathway. Overall, we demonstrated the roles of MeGRXC3 in regulating activity of catalase at both transcriptional and post-translational levels, therefore involving in ROS homeostasis and stomatal movement in responses of cassava to drought stress. MeGRXC4 is a tandem duplicated gene of MeGRXC3 in cassava genome. Transgenic cassava overexpressing MeGRXC3 was sensitive to mannitol and PEG6000, while transgenic cassava overexpressing MeGRXC4 was tolerant to these stresses. Furthermore, MeGRXC3 and MeGRXC4 antagonistically regulated the expression of multiple stress response genes, including some key transcription factors. Therefore, MeGRXC3 and MeGRXC4 are involved in the response of cassava to drought stress by regulating the expression of stress related transcription factors antagonistically. Our study provides the first insights into how CC-type GRXs may be used in molecular breeding of cassava crops.



柑橘木虱保幼激素合成酶 JHAMT 及降解酶 JHEH 对 卵黄原蛋白的调控

石德香 王小云
广西大学

柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 是柑橘产业的重
大害虫，产卵控制基因可为绿色环保的新型 dsRNA 生物
农药的优势靶标。保幼激素（juvenile hormone, JH）通过
参与昆虫卵黄发生、卵黄沉积和卵巢发育来调节成虫的产
卵等生殖行为。然而，柑橘木虱的 JH 合成酶基因 JHAMT
和降解酶基因 JHEH 如何参与调控 JH 水平、卵黄原蛋白
合成及卵巢的发育尚不清楚。因此，本研究克隆并鉴定了
柑橘木虱的 DcJHAMT 和 DcJHEH 基因，阐明了其翻译蛋
白的结构特征。在不同日龄的柑橘木虱雌成虫中，
DcJHAMT 的表达量在羽化第 7 天最高，在第 10 天达到第
二个高峰。DcJHEH 基因的表达水平在第 5 天达到最高值，
第 10 天达到另一个小高峰。在不同的组织中，DcJHAMT
和 DcJHEH 在雌成虫的脂肪体中高表达，其次在卵巢中高
表达，在其他组织少量表达。沉默 DcJHAMT 后，柑橘木
虱体内的 JH 浓度下降，卵黄合成关键基因 Vg 及 VgR 的
表达量下降，卵巢发育缓慢；沉默 DcJHEH 后，JH 浓度
上升，Vg 及 VgR 的表达量上调，卵巢发育提前。干扰
DcJHAMT 后，DcJHEH 的表达量下降，干扰 DcJHEH 后，
DcJHAMT 的表达量上升，但 DcJHAMT 表达量显著下降
时，DcJHEH 的表达量下降，证实 DcJHAMT 与 DcJHEH
基因互为拮抗，共同调节 JH 的动态平衡和卵黄原蛋白发
生。这些研究结果将有助于深入研究 JH 途径调控柑橘木
虱生殖发育的分子机制，并为基于生殖调控基因的 RNAi
绿色农药的开发提供参考资料。



PeWRKY20 通过抑制 PeMDH1 调控西番莲采后苹 果酸代谢和风味形成

程妍 房传营
海南大学

水果风味决定水果市场，对于大多数水果来说，风味由可溶性糖、有机酸和各种挥发性代谢物决定。西番莲（*Passiflora edulis*）主要分布在热带和亚热带地区，以其高营养价值和独特风味而闻名。西番莲通常在早熟阶段采收，采后处理可提升其风味。然而，西番莲在采后贮藏过程中风味代谢动态变化的遗传基础在很大程度上仍然未知。本研究以西番莲果实台农 1 号为实验材料，分别在采后室温、低温和 100 μ M 茉莉酸甲酯（MeJA）预熏蒸的室温处理下保存，通过整合转录组和代谢组分析确定西番莲果实风味在采后的动态变化。结果表明，采后贮藏期间共鉴定到 272 种挥发性和 110 种非挥发性风味相关化合物，其中糖和大部分挥发性代谢物含量增加，有机酸含量下降。低温和 MeJA 处理均能有效延缓果实衰老，而 MeJA 处理能更好地保持果实的风味。通过构建西番莲转录代谢网络，确定了一个参与调节糖和脂质合成的关键转录因子 PeWRKY20。PeWRKY20 通过与苹果酸脱氢酶基因 PeMDH1 启动子结合从而抑制其表达。烟草瞬时转化及体外酶活性分析表明，PeWRKY20 和 PeMDH1 能够差异促进西番莲中苹果酸的积累和挥发物（如十七烷、邻苯二甲酸二甲酯和 L- α -松油醇）的产生。综上，本研究基于苹果酸和挥发物之间的关联，揭示了西番莲采后风味形成的一个关键调控网络，为提高西番莲风味品质提供了理论依据。



