

黔澳系列澳洲坚果优良单株品质性状与营养成分分析

康专苗¹, 郭广正¹, 蔡 虎¹, 王代谷¹, 曾 辉², 王文林³, 宋喜梅²,

涂行浩², 陶 亮⁴, 耿建建⁴, 熊晓晖⁵

(1. 贵州省农业科学院 亚热带作物研究所, 贵阳 550025; 2. 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091;
3. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西 崇左 532400; 4. 云南省热带作物科学研究所, 云南 西双版纳 666100;
5. 江西省农业技术推广中心, 南昌 330027)

摘要:为进一步了解黔澳系列(‘黔澳1号’‘黔澳2号’和‘黔澳3号’)澳洲坚果优良单株品质性状与营养成分,为其选育和深加工利用提供科学依据,以贵州省审定的澳洲坚果良种 Own Choice (O. C.)为对照,测定4个种质材料的果实外观性状,果仁粗脂肪、粗蛋白质、可溶性糖、矿质元素含量,果仁脂肪酸和游离氨基酸组成及含量。结果表明:‘黔澳1号’和‘黔澳3号’的带皮鲜果质量、果实横径、带壳鲜果质量、带壳鲜果横径、带壳鲜果纵径、带壳干果质量、果仁干质量表现优于 O. C., ‘黔澳2号’的出种率、出仁率和带壳鲜果横径表现优于 O. C.,且果皮与果壳厚度比 O. C. 小;‘黔澳1号’‘黔澳2号’和‘黔澳3号’果仁干质量、出仁率、带壳鲜果横径、带壳鲜果纵径均符合 NY/T 2667.7—2016 澳洲坚果品种审定基本要求;黔澳系列3个种质果仁的可溶性糖含量均高于 O. C. 的,粗蛋白质、粗脂肪、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、B 含量与 O. C. 的无显著差异,多不饱和脂肪酸含量均显著高于 O. C. 的,‘黔澳2号’果仁必需氨基酸含量最高,且显著高于 O. C. 的。综上,黔澳系列3个澳洲坚果种质品质较好,可作为贵州本土品种选育过程中重点关注的种质材料。

关键词:澳洲坚果;果实品质;矿质元素;脂肪酸;氨基酸

中图分类号:S666.4;TS222+.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2025)09-0083-08

Analysis of quality traits and nutrient composition of excellent single plants of Qian'ao series of macadamia

KANG Zhuanmiao¹, GUO Guangzheng¹, CAI Hu¹, WANG Daigu¹, ZENG Hui²,
WANG Wenlin³, SONG Ximei², TU Xinghao², TAO Liang⁴,
GENG Jianjian⁴, XIONG Xiaohui⁵

(1. Institute of Subtropical Crops, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, China; 2. Institute of South Subtropical Crops, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, Guangdong, China; 3. Guangxi Institute of South Subtropical Agricultural Sciences, Chongzuo 532400, Guangxi, China; 4. Yunnan Institute of Tropical Crop Science, Xishuangbanna 666100, Yunnan, China; 5. Jiangxi Agricultural Technology Extension Center, Nanchang 330027, China)

收稿日期:2024-05-31;修回日期:2025-05-07

基金项目:3个澳洲坚果优良单株种苗繁育及区域试验研究(黔林科合[2025]07号);澳洲坚果新品种区域试验林管护及种质引进(2025-GZZM-KBM-01);贵州山地澳洲坚果育种长期科研基地(2020132540);望谟县油桐国家林木种质资源库补助项目

