果 树 学 报 2026,43(8):2137-2149
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250649

云南德宏3个不同澳洲坚果品种成熟期果实品质变化与最佳采收期预测

蔡文良[1],冯岩晃[1],李庆聪[2],杨从华[1],董诗凡[1],孙仕仙[3],陈垚圯[4],尹加笔[5],余贵湘[1],陈玉芹[2*],李兴则[4*]

([1]德宏州林业科学研究所,云南德宏 678400;[2]云南省德宏热带农业科学研究所,云南德宏 678400;[3]西南林业大学生态与环境学院,昆明 650224;[4]西南林业大学林学院,昆明 650224;[5]德宏州林业和草原局,云南德宏 678400)

摘 要:【目的】探究澳洲坚果品种在不同采收期的表观性状与果实品质变化规律,为生产实践中确定各品种最佳采收期提供科学依据与技术支撑。**【方法】**以HAES344、迪思1号和Own Choice 3个澳洲坚果品种为研究对象,于8—10月分4个时间点采样,观测果实内果皮颜色,同步测定出种率、出仁率、一级果仁率、水分含量等指标,以及脂肪、可溶性糖、蛋白质等营养组分含量,并采用相关性分析、主成分分析及隶属函数法对各品种不同采收期的果实品质进行综合评价,筛选最佳采收期。**【结果】**随着采收期的延后,3个品种果实内果皮颜色均逐渐加深、光泽度提升;出仁率、一级果仁率随采收期延后呈显著上升趋势,迪思1号出仁率在采收末期达到峰值,为41.86%,Own Choice在采收后期及末期的一级果仁率稳定在99%以上;出种率在整个采收期内表现较为稳定。在营养组成上,3个品种果实脂肪含量(*w*,后同)为67.90%~77.82%,变异系数均小于6%,且脂肪含量随采收期延后持续升高,与可溶性糖和蛋白质含量均呈负相关。**【结论】**HAES344与Own Choice最佳采收期为9月中旬,迪思1号为10月上旬。

关键词:澳洲坚果;成熟期;内果皮颜色;果实品质;最佳采收期

中图分类号:S664.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)08-2137-13

Changes in fruit quality during the ripening period and prediction of the optimal harvest time for three *Macadamia* cultivars in Dehong, Yunnan

Cai Wenliang[1], Feng Yanhuang[1], Li Qingcong[2], Yang Conghua[1], Dong Shifan[1], Sun Shixian[3], Chen Yaoyi[4], Yin Jiabi[5], Yu Guixiang[1], Chen Yuqin[2*], Li Xingze[4*]

([1]Forestry Science Research Institute of Dehong Prefecture, Dehong 678400, Yunnan, China; [2]Yunnan Dehong Institute of Tropical Agriculture, Dehong 678400, Yunnan, China; [3]School of Ecology and Environment, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; [4]College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; [5]Forestry and Grassland Bureau of Dehong Prefecture, Dehong 678400, Yunnan, China)

Abstract:【Objective】As an important woody oil crop, macadamia relies heavily on harvest timing for optimal fruit quality. Currently, Yunnan, being China's largest macadamia growing region (accounting for 80% of the national planting area), lacks a scientifically based harvesting decision system, which severely limits the high-quality development of the industry. This study systematically investigated the dynamic changes in the appearance traits and fruit quality of the main macadamia (*Macadamia* spp.) varieties in Dehong Autonomous Prefecture, Yunnan province, across different harvesting periods in order to provide solution to the problem of unstable fruit quality due to improper harvesting time, thereby es-

收稿日期:2025-11-21 **接受日期:**2026-01-26

基金项目:云南省科技厅重大科技专项计划(202402AE090029);中央财政林业科技推广示范(云(2025)TG21-1号);云南省科技厅乡村振兴科技专项(202304BI090032-56);中央财政林业科技推广示范(云(2023)TG09号)

作者简介:蔡文良,男,高级工程师,研究方向为经济林栽培。E-mail:276112018@qq.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:15987146028@163.com;E-mail:xingzeli@swfu.edu.cn

tablishing scientific harvesting standards. This, in turn, will enhance the commercial value and processing quality of macadamia fruits, thereby contributing to the sustainable development of Yunnan's macadamia industry.【Methods】Three main cultivars: HAES344, Disi No.1, and Own Choice were selected as test materials for this study. The study was conducted at the Manhuan plantation in Yingjiang County, Dehong Autonomous Prefecture, characterized by a South Asian tropical monsoon climate. During the fruit maturation period (August 1 to October 6), four equally spaced sampling time points were set. Nine healthy 13-year-old trees per variety, totaling 27 sample trees, were used. Fruit cluster samples were collected from four directions in the outer canopy. Appearance indicators such as endocarp color and glossiness were recorded, combining dissection methods with image recording. Fruit morphology parameters including fresh fruit mass, fresh nut mass, and dry mass were measured using an electronic balance with 0.01 g precision. Processing quality indicators such as shelling rate, kernel recovery, and first-grade kernel rate were calculated. Additionally, protein, starch and fat contents were determined. Differences among periods were compared using one-way ANOVA (LSD); Pearson correlation analysis was applied to reveal inter-indicator relationships, and key quality indicators were extracted through principal component analysis. Finally, a multi-dimensional comprehensive evaluation system was constructed using membership function analysis to establish a quantitative prediction model for the harvesting period.【Results】Delaying harvest resulted in gradual endocarp darkening, increased glossiness, and enhanced lignification in all the three varieties. Disi No.1 performed best, displaying deep brown color with bright glossiness at final stage, indicating superior marketability. HAES344 colored slowly, showing uneven deep brown at maturity, while Own Choice maintained lighter pigmentation, reaching only light brown. For processing quality, kernel recovery and grade-one kernel rate significantly increased with delayed harvesting. The kernel recovery of HAES344 increased from 28.35% to 33.67%; that of Disi No.1 from 32.19% to 41.86%, and that of Own Choice from 33.36% to 36.04%. The kernel recovery rate of Disi No.1 peaked at 41.86% during the late harvest period. Own Choice maintained a stable grade-one kernel rate of over 99% in later harvesting stages. Shell-out rate remained stable (variation ⩽3%). Nutritionally, fat content was generally high but varied among varieties. The fat content of the three cultivars ranged from 67.90% to 77.82%, with coefficients of variation all below 6%. HAES344 and Own Choice showed an initial increase followed by stabilization, while Disi No.1 first rose, then slowly declined, and finally stabilized. Soluble sugar and protein peaked early then decreased and stabilized. Disi No.1 had the highest soluble sugar content that reached 150 $g \cdot kg^{-1}$ soluble sugar, and HAES344 had the highest protein content of 82 $g \cdot kg^{-1}$. Moisture content consistently decreased to 18%-20%. Correlation analysis showed fat content positively correlated with kernel recovery and grade-one kernel rates, but negatively correlated with protein, moisture content, and shell-out rate. Principal component analysis indicated the first component (52.0% contribution) reflected fat content and processing quality (HAES344 highest). The second component (26.5% contribution) linked to soluble sugar and shell-out rate (Disi No.1 most prominent). Own Choice showed balanced performance.【Conclusion】Based on membership function analysis, optimal harvesting periods differed significantly: HAES344 and Own Choice are best harvested in mid-September, while Disi No.1 should be harvested in early October. This finding fills a research gap for macadamia harvesting in Yunnan and provides a scientific basis for precise harvest scheduling. Future studies should incorporate meteorological factors to develop dynamic prediction models for optimizing harvest timing.

Key words: *Macadamia* spp.; Maturity period; Endocarp color; Fruit quality; Optimal harvesting period

澳洲坚果（*Macadamia* spp.）为山龙眼科（Proteaceae）澳洲坚果属（*Macadamia* F. Muell.）常绿乔木果树，又称夏威夷果，原产地主要分布于澳大利亚东部[1-2]。澳洲坚果素有“干果皇后”的美誉，具有极高的经济价值，是我国重要的木本油料植物之一，其果仁含油量高达80%，可用于制作高级色拉油和各类食品[3-4]。此外，澳洲坚果还具有较高的药用价值，不饱和脂肪酸含量较高[5]，不仅能预防动脉粥样硬化、心血管疾病、糖尿病、肿瘤、风湿性关节炎等疾病的发生，还能提高皮肤的抗衰老能力[6]。我国于20世纪初期引种澳洲坚果，目前种植面积已达33.64万hm^2，约占全球总种植面积的60%[7]，已成为全球澳洲坚果产业发展最快、种植面积最大的国家[8]。其中，云南省澳洲坚果种植面积达27.57万hm^2，占世界近50%、全国80%，是我国最大的澳洲坚果产区[9]。