生防链霉菌 17-7 促生特性分析

李岚岚

云南省热带作物科学研究所

为了更好地开发利用生防链霉菌 17-7, 最大限度发挥其优势, 为新型生物农药的研发储备生防菌资源, 本研究通过 Ashby 无氮培养基选择培养法、溶磷圈法、Nessler's 试剂显色法、CAS 平板检测法、Salkowski 比色法定性检测该菌株的固氮能力、溶磷能力、产氨能力、产铁载体能力和产 IAA 能力; 在此基础上, 通过 CAS 检测液显色反应测定 OD₆₃₀ 值定量检测产铁载体能力, 并基于 LC-MS/MS 激素分析方法定量检测链霉菌 17-7 菌株产激素能力。本研究发现, 生防链霉菌 17-7 具有固氮能力、产氨能力、产铁载体能力和产 IAA 能力; 定量检测出该菌株发酵液中铁载体浓度为 $33.146 \pm 0.005 \mu\text{g/mL}$, 检测出该菌株发酵液中含有 36 种激素, 包括 1 种脱落酸(ABA)、17 种生长素(Auxin)、11 种细胞分裂素(CK)、1 种乙烯类(ETH)、1 种赤霉素(GA)、3 种茉莉酸(JA)、1 种褪黑素(MLT)、1 种水杨酸(SA)。综上所述结果表明, 生防链霉菌 17-7 可能对植物具有促生和抗逆作用, 具有潜在开发利用价值。



Combined physiology, transcriptome and metabolome analysis reveals how potassium governs low-temperature tolerance in coconut (*Cocos nucifera* *L.*) seedlings

Lilan Lu Yaodong Yang

中国热带农业科学院椰子研究所

Coconut holds significant importance as a fruit and oilseed crop in tropical and subtropical regions. However, low temperature (LT) stress has caused substantial reductions in yield and economics that impedes coconut production, thereby constraining its widespread cultivation and utilization. But the regulatory mechanisms by which K improves coconut adaptability to cold stress remain poorly understood. Transcriptome and metabolomic analyses were performed on coconut seedlings treated with LT (5°C) and room temperature (25°C) under various K conditions: K0 (0.1 mM KCL), KL (2 mM KCL), KM (4 mM KCL), and KH (8 mM KCL). It also conducted correlation analysis with physiological indicators. The findings indicated that K absorption, nutrient or osmotic regulation, accumulation of substances, photosynthesis, hormone metabolism, and reactive oxygen species (ROS) clearance pathways played crucial roles in the adaptation of coconut seedlings to LT stress. LT stress disrupted the homeostasis of hormones, antioxidant enzyme activity, the regulation of nutrients and osmolytes. K helped maintain the homeostasis of hormones, antioxidant enzyme activity, chlorophyll, K, and the regulation of nutrients and osmolytes, promoted the removal of ROS, and reduced malondialdehyde, consequently diminishing the damage caused by LT stress to coconut seedlings. Furthermore, the comprehensive analysis of metabolomics and transcriptomics highlighted the importance of carbohydrate metabolism, biosynthesis of other secondary metabolites, amino acid metabolism, lipid

metabolism, and ABC transporters in K's role in improving coconut seedlings' tolerance to LT stress. This study identified the pivota biological pathways, regulatory genes, and metabolites implicated in K regulation of coconut seedlings to acclimate to LT stress.