作者简介:康专苗(1989),男,副研究员,硕士,主要从事热带果树育种及栽培工作(E-mail)354921716@qq.com。

通信作者:熊晓晖,高级农艺师,硕士(E-mail)583132636@qq.com。

Abstract: The aim is to further understand the quality traits and nutrient composition of excellent single plants of Qian'ao series (Qian'ao No. 1, No. 2 and No. 3) macadamia, and provide scientific basis for selection and deep processing utilization. With Own Choice (O. C.), a good variety of macadamia validated in Guizhou Province, as the control, and the fruit appearance traits and kernel crude fat, crude protein, soluble sugar, mineral element contents, and fatty acid and free amino

acid composition and contents of the four germplasm materials were determined. The results showed that the fresh mass of skinned fruit, transverse diameter of fruit, fresh mass of shelled fruit, transverse diameter and longitudinal diameter of fresh shelled fruit, dry mass of shelled fruit and dry mass of single kernel of Qian'ao No. 1 and Qian'ao No. 3 performed better than O. C. The seed yield, kernel yield and transverse diameter of fresh shelled fruit of Qian'ao No. 2 performed better than O. C., and the peel and shell were thinner than O. C. Dry mass of single kernel, kernel yield, transverse diameter and longitudinal diameter of fresh shelled fruit of Qian'ao No. 1, No. 2, No. 3 were in line with the basic requirements of variety certification in NY/T 2667. 7 – 2016. The soluble sugar content of the three germplasms of Qian'ao series was higher than that of O. C., the contents of crude protein, crude fat, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu and B were not significantly different from those of O. C., and the contents of polyunsaturated fatty acids were significantly higher than those of O. C. The contents of essential amino acids of Qian'ao No. 2 were the highest and significantly higher than those of O. C. In conclusion, the three macadamia germplasms of Qian'ao series are of good quality and can be used as germplasm materials to be emphasized in the selection and breeding process of local varieties in Guizhou Province.

Key words: macadamia; fruit quality; mineral element; fatty acid; amino acid

澳洲坚果 (*Macadamia integrifolia*) 又名夏威夷果, 为山龙眼科 (Proteaceae)、澳洲坚果属 (*Macadamia* F. Mull) 常绿乔木, 其果仁含脂肪 70% 以上, 还含有一定量的蛋白质、矿质元素等, 营养价值高, 素有“干果皇后”“坚果之王”的美称, 被誉为世界上最佳的食用坚果^[1-2], 也是我国重要的木本油料树种。我国自 20 世纪 70 年代末开始引种试种澳洲坚果, 其目前主要分布在云南、广西、广东、贵州等省 (区)^[3], 澳洲坚果产业逐步成为当地巩固脱贫攻坚成果的新型产业。

自澳洲坚果商业化栽培以来, 育种一直是各国研究工作者重点研究方向。全球最先发起澳洲坚果育种计划的是夏威夷农业试验站, 全球种植的澳洲坚果品种大多来源于其选育的品种, 如 Purvis (294)、Ikaika (333)、Kau (344)、Pahala (788) 等^[4], 而这些品种大多起源于澳大利亚北部分布的野生种群^[5]。澳大利亚通过从大量实生群体中选择优良天然杂交植株, 无性繁殖后进行品种比较试验, 成功选育了包括 A4 和 A16 在内的一系列澳洲坚果品种^[6]。南非和肯尼亚也选育出了多个适宜当地发展的澳洲坚果优良品种^[7]。我国由于引进澳洲坚果时间较晚, 相应的育种起步也比较晚, 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所的澳洲坚果研究团队通过实生选种从引进的澳洲坚果种子中选育了南亚 1 号、南亚 3 号、南亚 12 号、南亚 116 号等优良品种^[8-11]; 广西南亚热带农业科学研究所从实生苗群体中选育出了桂热 1 号, 该品种是国内首个具有自

主知识产权的澳洲坚果新品种^[12]。为了选育出适宜本地发展的澳洲坚果良种, 我国科研工作者对不同澳洲坚果种质的性状、品质等方面进行了全面、系统的综合评价^[13-19], 为各地产业发展及良种推广提供了良好的建议。我国澳洲坚果种植面积大, 但仍面临产量低、品质良莠不齐等问题, 严重制约了该产业在乡村振兴中发挥有效作用, 因此开展澳洲坚果良种选育迫在眉睫。