近年来，国内外学者对澳洲坚果开展了广泛研究，内容主要集中于鲜果品质[10-11]、内含物成分[12-13]、种质资源评价[5,14]、栽培技术[15-16]及加工工艺[17-18]等方面。其中，果实品质与采收期调控是研究热点之一。采收期是影响澳洲坚果产量、品质及加工效率的关键因素，直接决定果实成熟度、油脂积累、出仁率及一级果仁率，过早或过晚采收可能导致果实发育不足或霉变风险增加。已有国内学者对澳洲坚果最佳采摘时期进行了相关研究，结果表明，不同地区的最佳采摘时期存在明显地域差异。例如，在广西，贺鹏等[19-20]以桂热1号和HAES695为试验材料，通过测定果实开口效果指标，确定其最佳采收期分别为8月20日和8月30日；在广东，万继锋等[21]基于内果皮颜色和营养成分变化，提出南亚2号、922最适采收期为8月下旬，南亚3号为9月上旬；在云南，马静等[22]对西双版纳地区Own Choice品种的研究表明，该品种在花后175 d左右达到最佳采收期。这些研究为不同产区的采收管理提供了重要参考。但在云南德宏，由于缺乏对澳洲坚果采收期的系统研究，当地农户多依据经验进行采收，导致果实成熟度不一致、加工品质不稳定，出现脱壳困难、果仁干瘪、油脂酸败等问题，严重制约了当地澳洲坚果产业效益的提升。

基于此，笔者以德宏地区主栽的澳洲坚果品种HAES344、迪思1号和Own Choice为试验材料，通过系统观测内果皮颜色变化，同步测定脂肪含量、可溶性糖含量、蛋白质含量、水分含量、出种率、出仁率、一级果仁率等关键指标，系统分析并评价不同采收期果实的外观形态与营养品质，明确各品种的最适采收期，以期为德宏乃至云南澳洲坚果的标准化采收、优质原料生产及精深加工提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　材料

试验地位于云南省德宏州盈江县芒环澳洲坚果种植基地，种植区总面积50.67 hm^2，平均海拔1050 m，属南亚热带季风气候，光照充足，降水丰沛。试验共设置4个采收期，每个采收期为1个处理，分别为2024年8月1日、8月23日、9月14日、10月6日（每隔3周），依次标记为采收初期（Ⅰ）、采收中期（Ⅱ）、采收后期（Ⅲ）和采收末期（Ⅳ）。选择立地条件相近、树龄相同[13 a（年）]、长势一致的澳洲坚果树作为试验树，参试品种为HAES344、迪思1号和Own Choice，每个参试品种选取9株，共计27株样树，并进行统一标记。

1.2　方法

1.2.1　*表观形态记录*　从每株样树树冠外围东、南、西、北4个方向，每隔3周各选取同一时期、发育正常果穗中的5个果实作为样品，每个处理共计60个果实进行表观形态观测。用小刀沿着带皮果腹缝线剖开果皮，观测内果皮颜色，并拍摄记录每一批次采收的果实内果皮颜色，用于后续对比分析。

1.2.2　*果实形态测定*　鲜果质量、壳果质量于采收后立即测定。将新鲜壳果置于60 ℃烘箱中烘干，当果仁水分含量降至（1.5±0.5）%时取出，测定其干质量[23]。使用破壳机对干燥壳果进行纵向破壳，取出完整果仁并称质量。所有质量指标均采用精度为0.01 g的电子天平测定。出种率、出仁率及一级果仁率采用谭秋锦等[24]、陆超忠等[25]的方法测定，具体计算公式如下：出种率/%=壳果质量/鲜果质量×100；出仁率/%=果仁干质量/壳果干质量×100；一级果仁率/%=一级果仁干质量/样品总果仁干质量×100。

1.2.3　*果仁营养成分含量测定*　参考GB 5009.6—2016中的第一法（索氏抽提法），称取2.00 g样品置于脂肪测定仪中，用石油醚抽取6 h，测定果仁中脂肪含量；参考GB 5009.5—2016中的第一法（凯氏定氮法），称取0.05 g样品置于消解管中，消解3 h，将消解液置于全自动凯氏定氮仪，测定果仁蛋白质含

量；参考NY/T 2742—2015中的滴定法，称取2.00 g样品于锥形瓶中，加少量蒸馏水，在80 ℃水浴中提取10 min，用水洗涤并转移至容量瓶，定容至250 mL，过滤后取5 mL滤液于比色管中，加入6 mol·L^{-1} HCL溶液1 mL，80 ℃水浴加热10 min，取出冷却后，加入3滴甲基红指示剂，用6 mol·L^{-1}氢氧化钠中和，定容至100 mL并混匀，取2.00 mL样液于10 mL比色管中，加入4.00 mL 3, 5-二硝基水杨酸试剂，置沸水浴中加热5 min，冷却至室温后定容，摇匀，利用分光光度计在540 nm波长下测定果仁可溶性糖含量。

1.3 数据分析

1.3.1 *数据统计* 所有试验数据均为3次重复测定的平均值，以“平均值±标准差”表示。采用Microsoft Excel进行数据整理与描述性统计，使用SPSS软件进行方差分析，使用Origin 2021软件绘图。

1.3.2 *综合评价* 采用隶属函数分析[26]、主成分分析[27]和Pearson相关性分析相结合的方法，对不同采收期果实品质进行综合评价。选取可溶性糖含量、脂肪含量、蛋白质含量、水分含量、出种率、出仁率、一级果仁率作为评价指标，结合果实成熟规律，可溶性糖在成熟期大量消耗并转化为脂肪，且成熟度越高，水分含量越低，因此计算时将可溶性糖含量、水分含量作为反向指标，其余指标作为正向指标。正向指标采用公式$R(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$进行计算分析，负向指标采用公式$R(X_i)=1-(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$进行计算分析，式中，$R(X_i)$指隶属函数值，$X_i$指某个测定指标，$X_{max}$、$X_{min}$分别为该指标的最大值与最小值。结合生产实际，根据各指标对澳洲坚果品质的贡献程度进行权重分配：脂肪含量(R_1)作为决定油脂含量和风味的核心指标，权重最高，设为0.30；一级果仁率(R_2)和出仁率(R_3)直接影响商品价值和加工效率，权重均设为0.20；出种率(R_4)反映果实发育完整性，权重设为0.10；蛋白质含量(R_5)作为重要营养成分含量，权重设为0.10；可溶性糖含量(R_6)与水分含量(R_7)作为负向指标，权重均设为0.05。运用加权平均法[28]计算果实品质综合隶属函数值，计算公式为$R=0.30R_1+0.20R_2+0.20R_3+0.10R_4+0.10R_5+0.05R_6+0.05R_7$。依据最大原则，将各处理的$R$值从大到小进行排序，$R$值越大，表明果实综合品质越好。

2 结果与分析

2.1 不同采收期内果皮颜色的变化趋势

3个澳洲坚果品种在4个不同采收时期的果皮形态呈现出明显差异(图1)。随着采收期的延迟，3个品种的内果皮均表现出颜色加深、表面光泽度提高的趋势，表明其木质化程度与成熟度逐步提高。此外，品种间在内果皮的基色、颜色转变速率及最终形态上存在明显差异：在采收初期(Ⅰ)，Own Choice内果皮已呈现浅褐色，明显深于迪思1号的乳白色和HAES344的浅黄色；进入采收中期(Ⅱ)，迪思1号、HAES344内果皮分别从乳白色、浅黄色快速向浅棕褐色过渡，深浅差异开始显现，而Own Choice在原有浅褐色基础上轻微加深，着色过程较为缓慢；

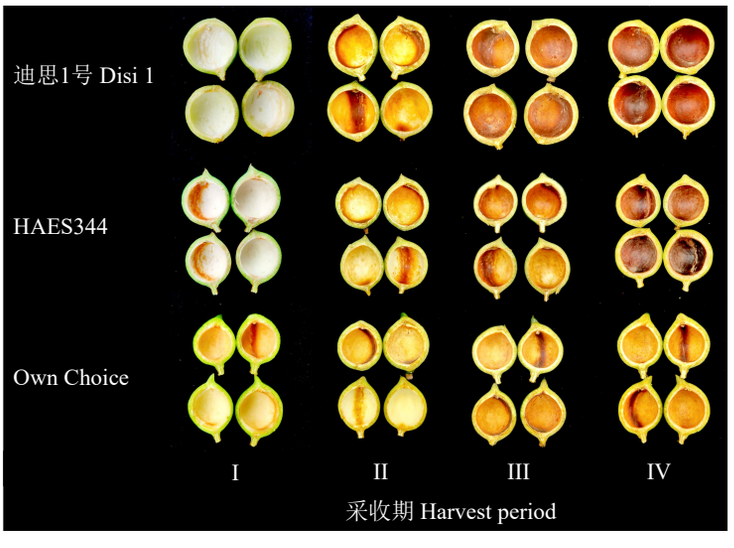


图1 不同采收期澳洲坚果内果皮的变化情况

Fig. 1 Change in the endocarp of *M. integrifolia* at different harvest periods

至采收后期（Ⅲ），HAES344和迪思1号内果皮颜色从浅色调快速向深色转变，而Own Choice的着色过程则相对平缓；采收末期（Ⅳ期），迪思1号内果皮呈现均匀的深褐色且表面光泽度高，符合商品果的优质外观标准，HAES344内果皮为不均匀的深棕褐色，Own Choice内果皮仍为浅棕色，光泽度也相对较低。这些形态学差异清晰地揭示了3个品种内果皮成熟轨迹与速率的差异。以上结果表明，不同品种在内果皮的基色、颜色转变速率及最终形态上存在明显差异。

2.2　不同采收期的果实加工品质差异

不同采收期对3个品种澳洲坚果加工品质的影响存在显著差异（表1）。总体来看，出仁率与一级果仁率均随采收期推进呈显著上升趋势，而出种率则相对稳定或略有下降。采收期对出种率的影响因品种而异：HAES344和Own Choice的出种率表现为先升高后降低的趋势，均在采收中期达到最高，分别为49.15%和50.51%；迪思1号的出种率在各采收期间保持稳定，无显著变化。HAES344和迪思1号的出仁率均随采收期推迟呈显著上升趋势，分别在采收后期和末期达到峰值，分别为33.67%和41.86%；Own Choice的出仁率则在采收后期达到最高值，为36.04%。不同采收期对3个品种的一级果仁率均有显著影响，均随采收期推迟而显著提高，并在采收后期或末期达到最大；其中，Own Choice在采收后期和末期的一级果仁率均稳定在99%以上，商品性极佳。

表1　不同采收期对3个澳洲坚果品种加工品质指标的影响

Table 1　Effects of different harvest periods on processing quality indicators of three *M. integrifolia* cultivars

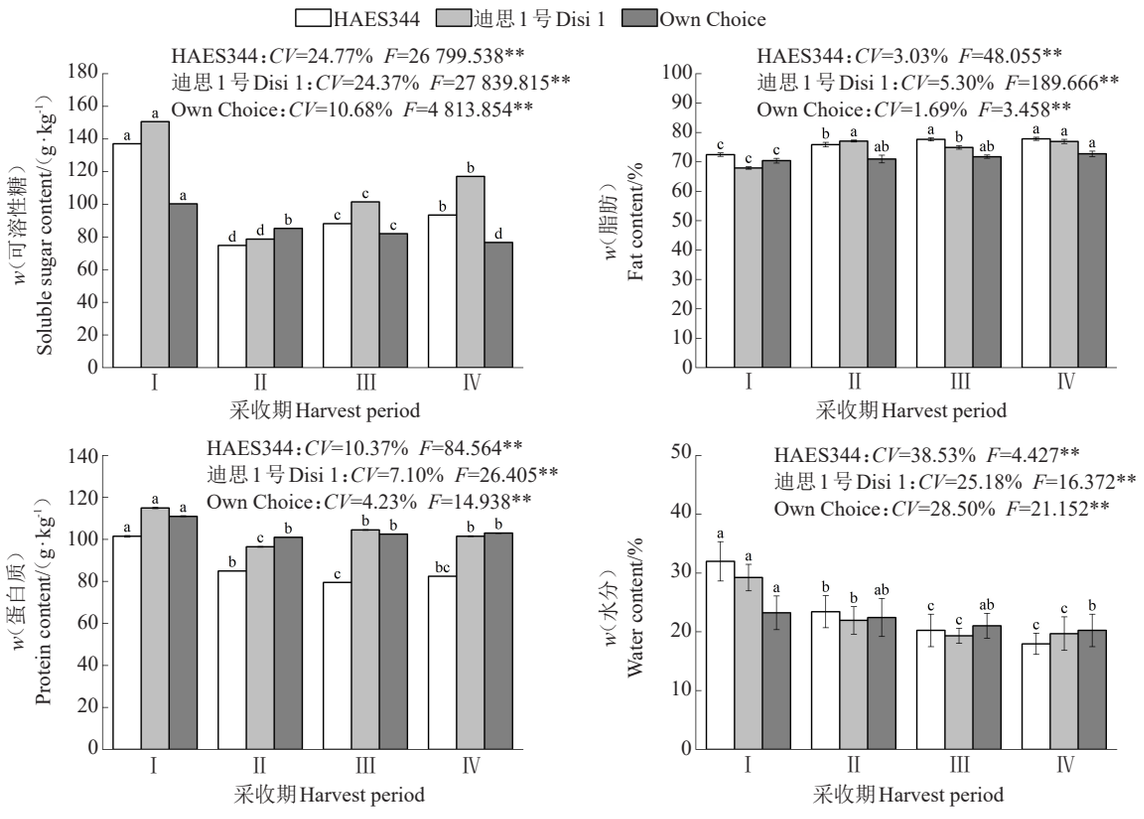
品种 Cultivar	采收期 Harvest period	出种率 Seed yield rate/%	出仁率 Kernel yield rate/%	一级果仁率 Premium-grade kernel rate/%
HAES344	Ⅰ	49.14±5.87 a	28.35±3.36 c	86.75±5.47 b
	Ⅱ	49.15±5.27 a	31.71±4.55 b	95.47±3.01 a
	Ⅲ	47.96±3.79 ab	33.67±3.39 a	94.56±3.93 a
	Ⅳ	47.04±3.83 b	32.21±3.44 b	97.71±2.69 a
	变异系数*CV*/%	9.99	13.27	5.83
	*F*值 *F* value	2.728*	21.917**	4.427**
迪思1号 Disi 1	Ⅰ	53.63±8.65 a	32.19±3.92 c	62.66±10.14 b
	Ⅱ	52.85±2.87 a	38.25±6.15 b	87.13±6.72 a
	Ⅲ	52.67±1.92 a	39.43±3.58 ab	94.55±0.74 a
	Ⅳ	53.35±9.98 a	41.86±12.17 a	95.10±4.66 a
	变异系数*CV*/%	12.78	21.34	17.52
	*F*值 *F* value	0.251	18.947**	16.372**
Own Choice	Ⅰ	48.87±2.85 ab	33.36±3.00 b	92.69±1.88 b
	Ⅱ	50.51±6.82 a	33.93±5.79 ab	99.07±1.61 a
	Ⅲ	48.95±4.47 ab	36.04±9.21 a	99.52±0.83 a
	Ⅳ	47.96±3.79 b	33.67±3.39 b	99.36±0.62 a
	变异系数*CV*/%	9.73	17.37	3.29
	*F*值 *F* value	3.025*	2.565	21.152**

注：不同小写字母表示同一品种的不同处理间差异显著（$P<0.05$）。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same cultivar ($P<0.05$).

2.3　不同采收期对澳洲坚果营养品质的影响

3个澳洲坚果品种的可溶性糖、脂肪、蛋白质含量及水分含量随采收期的变化存在显著差异（图2）。HAES344、迪思1号和Own Choice的可溶性糖含量均在采收前期达到峰值，分别为137、150和100 mg·kg^{-1}，随后呈显著下降趋势；Own Choice的可溶性糖含量的变异系数为10.68%，远低于HAES344的24.77%和迪思1号的24.37%，稳定性更强。在整个采收过程中，3个品种的脂肪含量变化幅度较小，整体维持较高水平，且最高值均出现在采收末期，变异系数均小于6%；蛋白质含量在采收初期最高，从初期到中期开始下降，随后趋于稳定，其中Own Choice的蛋白质含量变异系数最低，为4.23%，稳定性最强；3个品种的水分含量均在采收



不同小写字母代表同一品种不同采收期在 $P<0.05$ 水平上差异显著；F 值后标注**表示在 $P<0.01$ 水平上差异极显著。

Different small letters indicate significant difference among different harvest periods of the same cultivar at $P<0.05$; ** following the F-value indicates an extremely significant difference at $P<0.01$.