目前, 我国关于澳洲坚果的研究主要集中在生态栽培^[20]、花粉活力^[21]、种源鉴定^[22]、适种澳洲坚果品质性状、营养成分、脂肪酸组成等方面^[18-19]。而对于贵州当地澳洲坚果品种的选育研究鲜有报道。‘黔澳 1 号’‘黔澳 2 号’‘黔澳 3 号’是贵州省亚热带作物研究所在澳洲坚果实生群体中筛选出的优良单株, 盛产期产量高, 果实较大, 出仁率较高。为了进一步了解‘黔澳 1 号’‘黔澳 2 号’‘黔澳 3 号’的品质性状, 确定其是否具有开展进一步选育工作的必要性, 以期黔澳系列澳洲坚果优良单株品种选育提供参考依据, 本研究以贵州省审定的林木良种 Own Choice (O. C) 为对照品种, 采集 4 个种质材料的成熟果实, 对果实外观性状, 果仁粗脂肪、粗蛋白质、可溶性糖、矿质元素含量, 果仁脂肪酸和游离氨基酸组成及含量进行了综合分析。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

盛产期澳洲坚果 4 个种质 O. C (8 年生树) 及‘黔澳 1 号’‘黔澳 2 号’‘黔澳 3 号’ (13 年生树) 的

成熟果实,采自贵州省亚热带作物研究所澳洲坚果基地(东经 104° 53' 23", 北纬 24° 58' 30", 海拔 1 200 m)。果园种植密度为 495 株/hm²,土壤类型为钙质石灰土,土壤 pH 为 7.8。每个种质材料在树冠中上部外围的东、西、南、北 4 个方向随机采摘 25 个果柄完整的果实,混合后作为 1 个混合样,每个种质材料采集 3 个混合样。

氢氧化钠、氢氧化钾、醋酸钠、浓硫酸、浓硝酸、盐酸、石油醚、乙醚、甲醇、乙醇均为分析纯,乙腈为色谱纯。

1.1.2 仪器与设备

电子天平,游标卡尺,电热恒温鼓风干燥箱,凯氏定氮仪,索氏提取器,NexION® 5000 电感耦合等离子体质谱,气相色谱-质谱联用仪,高效液相色谱-质谱联用仪。

1.2 试验方法

1.2.1 果实品质性状

每个种质样品中随机选择 20 个大小均匀的澳洲坚果成熟果实,重复 3 次,共 60 个果实。采用游标卡尺逐个测量果实的横径、纵径,采用电子天平(精度 0.001 g)测定带皮鲜果单果质量,剥皮后得带壳鲜果,采用游标卡尺测量单层果皮厚度、带壳鲜果横径和纵径,采用电子天平(精度 0.001 g)测定其单果质量,以带壳鲜果的单果质量与带皮鲜果的单果质量比值计算出种率。将带壳鲜果分别在 38、48、60℃ 的条件下干燥 48 h,当果仁含水量降至(1.5±0.5)%时,将其冷却至室温[(20±1)℃]并称取质量,破壳后再称其单果果仁干质量^[23],并采用游标卡尺测量果壳厚度,以单果果仁干质量与带壳干果质量比值计算出仁率。将果仁密封,于 4℃ 保存备用。

1.2.2 澳洲坚果仁基本营养成分及矿质元素含量测定

参照 GB/T 37493—2019《粮油检验 谷物、豆类中可溶性糖的测定 铜还原-碘量法》测定可溶性糖含量;参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》,采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量;参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》,采用索氏抽提法测定粗脂肪含量;参考文献[24]采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、硼(B)的含量。

1.2.3 澳洲坚果仁脂肪酸组成测定

参照 NY/T 3110—2017《植物油料中全谱脂肪

酸的测定 气相色谱-质谱法》并略作修改测定澳洲坚果仁脂肪酸组成及含量。将澳洲坚果仁粉碎后得澳洲坚果粉,称取 0.2 g 澳洲坚果粉于 10 mL 离心管中,加入 2 mL 石油醚-乙醚(体积比 1:1)混合液,加入 1 mL 氢氧化钾-甲醇溶液(0.40 mol/L)溶液,涡旋振荡,静置反应 1 h;再次涡旋振荡,加入 2 mL 去离子水;静置 30 min 分层,以 8 000 r/min 离心 5 min,取上层用石油醚稀释 2 倍,进气相色谱-质谱联用仪分析。