图 2 不同采收期澳洲坚果果实营养成分分析

Fig. 2 Analysis of nutritional components in *M. integrifolia* fruits at different harvest periods

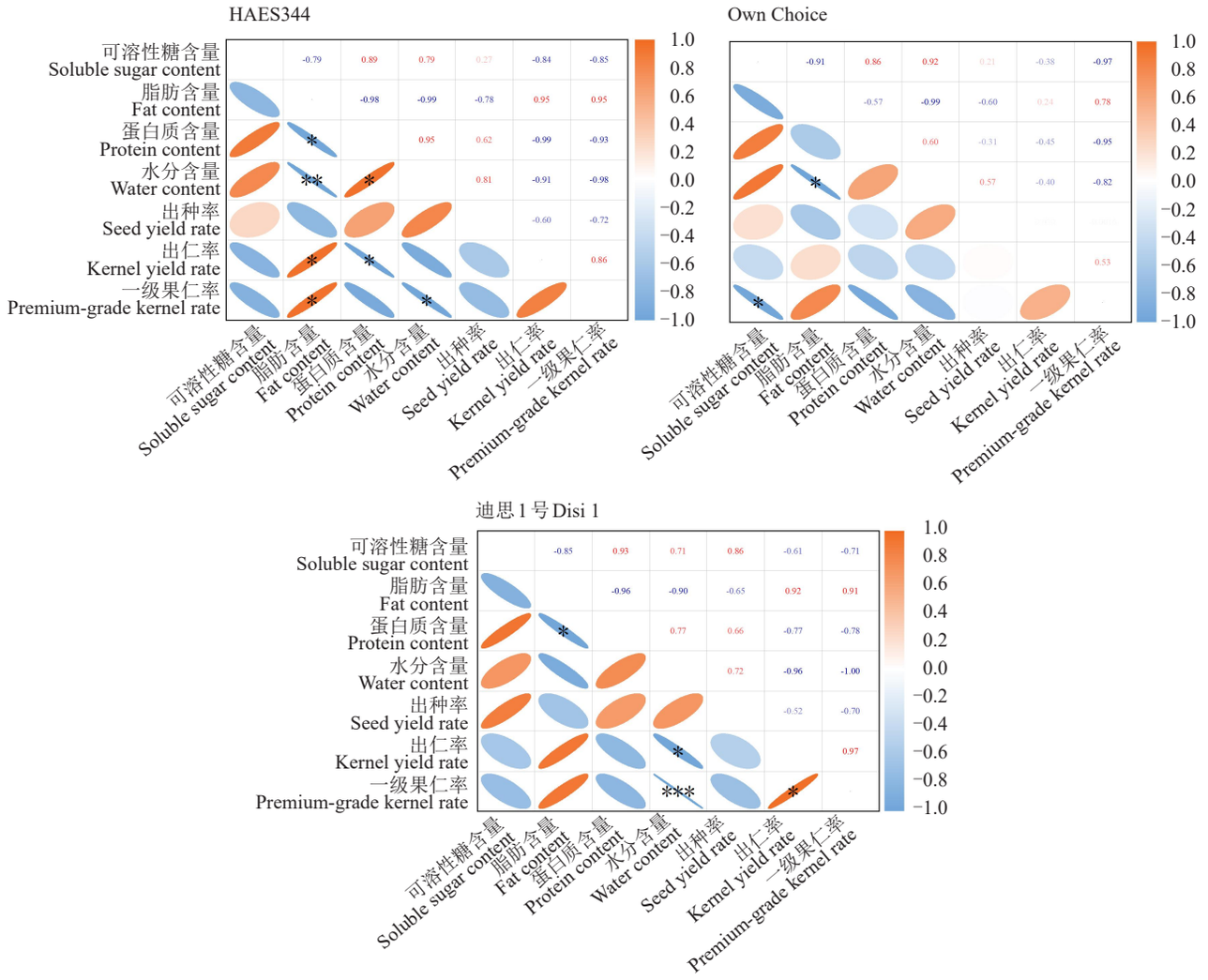
前期最高，随采收期推进呈逐渐下降趋势，其中HAES344水分含量的变异系数为38.53%，明显高于迪思1号的25.18%和Own Choice的28.50%，说明HAES344的水分含量受采收期影响最为显著。

2.4 相关性分析

相关性分析结果（图3）显示，3个品种果实中脂肪含量与蛋白质含量、水分含量、出种率均呈不同程度的负相关，与出仁率和一级果仁率则呈正相关。其中，HAES344品种果实指标间呈现多维度分化的相关性特征，蛋白质含量与果实水分含量呈显著正相关（0.95），与出仁率呈显著负相关（−0.78）；迪思1号品种果实可溶性糖含量与蛋白质含量（0.93）、水分含量（0.71）及出种率（0.86）均呈正相关；水分含量与出仁率（−0.78）、一级果仁率（−1.00）分别呈显著和极显著负相关。这一结果表明，迪思1号品种果实的水分留持与果实品质间存在极端的资源权衡策略，当果实水分含量较高时，水分更多被分配到果皮及果仁外围组织，导致果仁充实度下降，从而显著降低一级果仁率；反之，随着果实成熟过程中的自然脱水，外围组织的水分占比下降，果仁得以积累更多干物质，品质随之明显提升。Own Choice品种果实指标间的关联强度整体较弱，多数指标相关系数的绝对值低于0.6。不同品种间果实营养分配的差异，为解析品种品质形成机制、开展采收期调控提供了理论依据，有助于针对性地进行品种改良与采收管理优化。

2.5 主成分分析

主成分分析结果（图4）显示，第一主成分（PC1）和第二主成分（PC2）的方差解释率分别为52.0%和26.5%，累计解释率为78.5%，能够较好地反映所有评价指标的信息。图中箭头表示各指标的载荷向量，其方向和长度分别反映指标与主成分的相关性强度及正负性。其中，水分含量（Wc）、可溶性糖含量（SS）、出种率（Syr）与PC1呈强正相关，是PC1的主要驱动因子；出仁率（Kyr）与PC2呈强正相关，脂肪含量（F）、一级果仁率（Pgk）与PC1呈负相关。



红色椭圆代表正相关，蓝色代表负相关，颜色越深表示相关性越强；椭圆的长轴方向反映相关系数的正负方向，椭圆的扁宽程度代表相关性的强弱，椭圆越扁说明相关性越强，越接近正圆则相关性越弱。*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上显著相关。

Red ellipses represent positive correlations and blue ellipses represent negative correlations; darker colors indicate stronger correlations. The direction of the major axis of the ellipse reflects the positive or negative direction of the correlation coefficient, and the flatness/width of the ellipse represents the strength of the correlation—the flatter the ellipse, the stronger the correlation, and the closer it is to a perfect circle, the weaker the correlation. * and ** indicate that the correlation coefficients are significant at the $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

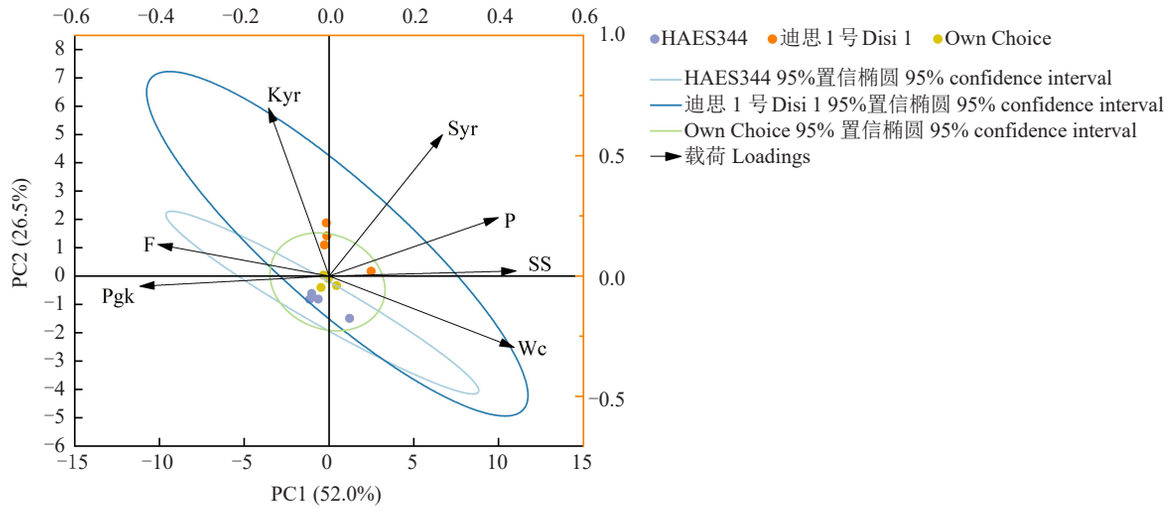
图 3　不同采收期澳洲坚果果实品质的相关性分析

Fig. 3　Correlation analysis of *M. integrifolia* fruit quality at different harvest periods

HAES344 部分样本偏向 PC1 负方向，受脂肪含量（F）、一级果仁率（Pgk）等负相关指标驱动，提示该品种在脂肪积累、一级果仁率方面有别于其他 2 个品种；迪思 1 号的散点在 PC1 正方向有特定分布，结合载荷指标（水分含量、可溶性糖含量、出种率等指标与 PC1 正相关），说明该品种在出种率、可溶性糖含量、水分含量等指标上可能具有相对优势，其品质特征在 PC1 维度上表现突出；Own Choice 的散点则集中于中心区域，说明其在 PC1 和 PC2 维度上的综合品质更趋于均衡，各指标的协同性较强，无单一指标的极端偏向。

2.6　隶属函数分析

基于隶属函数法对 3 个澳洲坚果品种在 4 个采收期的果实品质进行综合评价，结果（表 2）表明，不同品种实现最佳综合品质的适宜采收期存在较大差异。其中，HAES344 在采收后期综合得分最高，为 0.762，排名第一，该阶段果实的脂肪含量与出仁率均表现优异；迪思 1 号在采收末期的综合得分为 0.863，明显高于其他时期，且在该时期出仁率与一级果仁率均达到最高，脂肪含量也维持在较高水平，



F. 脂肪含量；Kyr. 出仁率；Syr. 出种率；P. 蛋白质含量；SS. 可溶性糖含量；Wc. 水分含量；Pgk. 一级果仁率。

F. Fat content; Kyr. Kernel yield rate; Syr Seed yield rate; P. Protein content; SS. Soluble sugar content; Wc. Water content; Pgk. Premium-grade kernel rate.

图 4 不同采收期澳洲坚果果实品质的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis of *M. integrifolia* fruit quality at different harvest periods

表 2 基于隶属函数法的不同采收期澳洲坚果果实品质综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of fruit quality of *M. integrifolia* at different harvest periods based on subordinate function method

品种 Cultivar	采收期 Harvest period	可溶性糖含量 Soluble sugar content	脂肪含量 Fat content	蛋白质含量 Protein content	水分含量 Water content	出种率 Seed yield rate	出仁率 Kernel yield rate	一级果仁率 Premium-grade kernel rate	得分 Score	排名 Rank
HAES344	Ⅰ	0.000	0.000	0.100	0.000	0.099	0.000	0.000	0.199	4
	Ⅱ	0.050	0.191	0.025	0.031	0.100	0.126	0.145	0.668	3
	Ⅲ	0.039	0.292	0.000	0.042	0.044	0.200	0.145	0.762	1
	Ⅳ	0.035	0.300	0.014	0.050	0.000	0.145	0.200	0.744	2
迪思1号 Disi 1	Ⅰ	0.000	0.000	0.100	0.000	0.100	0.000	0.000	0.200	4
	Ⅱ	0.050	0.300	0.000	0.037	0.019	0.125	0.150	0.681	3
	Ⅲ	0.034	0.229	0.043	0.050	0.000	0.150	0.200	0.706	2
	Ⅳ	0.023	0.295	0.027	0.048	0.070	0.200	0.200	0.863	1
Own Choice	Ⅰ	0.00	0.000	0.100	0.000	0.036	0.000	0.000	0.136	4
	Ⅱ	0.032	0.076	0.000	0.013	0.100	0.043	0.171	0.435	3
	Ⅲ	0.039	0.174	0.015	0.037	0.039	0.200	0.200	0.704	1
	Ⅳ	0.050	0.300	0.020	0.050	0.000	0.023	0.200	0.643	2

说明该品种属于晚熟类型，将采收期延至10月上旬有利于实现综合品质的最佳表现；Own Choice的最佳采收期出现在采收后期，其综合得分为0.704，此时脂肪含量与一级果仁率均达最高水平，表明该时期为其果实品质形成的高峰阶段。

3 讨 论

3.1 不同采收期澳洲坚果品质的动态变化

采收期是决定澳洲坚果品质的关键因素，澳洲坚果品质的好坏主要由表观性状和营养组成共同决定[22,29]。本研究中，3个澳洲坚果品种内果皮随采收期推迟均呈现颜色加深、光泽度提升的趋势，这一变化反映果实木质化程度与成熟度的同步提高，与坚果类果实成熟过程中结构物质的积累规律一致[30]。具体来看，迪思1号内果皮从采收初期的乳白色，经中期的浅褐色，至末期发展为深褐色且光泽亮丽，着色速率在后期明显加快；HAES344内果皮初期为淡黄色，末期呈不均匀的深棕褐色；而Own Choice内

果皮初期即表现为浅褐色，后期着色迟缓，末期仍为浅棕色。这一品种间差异与万继锋等[21]在广东对南亚2号、南亚3号及922的研究结果有所区别，云南德宏产区的Own Choice在采收初期内果皮颜色（浅褐色）明显深于广东同期的南亚2号（白色至浅褐色）和南亚3号（淡黄色）。推测这一差异可能与云南德宏产区海拔1050 m的强光照、大昼夜温差环境有关，高强度光照可能加速果皮木质素合成与色素沉积[31]，而低海拔的广东湛江地区则因湿度较高，延缓了内果皮的着色进程。

在加工品质指标中，澳洲坚果的一级果仁率随采收期推迟升至99%以上（Own Choice后期及末期），出仁率达41.86%（迪思1号末期），这与油茶（*Camellia oleifera*）[32]干籽出仁率随成熟度上升（赣石83-4第三成熟度60.11%）、核桃（*Juglans regia*）[33]出仁率先升后稳（峰值62.08%）的规律一致，这说明采收期推迟可提升木本油料作物的加工商品性，这是木本油料作物的共性特征。但澳洲坚果的一级果仁率峰值（99.52%）明显高于油茶（83.64%）和核桃（62.08%），这与云南产区高海拔（1050 m）、强光照的环境有关，高强度光照可加速果皮木质化和果仁饱满度的提升。此外，HAES344、Own Choice的出仁率峰值分别为33.67%（后期）、36.04%（后期），均高于贵州[34]、云南西双版纳产区[22,35]的相关研究结果，进一步印证了地域环境对澳洲坚果加工品质的显著影响。

在营养组分方面，随着采收期的推迟，澳洲坚果中可溶性糖和蛋白质含量呈降低趋势，脂肪含量则逐渐升高。HAES344、迪思1号和Own Choice的可溶性糖含量在初期达到峰值，随后显著下降。这一变化规律与不同采收期油茶[32]、巴旦木（*Prunus dulcis*）[36]、核桃[33,37-39]、山桐子（*Mallotus nepalensis*）[40-41]等木本油料作物的品质形成规律相吻合。这表明可溶性糖含量在果实成熟初期较高，可为种仁幼胚发育提供充足活力，随后逐渐降低并向脂肪、蛋白质等贮藏物质转化[42-43]。在蛋白质含量方面，3个品种均表现为初期最高，后期缓慢下降趋于稳定，这与桂热1号蛋白质含量随采收期推迟逐渐降低[17]的规律一致，说明蛋白质作为果实发育的结构物质，其合成主要集中在果实发育早期。水分含量的持续下降是果实成熟过程中水分向生理代谢分配减少、向干物质（如脂肪等）积累倾斜的体现，较低的水分含量可有效降低油脂酸败风险[44]。在本研究中，3个澳洲坚果品种的果实脂肪含量整体维持在较高水平，并随采收期推后趋于逐渐升高或缓慢下降的变化趋势，最终在采收末期达到峰值，与万继锋等[21]在广东澳洲坚果的研究结果一致。与油茶[45]相比，澳洲坚果与赣石83-4、赣石447油茶果实的水分含量与脂肪含量均呈不同程度负相关，但油茶种仁脂肪含量呈先升后降，而澳洲坚果脂肪含量则持续积累至末期，推测这与澳洲坚果更长的油脂合成周期有关。

3.2　不同品种澳洲坚果最佳采收期确定

主成分分析结果表明，不同品种澳洲坚果的果实性状间存在明显分化，这种性状分化为澳洲坚果树种选优提供了明确方向。从优势性状来看，HAES344在脂肪含量与一级果仁率上表现突出，若目标是开发高油脂、高等级果仁的加工产品，HAES344可作为理想亲本；迪思1号在可溶性糖含量、出种率及后期出仁率上优势显著，适合追求高出仁率的市场需求；若需培育适应性广、品质稳定的品种，Own Choice的综合品质均衡性较优，更具有选育潜力。

衡量澳洲坚果的产量通常以鲜果质量、壳果质量、果仁质量为主要标准，而出仁率是衡量澳洲坚果种质优劣的重要指标之一。同时，可溶性糖、蛋白质、脂肪和氨基酸含量是影响澳洲坚果品质的重要质量指标[24,46]，而水分含量是影响澳洲坚果油脂酸败的重要因素，水分含量越高，油脂自然氧化速度越快[47]。为此，笔者采用隶属函数法，对可溶性糖含量、蛋白质含量、脂肪含量、水分含量、出种率、出仁率、一级果仁率等多项指标进行综合权重量化评价。相较于万继锋等[21]采用主成分分析法确定广东澳洲坚果南亚3号等最佳采收期的研究，笔者构建的综合评价体系能够更精准地捕捉不同品种间的细微差异，提高评价结果的稳定性和可靠性。该方法在木本油料作物采收期判定中已得到广泛应用。鹿宏丽等[33]基于单果质量、脂肪含量和出仁率等9项指标，综合确定新疆核桃温185的最佳采收期为8月23日；赵梦幻等[40]通过分析含油率与不饱和脂肪酸含量等指标，明确山桐子的适宜采收期为10月。