气相色谱条件:安捷伦 DB-225MS 毛细管色谱柱(30 mm×0.25 mm×0.25 μm);汽化室温度 280℃;柱升温程序为初始温度 50℃,以 5℃/min 升温至 200℃,以 2℃/min 升温至 230℃,保持 10 min;载气为氦气,流量 1 mL/min;分流比 30:1;进样量 1 μL。质谱条件:5975C 四极杆质谱仪,离子源温度 250℃,四极杆温度 150℃,电子轰击电离(EI)模式,溶剂延迟时间 3 min,数据采集模式为选择离子监测方式(SIM),监测离子 *m/z* 为 55、67、74、79。

以混合脂肪酸甲酯标准品保留时间定性,峰面积归一化法定量。

1.2.4 澳洲坚果仁游离氨基酸含量测定

参考文献[25]采用高效液相色谱-串联质谱(HPLC-MS/MS)法测定澳洲坚果仁中游离氨基酸含量。

标准溶液配制:采用 0.001 mol/L HCl-乙醇(体积分数 20%)溶液配制 20 种氨基酸标准溶液,其中 17 种氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸、组氨酸、精氨酸、苏氨酸、丙氨酸、脯氨酸、酪氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、半胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸)混合标准品系列质量浓度分别为 0.1、0.25、0.5、2.5、5、25、50 ng/mL,3 种氨基酸(色氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺)混合标准品系列质量浓度分别为 10、25、50、250、500、2 500、5 000 ng/mL。

称取 10 g 澳洲坚果仁于液氮环境下全部研磨粉碎,准确称取约 0.3 g 澳洲坚果粉,加入 4 mL 0.001 mol/L HCl-乙醇(体积分数 20%)溶液,低温水浴超声 30 min,于 4℃、12 000×*g* 离心 5 min,取上清液,沉淀加入 4 mL 提取液重新提取 2 次,合并 3 次上清液,将其定容至 10 mL,吸取 1 mL 过 0.22 μm 水相滤膜,放入 -20℃ 冰箱待上机检测。

液相色谱条件:Information-HILIC-Z 色谱柱(2.7 μm, 3.0 mm×100 mm);柱温 35℃;流动相 A 为 75% 乙腈水溶液,B 为 0.1 mol/L 醋酸钠溶液,流速 0.3 mL/min;洗脱梯度为 0~5 min 10% A,5~8 min 50% A,8~15 min 10% A;进样量 1 μL。

质谱条件:电喷雾离子源(ESI)正离子模式;多反应监测(MRM)扫描;气帘气压力 0.10 MPa;喷雾电压 4 000 V;雾化气压力 0.45 MPa;辅助气压力 0.48 MPa;雾化温度 400 ℃。20 种氨基酸的选择反应监测条件见表 1。

表 1 20 种氨基酸的选择反应监测条件
Table 1 Selected reaction monitoring conditions for 20 amino acids

氨基酸	母离子 (<i>m/z</i>)	子离子 (<i>m/z</i>)	解簇 电压/V	碰撞 电压/V
精氨酸 Arg	241.1	152 * /74.3	70	10/32
色氨酸 Trp	205.1	188 * /146	80	6/16
酪氨酸 Tyr	182	165 * /136	70	6/10
苯丙氨酸 Phe	166.1	120 * /103	70	12/30
组氨酸 His	156	110 * /83.3	80	12/26
甲硫氨酸 Met	150	133 * /104	70	6/8
谷氨酸 Glu	148.1	130 * /84.3	70	6/16
谷氨酰胺 Gln	147	130 * /84.1	70	6/18
赖氨酸 Lys	147	130 * /84.3	70	6/16
天冬氨酸 Asp	134	88 * /74	60	6/12
天冬酰胺 Asn	133	87 * /74.3	70	6/16
亮氨酸 Leu	132	86.1 * /44.1	60	8/24
异亮氨酸 ILe	132	86.1 * /69.1	60	8/16
半胱氨酸 Cys	122	76 * /59	60	12/26
苏氨酸 Thr	120	74.1 * /56.1	60	8/16
缬氨酸 Val	118	72.1 * /55.3	60	8/22
脯氨酸 Pro	116	70.3 * /43.3	80	16/34
丝氨酸 Ser	106	88 * /60	50	6/10
丙氨酸 Ala	90	45.3 * /44.1	50	40/10
甘氨酸 Gly	76	48.3 * /30.1	50	2/6