在本研究中，隶属函数综合评价结果显示，3个澳洲坚果品种的最佳采收期存在明显差异：HAES344与Own Choice的最佳采收期均为9月中旬，而迪思1号为10月上旬。与国内其他产区相比，

云南德宏产区澳洲坚果最佳采收期（9月中旬至10月上旬）较广西[19-20]（HAES695为8月下旬；桂热1号为8月中旬）和广东[21]（南亚2号为8月下旬）普遍推迟约1个月，推测其主要原因是试验地处于高海拔地区，昼夜温差较大，延缓了果实成熟进程。与云南其他产区相比，德宏产区的最佳采收期也表现出明显特殊性，例如，在云南西双版纳的桂热1号在8月中下旬果实完全发育成熟[35]，云南临沧的正成1号在9月初成熟[48]，而德宏的采收期普遍推迟10~20 d。西双版纳、临沧因海拔较低、热量资源更充足，果实成熟进程较快，脂肪积累高峰期出现更早；而德宏较高的海拔导致热量条件相对温和，昼夜温差增大，使油脂合成关键酶活性维持在较高水平的时间更长，从而延长了干物质积累周期。

值得注意的是，尽管澳洲坚果具有一年多次开花的现象，且果实发育易受气候条件影响的特性，但笔者通过在关键物候阶段设置相对统一的采样周期，并结合不同采收期内果皮颜色变化以及脂肪、蛋白质、可溶性糖含量等主要生理指标的同步测定，揭示了不同澳洲坚果品种最佳采收期的关键特征与判断依据，为后续开展类似研究提供了可借鉴的技术路径。在实际生产中，采收期的确定不仅关系到果实品质，也直接影响后续贮藏和加工效果。适时采收可有效降低果实采后失水、霉变及油脂酸败风险，延长贮藏期；同时，适宜成熟度的果实更有利于加工企业进行分级、破壳和烘干，提高一级果仁率和加工效率。因此，建议在生产中结合当年的气候条件和实地监测数据，灵活调整采收时间，以实现品质与产量的协同提升。

4 结 论

笔者通过对HAES344、迪思1号和Own Choice 3个澳洲坚果品种在不同采收期内果皮颜色、出仁率、脂肪含量等核心指标进行系统分析，明确了采收期对果实成熟度和品质形成的关键影响。结果表明，随着采收期推迟，3个品种均呈现内果皮颜色加深、木质化增强、出仁率提高、脂肪含量上升及水分含量下降的一致趋势。综合评价显示，HAES344和Own Choice在9月中旬达到最佳品质，此时内果皮色泽稳定、出仁率较高、脂肪积累充分；迪思1号则在10月上旬表现最优。本研究结果可为云南德宏地区澳洲坚果的标准化采收提供直观、可操作的判断依据，有助于提升果实商品性和加工效率。

参考文献 References：

[1] 张树宇，武波晓，聂艳丽，王洋，阚欢，刘云 . 云南产澳洲坚果油风味特征及不皂化物成分分析研究[J/OL]. 中国油脂，2025：1-14. (2025-07-11)[2025-11-11]. https://doi. org/10.19902/j. cnki. zgyz. 1003-7969.250291.
Zhang Shuyu，Wu Boxiao，Nie Yanli，Wang Yang，Kan Huan，Liu Yun. Analysis of flavor characteristics and unsaponifiable matter components in Yunnan-Produced *Macadamia integrifolia* oil[J/OL]. China Oils and Fats，2025：1-14. (2025-07-11)[2025-11-11]. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250291.

[2] Nagao M A，Hirae H H，Stephenson R A. *Macadamia*：Cultivation and physiology[J]. Critical Reviews in Plant Sciences，1992，10(5)：441-470.

[3] 张涛，宋海云，涂行浩，贺鹏，陈茜，韦哲君，郑树芳，王文林 . 澳洲坚果油脂性状在广西不同产地间的稳定性及差异性分析[J]. 中国粮油学报，2025，40(5)：135-143.
Zhang Tao，Song Haiyun，Tu Xinghao，He Peng，Chen Xi，Wei Zhejun，Zheng Shufang，Wang Wenlin. Stability and difference analysis of *Macadamia* nut oil characteristics among different production areas in Guangxi[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2025，40(5)：135-143.

[4] 段敏仙，张碧蓉，杨帆，李雪佳，史文斌，闫素云，唐少平，赵俊，周先艳 . 云南 7 个澳洲坚果主栽品种果仁脂肪酸组分和含量分析[J]. 果树学报，2025，42(4)：828-839.
Duan Minxian，Zhang Birong，Yang Fan，Li Xuejia，Shi Wenbin，Yan Suyun，Tang Shaoping，Zhao Jun，Zhou Xianyan. Analysis of fatty acid compositions and concentrations in the kernel of seven main macadamia cultivars in Yunnan[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(4)：828-839.

[5] 周涛，王大玮，聂艳丽，王正成 . 云南澳洲坚果种质资源表型多样性分析[J]. 南方农业学报，2025，56(3)：742-750.
Zhou Tao，Wang Dawei，Nie Yanli，Wang Zhengcheng. Phenotypic diversity analysis of macadamia germplasm resources in Yunnan[J]. Journal of Southern Agriculture，2025，56(3)：742-750.

[6] 彭静娜，杞廷美，张月江，付晓萍，林奇，包媛媛 . 澳洲坚果油添加对核桃油氧化稳定性的影响[J]. 中国粮油学报，2025，40(4)：117-125.
Peng Jingna，Qi Tingmei，Zhang Yuejiang，Fu Xiaoping，Lin Qi，Bao Yuanyuan. Effect of macadamia oil addition on the oxidative stability of walnut oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2025，40(4)：117-125.

[7] 潘尹茜雪，王雪昭，李晓娜，张淋，王雷光 . 气候变化对澳洲坚果在中国潜在生态适宜种植区的影响[J/OL]. 广西植物，2025：1-18(2025-09-24)[2025-10-30]. https://link.cnki.net/urlid/45.1134.Q.20250923.1805.004.
Pan Yinxixue，Wang Xuezhao，Li Xiaona，Zhang Lin，Wang Leiguang. The impacts of climate change on the potential ecological-

ly suitable plantation area of *Macadamia* spp. in China[J/OL]. Guihaia，2025：1-18(2025-09-24)[2025-10-30]. https://link.cnki.net/urlid/45.1134.Q.20250923.1805.004.

[8] 陆斌，李晓琳，顾丽姝，侯贤锋，李雨频，郑毅 . 气候变化对云南省澳洲坚果适生区的影响[J]. 生态与农村环境学报，2025，41(7)：866-873.
Lu Bin，Li Xiaolin，Gu Lishu，Hou Xianfeng，Li Yupin，Zheng Yi. The impact of climate change on the suitable growth zone of *Macadamia integrifolia* in Yunnan province[J]. Journal of Ecology and Rural Environment，2025，41(7)：866-873.

[9] 宁娅，陈宇春，吴忠华，何双凌，贺熙勇，杨廷梅，岳海 . 云南不同地区澳洲坚果根际土壤真菌群落结构及多样性分析[J]. 西南农业学报，2025，38(7)：1479-1488.
Ning Ya，Chen Yuchun，Wu Zhonghua，He Shuangling，He Xiyong，Yang Tingmei，Yue Hai. Analysis of fungal community structure and diversity in rhizosphere soil of *Macadamia* in different regions of Yunnan province[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences，2025，38(7)：1479-1488.

[10] 陆敬伊，李娅，帅希祥，张明，吴振先，杜丽清，邓旭 . 不同贮藏温度对澳洲坚果鲜果品质及代谢变化的影响[J]. 果树学报，2025：1-18(2025-09-04)[2025-10-30]. https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20250379.
Lu Jingyi，Li Ya，Shuai Xixiang，Zhang Ming，Wu Zhenxian，Du Liqing，Deng Xu. Effect of different storage temperatures on the quality and metabolic changes of fresh macadamia nuts[J]. Journal of Fruit Science，2025：1-18(2025-09-04)[2025-10-30]. https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20250379.

[11] 张丞，张弘，苏建荣，涂行浩，徐涓，李颖，刘兰香，唐晓宁，马金菊 . 五倍子单宁对澳洲坚果鲜食果仁的保鲜效果[J]. 食品科学，2025，46(14)：311-320.
Zhang Cheng，Zhang Hong，Su Jianrong，Tu Xinghao，Xu Juan，Li Ying，Liu Lanxiang，Tang Xiaoning，Ma Jinju. Preservation effect of gallnut tannin on fresh macadamia nuts[J]. Food Science，2025，46(14)：311-320.

[12] Shuai X X，Dai T T，Chen M S，Liu C M，Ruan R，Liu Y H，Chen J. Characterization of lipid compositions，minor components and antioxidant capacities in macadamia (*Macadamia integrifolia*) oil from four major areas in China[J]. Food Bioscience，2022，50：102009.