注: * 表示定量离子
Note: * Quantitative ions

1.2.5 数据处理

使用 Excel 2021 软件进行数据整理,各指标结果以“平均值±标准差”表示;使用 SPSS 25.0 统计软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 澳洲坚果果实品质性状

4 个种质澳洲坚果的品质性状指标见表 2。

由表 2 可知:对于果实性状,‘黔澳 2 号’与 O. C 的带皮鲜果质量无显著差异,‘黔澳 1 号’与‘黔澳 3 号’的带皮鲜果质量无显著差异,并显著大于前两者;果实横径与带皮鲜果质量表现一致;4 个种质的果实纵径无显著差异;O. C、‘黔澳 1 号’‘黔澳 3 号’果皮厚度无显著差异,‘黔澳 2 号’的果皮厚度最小,但与‘黔澳 3 号’的无显著差异;‘黔澳 2 号’的出种率显著高于其他 3 个种质,‘黔澳 1 号’的出

种率显著低于 O. C,而与‘黔澳 3 号’无显著差异。

对于带壳果性状,‘黔澳 2 号’与 O. C 的带壳鲜果质量无显著差异,而显著低于‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’,‘黔澳 1 号’与‘黔澳 3 号’的带壳鲜果质量无显著差异。4 个种质带壳鲜果横径为 25.04 ~ 29.11 mm,其中,‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’的带壳鲜果横径无显著差异,均显著大于‘黔澳 2 号’,三者的带壳鲜果横径均显著大于 O. C 的 4 个种质带壳鲜果纵径为 26.17 ~ 29.03 mm,其中,‘黔澳 3 号’的最大,其次是‘黔澳 1 号’,‘黔澳 2 号’和 O. C 的无显著差异,并显著小于‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’。4 个种质带壳干果质量为 8.89 ~ 10.82 g,其中,‘黔澳 2 号’与 O. C 的带壳干果质量无显著差异,并显著小于‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’,‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’带壳干果质量无显著差异。4 个种质果仁干质量为 3.20 ~ 3.73 g,其中,‘黔澳 2 号’与 O. C 的果仁干质量无显著差异,‘黔澳 1 号’与‘黔澳 3 号’的果仁干质量显著大于 O. C 的,而与‘黔澳 2 号’无显著差异。4 个种质的出仁率为 33.59% ~ 38.36%,其中,‘黔澳 2 号’的出仁率最高,其余 3 个品种的出仁率无显著差异。4 个种质果壳厚度为 2.10 ~ 2.77 mm,其中,‘黔澳 2 号’的果壳厚度与‘黔澳 1 号’无显著差异,但显著小于 O. C 和‘黔澳 3 号’,而 O. C、‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’的果壳厚度无显著差异。

果大、高出种率和高出仁率的澳洲坚果符合市场和品种选育的需求^[26-27]。本研究中,‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’的带皮鲜果质量、果实横径、带壳鲜果质量、带壳鲜果横径、带壳鲜果纵径、带壳干果质量、果仁干质量表现优于 O. C,‘黔澳 2 号’的出种率、出仁率和带壳鲜果横径表现优于 O. C,且果皮与果壳厚度比 O. C 小,其余指标与 O. C 无显著差异。黔澳系列 3 个种质平均带皮鲜果质量、带壳干果质量、果仁干质量分别为 26.27、10.14、3.59 g,相较于谭秋锦等^[28]对 10 份澳洲坚果种质测定的平均鲜果质量 22.48 g、带壳干果质量 7.77 g、果仁干质量 2.62 g,分别高出 16.86%、30.50%、37.02%。此外,黔澳系列 3 个种质果仁干质量为 3.40 ~ 3.73 g、出仁率为 34.00% ~ 38.36%、带壳鲜果横径为 26.55 ~ 29.11 mm、带壳鲜果纵径为 26.17 ~ 29.03 mm,达到了 NY/T 2667.7—2016《热带作物品种审定规范 第 7 部分:澳洲坚果》品质指标基本要求(果仁质量≥2 g、出仁率≥32%、壳果直径≥1.8 cm)。

表 2 4 个澳洲坚果种质的品质性状指标
Table 2 Quality trait indices of four macadamia germplasms

外观性状	O. C	黔澳 1 号	黔澳 2 号	黔澳 3 号
带皮鲜果质量/g	22.19 ± 0.49 ^b	29.31 ± 2.04 ^a	20.70 ± 0.79 ^b	28.80 ± 0.22 ^a
带壳鲜果质量/g	10.39 ± 0.33 ^b	12.63 ± 0.07 ^a	10.90 ± 0.46 ^b	12.86 ± 0.13 ^a
出种率/%	46.79 ± 0.54 ^b	43.25 ± 2.96 ^c	52.69 ± 1.89 ^a	44.65 ± 0.24 ^{bc}
果实横径/mm	32.13 ± 0.33 ^b	35.96 ± 1.12 ^a	33.41 ± 1.16 ^b	36.54 ± 0.49 ^a
果实纵径/mm	35.41 ± 0.70 ^a	37.17 ± 1.13 ^a	35.89 ± 1.51 ^a	37.12 ± 1.33 ^a
果皮厚度/mm	3.96 ± 0.43 ^a	3.91 ± 0.45 ^a	3.17 ± 0.37 ^b	3.67 ± 0.17 ^{ab}
带壳鲜果横径/mm	25.04 ± 0.37 ^c	28.81 ± 0.75 ^a	26.55 ± 0.59 ^b	29.11 ± 0.21 ^a
带壳鲜果纵径/mm	26.28 ± 0.25 ^c	28.27 ± 0.08 ^b	26.17 ± 0.38 ^c	29.03 ± 0.31 ^a
带壳干果质量/g	9.53 ± 0.24 ^b	10.72 ± 0.42 ^a	8.89 ± 0.44 ^b	10.82 ± 0.34 ^a
果仁干质量/g	3.20 ± 0.17 ^b	3.65 ± 0.26 ^a	3.40 ± 0.10 ^{ab}	3.73 ± 0.15 ^a
出仁率/%	33.59 ± 0.97 ^b	34.00 ± 1.10 ^b	38.36 ± 2.88 ^a	34.49 ± 0.52 ^b
果壳厚度/mm	2.77 ± 0.21 ^a	2.40 ± 0.20 ^{ab}	2.10 ± 0.19 ^b	2.52 ± 0.19 ^a

注:同一指标下不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同
Note: Different lowercase letters for the same indicator indicate significant difference ($p < 0.05$). The same below

2.2 澳洲坚果仁基本营养成分及矿质元素含量

4 个种质澳洲坚果仁基本营养成分及矿质元素含量如表 3 所示。

由表 3 可知:4 个种质澳洲坚果仁的可溶性糖、粗蛋白质、粗脂肪含量分别为 3.44% ~ 4.10%、6.30% ~ 9.02%、75.15% ~ 77.41%。黔澳系列 3 个种质的可溶性糖含量均显著高于 O. C 的,其中‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’的可溶性糖含量显著高于‘黔澳 2 号’的。4 个种质澳洲坚果仁的粗蛋白质、粗脂肪、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、B 含量均无显著差异,Zn、Mn 含量存在一定差异,其中:‘黔澳 2 号’和‘黔澳 3 号’的 Zn 含量与 O. C 的无显著差异,且后两者 Zn 含量显著高于‘黔澳 1 号’的;‘黔澳 3 号’的 Mn 含量显著高于其他 3 个种质的,且后三者的 Mn 含量无显著差异。