[13] 朱艺，杨虹霞，郑伟康，唐少平，柴利军，杨帆，马兆成 . 云南省澳洲坚果种质资源农艺性状及脂肪酸组成分析[J]. 园艺学报，2025，52(7)：1707-1717.
Zhu Yi，Yang Hongxia，Zheng Weikang，Tang Shaoping，Chai Lijun，Yang Fan，Ma Zhaocheng. Analysis of agronomic traits and fatty acid composition of macadamia germplasm resources in Yunnan province[J]. Acta Horticulturae Sinica，2025，52(7)：1707-1717.

[14] 万继锋，邹明宏，陈菁，宋喜梅，杨倩，罗炼芳，曾辉 . 澳洲坚果种质资源数量分类研究[J]. 果树学报，2022，39(10)：1798-1812.
Wan Jifeng，Zou Minghong，Chen Jing，Song Ximei，Yang Qian，Luo Lianfang，Zeng Hui. Study on numerical taxonomy of *Macadamia* spp. germplasm resources[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(10)：1798-1812.

[15] Kang Z M，Cai H，Guo G Z，Zeng H，Wang W L，Tu X H. Physiological response of macadamia (*Macadamia integrifolia*) seedlings to drought stress[J]. Horticulturae，2025，11(4)：347.

[16] 黄思婕，黄运鹏，李冰，叶维雁，杨祥燕，杨为海，蔡元保 . 低温胁迫下八个澳洲坚果品种的抗寒性综合评价[J]. 广西植物，2025，45(9)：1724-1734.
Huang Sijie，Huang Yunpeng，Li Bing，Ye Weiyan，Yang Xiangyan，Yang Weihai，Cai Yuanbao. Comprehensive evaluation of cold resistance of eight macadamia varieties under low temperature stress[J]. Guihaia，2025，45(9)：1724-1734.

[17] Shuai X X，Dai T T，Chen M S，Liang R H，Du L Q，Chen J，Liu C M. Comparative study on the extraction of macadamia (*Macadamia integrifolia*) oil using different processing methods[J]. LWT，2022，154：112614.

[18] Aruwajoye N N，Buthelezi N M D，Mditshwa A，Tesfay S Z，Magwaza L S. Assessing the impact of roasting temperatures on biochemical and sensory quality of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*)[J]. Foods，2023，12(11)：2116.

[19] 贺鹏，张涛，宋海云，郑树芳，覃振师，黄锡云，汤秀华，王文林 . 适于开口带壳果加工的澳洲坚果桂热 1 号采收期的确定[J]. 核农学报，2021，35(8)：1825-1831.
He Peng，Zhang Tao，Song Haiyun，Zheng Shufang，Qin Zhenshi，Huang Xiyun，Tang Xiuhua，Wang Wenlin. Determination of harvesting time of Gui Re No. 1 macadamia nuts suitable for processing of slotted nut[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2021，35(8)：1825-1831.

[20] 贺鹏，张涛，宋海云，郑树芳，覃振师，谭秋锦，黄锡云，汤秀华，许鹏，陈海生，王文林 . 适于开口加工澳洲坚果 HAES695 最佳采收期的确定[J]. 浙江农业学报，2021，33(8)：1489-1496.
He Peng，Zhang Tao，Song Haiyun，Zheng Shufang，Qin Zhenshi，Tan Qiujin，Huang Xiyun，Tang Xiuhua，Xu Peng，Chen Haisheng，Wang Wenlin. Determination of suitable harvesting time of *Macadamia integrifolia* cv. HAES695 for processing of slotted nut[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2021，33(8)：1489-1496.

[21] 万继锋，卢智强，邹明宏，陈菁，宋喜梅，杨倩，董丽红，罗炼芳，曾辉 . 澳洲坚果成熟期间果实内果皮颜色、果仁品质变化及最适采收期预测[J]. 中国南方果树，2023，52(6)：72-75.
Wan Jifeng，Lu Zhiqiang，Zou Minghong，Chen Jing，Song Ximei，Yang Qian，Dong Lihong，Luo Lianfang，Zeng Hui. Changes in endocarp color，kernel quality and prediction of optimal harvest time during the ripening period of *Macadamia integrifolia*[J]. South China Fruits，2023，52(6)：72-75.

[22] 马静，宫丽丹，岳海，李志强，吴超，陈宇春，宁娅，郭刚军，贺熙勇 . 澳洲坚果‘O. C’果实发育及品质变化规律研究[J]. 西部林业科学，2024，53(4)：76-84.

Ma Jing，Gong Lidan，Yue Hai，Li Zhiqiang，Wu Chao，Chen Yuchun，Ning Ya，Guo Gangjun，He Xiyong. Fruit development and quality change of ‘O. C’ cultivar in macadamia[J]. Journal of West China Forestry Science，2024，53(4)：76-84.

[23] 谭秋锦，陈海生，韦媛荣，许鹏，郑树芳，黄锡云，何铣扬，覃振师，王文林 . 澳洲坚果种质果仁主要营养成分分析与评价[J]. 中国粮油学报，2021，36(2)：150-154.
Tan Qiujin，Chen Haisheng，Wei Yuanrong，Xu Peng，Zheng Shufang，Huang Xiyun，He Xianyang，Qin Zhenshi，Wang Wenlin. Nutritional analysis and evaluation of kernel of *Macadamia integrifolia*[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2021，36(2)：150-154.

[24] 谭秋锦，韦媛荣，黄锡云，张涛，许鹏，宋海云，王文林，郑树芳 . 10 份澳洲坚果种质果实性状与营养成分分析[J]. 果树学报，2021，38(5)：672-680.
Tan Qiujin，Wei Yuanrong，Huang Xiyun，Zhang Tao，Xu Peng，Song Haiyun，Wang Wenlin，Zheng Shufang. Analysis of fruit characteristics and nutrients of 10 accessions of *Macadamia integrifolia*[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(5)：672-680.

[25] 陆超忠，曾辉，张汉周 . 澳洲坚果品种适应性研究[J]. 果树学报，2004，21(1)：82-84.
Lu Chaozhong，Zeng Hui，Zhang Hanzhou. Studies on yield，kernel quality and wind resistance of macadamia cultivar own choice[J]. Journal of Fruit Science，2004，21(1)：82-84.

[26] 李兴则，韦兴兰，曾惠平，董琼 . 叶面配比施肥对树番茄苗木生长及非结构性碳水化合物的影响[J]. 西南农业学报，2024，37(12)：2765-2774.
Li Xingze，Wei Xinglan，Zeng Huiping，Dong Qiong. Effect of foliar fertilization with variable ration on seeding growth and non-structural carbohydrates of *Cyphomandra betacea*[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences，2024，37(12)：2765-2774.

[27] 曾惠平，孙丽娟，茶晓飞，郭焕仙，李兴则，董琼 . 降水量和降水间隔时间对树番茄幼苗生长及光合荧光特性的影响[J]. 植物资源与环境学报，2025，34(5)：78-88.
Zeng Huiping，Sun Lijuan，Cha Xiaofei，Guo Huanxian，Li Xingze，Dong Qiong. Effects of precipitation and precipitation interval on growth and photosynthetic fluorescence characteristics of *Cyphomandra betacea* seedlings[J]. Journal of Plant Resources and Environment，2025，34(5)：78-88.

[28] 李扬，耿建建，马静，吴超，李志强，王康，宫丽丹，贺熙勇，陶亮 . 16 个澳洲坚果品种在云南盈江的引种表现[J]. 经济林研究，2024，42(3)：131-139.
Li Yang，Geng Jianjian，Ma Jing，Wu Chao，Li Zhiqiang，Wang Kang，Gong Lidan，He Xiyong，Tao Liang. Introduction performance of 16 macadamia varieties in Yingjiang of Yunnan province[J]. Non-wood Forest Research，2024，42(3)：131-139.

[29] 宋喜梅，邹明宏，康专苗，罗炼芳，杜丽清，万继锋，杨倩，王照，曾辉 . 高出仁率澳洲坚果新品种‘南亚 116 号’[J]. 园艺学报，2025，52(增刊 1)：67-68.
Song Ximei，Zou Minghong，Kang Zhuanmiao，Luo Lianfang，Du Liqing，Wan Jifeng，Yang Qian，Wang Zhao，Zeng Hui. A new cultivar macadamia ‘Nanya 116’ of high kernel rate[J]. Acta Horticulturae Sinica，2025，52(S1)：67-68.

[30] 赖海荣，郭素娟 . 不同耐贮性板栗坚果果皮及种皮的发育特征观察[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2025，53(9)：41-53.
Lai Hairong，Guo Sujuan. Observation on the anatomical structure of chestnut nut pericarp and seed coat development[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)，2025，53(9)：41-53.

[31] 罗一然，沈德周 . 云南芒市澳洲坚果主要性状及病虫害防治技术[J]. 果树实用技术与信息，2022(4)：42-44.
Luo Yiran，Shen Dezhou. Main traits and pest control technologies of *Macadamia integrifolia* in Mangshi，Yunnan[J]. Practical Technology and Information for Fruits，2022(4)：42-44.

[32] 叶甜甜，刘雪，梁晓婕，苏淑钗 . 2 个品种不同成熟度油茶果实品质差异比较[J]. 中国油脂，2023，48(6)：85-90.
Ye Tiantian，Liu Xue，Liang Xiaojie，Su Shuchai. Comparison of fruit quality differences between two varieties of *Camellia oleifera* fruit at different maturity[J]. China Oils and Fats，2023，48(6)：85-90.

[33] 鹿宏丽，艾力亚斯•艾合麦提，贡翔，张锐，木塔里甫•艾海提 . “温 185”核桃不同采收期果实品质变化动态研究[J]. 新疆农垦科技，2022，45(2)：24-28.
Lu Hongli，Aliyas Ahmat，Gong Xiang，Zhang Rui，Mutalip Aiheti. Dynamic study on fruit quality changes of “Wen 185” walnut at different harvest periods[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology，2022，45(2)：24-28.

[34] 康专苗，何凤平，耿建建，朱文华，雷朝云，刘凡值，张燕，王代谷，李向勇，范建新，卢加举，曾辉，陶亮 . 贵州适种澳洲坚果品质性状评价[J]. 经济林研究，2020，38(4)：117-124.
Kang Zhuanmiao，He Fengping，Geng Jianjian，Zhu Wenhua，Lei Chaoyun，Liu Fanzhi，Zhang Yan，Wang Daigu，Li Xiangyong，Fan Jianxin，Lu Jiaju，Zeng Hui，Tao Liang. Evaluation of quality characters of macadamia suitable for planting in Guizhou[J]. Non-wood Forest Research，2020，38(4)：117-124.

[35] 马尚玄，胡小静，付镓榕，魏元苗，徐文婷，姜家泰，王家堂，李鸿，郭刚军，贺熙勇 . 云南西双版纳不同澳洲坚果品种果实品质特性及综合评价[J]. 中国南方果树，2024，53(6)：68-75.
Ma Shangxuan，Hu Xiaojing，Fu Jiarong，Wei Yuanmiao，Xu Wenting，Jiang Jiatai，Wang Jiatang，Li Hong，Guo Gangjun，He Xiyong. Quality characteristics and comprehensive evaluation of different varieties of macadamia nuts in Xishuangbanna of Yunnan[J]. South China Fruits，2024，53(6)：68-75.

[36] 刘凤兰，韩宏伟，毛金梅，王琴，李勇，王建友 . 不同品种巴旦木种仁在不同采收期粗脂肪含量及其油脂脂肪酸组成的比较[J]. 中国油脂，2018，43(6)：104-107.
Liu Fenglan，Han Hongwei，Mao Jinmei，Wang Qin，Li Yong，Wang Jianyou. Comparison of crude fat contents and oil fatty ac-

id compositions of different species of almond kernel in different harvest time[J]. China Oils and Fats，2018，43(6)：104-107.

[37] 谈亚丽，高梦祥，李晓洁，周英杰，熊健，曾子琦，李啸，杨华．湖北省主栽核桃在不同采收期的品质[J]. 浙江农业学报，2025，37(7)：1459-1468.
Tan Yali，Gao Mengxiang，Li Xiaojie，Zhou Yingjie，Xiong Jian，Zeng Ziqi，Li Xiao，Yang Hua. Quality of mainly cultivated walnuts in Hubei province of China at different harvest periods[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2025，37(7)：1459-1468.

[38] 王一峰，宫峥嵘，胡文斌，刘奕宏，王明霞，陈耀年，赵淑玲．采收期对核桃贮藏期间内种皮褐变的影响[J]. 经济林研究，2024，42(3)：255-263.
Wang Yifeng，Gong Zhengrong，Hu Wenbin，Liu Yihong，Wang Mingxia，Chen Yaonian，Zhao Shuling. Effect of harvest time on browning of walnut endocarps during storage[J]. Non-wood Forest Research，2024，42(3)：255-263.

[39] 魏琴，常月梅，高俊仙，李永琛，郝燕燕．鲜食核桃‘礼品2号’采收期研究[J]. 江西农业大学学报，2024，46(5)：1172-1185.
Wei Qin，Chang Yuemei，Gao Junxian，Li Yongchen，Hao Yanyan. Study on harvest period of fresh walnut ‘Lipin No. 2’[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis，2024，46(5)：1172-1185.

[40] 赵梦幻，许郡元，刘亚丽，李鹏程，刘震，李志，耿晓东，代莉，刘一，王艳梅．不同采收期山桐子的果实品质分析[J]. 河南农业大学学报，2024，58(1)：69-77.
Zhao Menghuan，Xu Junyuan，Liu Yali，Li Pengcheng，Liu Zhen，Li Zhi，Geng Xiaodong，Dai Li，Liu Yi，Wang Yanmei. Analysis of fruit quality of *Idesia polycarpa* Maxim at different harvest periods[J]. Journal of Henan Agricultural University，2024，58(1)：69-77.

[41] 陈子茜，陈耀兵，郭小妮，刘汉蓁，黄秀芳，罗凯．不同采收期山桐子果实与油脂挥发性成分变化规律[J]. 中国粮油学报，2023，38(5)：108-114.
Chen Zixi，Chen Yaobing，Guo Xiaoni，Liu Hanzhen，Huang Xiufang，Luo Kai. Changes of aroma components in fruit and oil of *Idesia polycarpa* in different harvest periods[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2023，38(5)：108-114.

[42] 邹雨婷，朱铭玮，李永荣，翟金庭，李淑娴．‘凤丹’种子发育及其营养物质含量和相关酶活性的动态变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，2021，45(5)：62-70.
Zou Yuting，Zhu Mingwei，Li Yongrong，Zhai Jinting，Li Shuxian. Dynamic changes in nutrients content and related enzymes activity during *Paeonia ostii* ‘Feng Dan’ seeds development[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)，2021，45(5)：62-70.

[43] 苏静，祝令成，刘茜，彭云静，马百全，马锋旺，李明军．果实糖代谢与含量调控的研究进展[J]. 果树学报，2022，39(2)：266-279.
Su Jing，Zhu Lingcheng，Liu Xi，Peng Yunjing，Ma Baiquan，Ma Fengwang，Li Mingjun. Research progress on sugar metabolism and concentration regulation in fruit[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(2)：266-279.

[44] 周长富，姚小华，林萍，卢靖．油茶果实发育特性及水分、油脂含量动态分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版)，2013，34(3)：49-53.
Zhou Changfu，Yao Xiaohua，Lin Ping，Lu Jing. Growth characteristics and dynamic analysis of water and oil content on oil-tea camellia fruit[J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)，2013，34(3)：49-53.

[45] 王亚萍，费学谦，石晓丽，叶小飞，郭少海，罗凡．采收期和处理方法对油茶籽及其油脂营养物质积累的影响[J]. 中国油脂，2017，42(4)：20-23.
Wang Yaping，Fei Xueqian，Shi Xiaoli，Ye Xiaofei，Guo Shaohai，Luo Fan. Effects of harvest time and treatment methods on nutrient accumulation of oil-tea camellia seed and its oil[J]. China Oils and Fats，2017，42(4)：20-23.

[46] 谭秋锦，王文林，韦媛荣，郑树芳，黄锡云，何铣扬，陈海生．澳洲坚果种质果实产量相关性状的多样性分析[J]. 果树学报，2019，36(12)：1630-1637.
Tan Qiujin，Wang Wenlin，Wei Yuanrong，Zheng Shufang，Huang Xiyun，He Xianyang，Chen Haisheng. Diversity analysis of fruit traits related to yield in *Macadamia* germplasms[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(12)：1630-1637.

[47] 任二芳，刘功德，艾静汶，程三红，罗朝丹，罗小杰．不同干燥方式对澳洲坚果品质的影响[J]. 食品研究与开发，2021，42(12)：136-141.
Ren Erfang，Liu Gongde，Ai Jingwen，Cheng Sanhong，Luo Chaodan，Luo Xiaojie. Effects of different drying methods on macadamia nut quality[J]. Food Research and Development，2021，42(12)：136-141.

[48] 谭秋锦，王正成，杨仙武，施远娟，康专苗，王文林．澳洲坚果新品种‘正成1号’[J]. 园艺学报，2024，51(增刊2)：53-54.
Tan Qiujin，Wang Zhengcheng，Yang Xianwu，Shi Yuanjuan，Kang Zhuanmiao，Wang Wenlin. A new *Macadamia* cultivar ‘Zhengcheng 1’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2024，51(S2)：53-54.