营养成分测定分析表明,4 个种质澳洲坚果仁营养成分均以粗脂肪为主,且含有一定量的粗蛋白质、可溶性糖和矿质元素,其中:黔澳系列 3 个种质的粗脂肪与粗蛋白质含量与 O. C 无显著差异,可溶性糖含量显著高于 O. C 的,矿质元素总体与 O. C 无显著差异,富含 P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Mn、B 9 种元素,种质性状良好。

表 3 4 个种质澳洲坚果仁基本营养成分及矿质元素含量
Table 3 Basic nutritional components and mineral element contents in kernels of four macadamia germplasms

项目	O. C	黔澳 1 号	黔澳 2 号	黔澳 3 号
可溶性糖/%	3.44 ± 0.20 ^c	4.10 ± 1.40 ^a	3.77 ± 0.04 ^b	4.01 ± 0.06 ^a
粗蛋白质/%	9.02 ± 1.60 ^a	7.60 ± 2.13 ^a	6.30 ± 1.41 ^a	7.57 ± 1.36 ^a
粗脂肪/%	77.41 ± 1.48 ^a	77.00 ± 4.28 ^a	76.80 ± 0.66 ^a	75.15 ± 3.64 ^a
P/(g/kg)	1.85 ± 0.16 ^a	1.71 ± 0.19 ^a	1.64 ± 0.33 ^a	1.67 ± 0.09 ^a
K/(g/kg)	4.19 ± 0.28 ^a	3.30 ± 0.26 ^a	2.95 ± 0.95 ^a	3.07 ± 0.13 ^a
Ca/(g/kg)	1.90 ± 0.57 ^a	1.82 ± 0.82 ^a	1.99 ± 1.36 ^a	1.17 ± 0.01 ^a
Mg/(g/kg)	1.58 ± 0.26 ^a	1.24 ± 0.11 ^a	1.36 ± 0.59 ^a	1.07 ± 0.09 ^a
Fe/(mg/kg)	38.00 ± 17.94 ^a	19.92 ± 1.70 ^a	33.86 ± 8.40 ^a	44.28 ± 1.69 ^a
Cu/(mg/kg)	8.22 ± 3.21 ^a	6.94 ± 2.29 ^a	8.28 ± 2.18 ^a	10.05 ± 0.25 ^a
Zn/(mg/kg)	15.50 ± 0.91 ^a	11.53 ± 2.50 ^b	13.22 ± 1.70 ^{ab}	16.25 ± 2.32 ^a
Mn/(mg/kg)	17.94 ± 1.12 ^b	19.31 ± 2.86 ^b	15.48 ± 1.13 ^b	33.38 ± 1.30 ^a
B/(mg/kg)	9.19 ± 3.91 ^a	6.08 ± 0.92 ^a	9.48 ± 3.10 ^a	7.52 ± 0.39 ^a

2.3 澳洲坚果仁脂肪酸组成与含量

4 个种质澳洲坚果仁脂肪酸组成与含量如表 4 所示。

由表 4 可看出,澳洲坚果仁共检测出 20 种脂肪酸。含量较高的依次是油酸、棕榈油酸、棕榈酸、花生油酸、硬脂酸、亚油酸,其中油酸和棕榈油酸总量

达75%以上,这与前人^[29]的研究结果基本一致。4个种质澳洲坚果仁富含油酸,含量在61%~65%,其中‘黔澳3号’的油酸含量与O.C的无显著差异,‘黔澳1号’和‘黔澳2号’的油酸含量显著低于O.C的。4个种质澳洲坚果仁中棕榈油酸、棕榈酸、花生油酸、硬脂酸、亚油酸含量较高,分别占脂肪酸总量的14%~17%、8%~10%、3%~7%、3%~5%、1%~3%,其中:‘黔澳3号’的棕榈油酸含量最高,为16.58%,O.C的棕榈油酸含量次之,‘黔澳2号’和‘黔澳1号’的棕榈油酸含量较低;黔澳系列中‘黔澳2号’的棕榈酸含量最高,为9.39%,其余2个种质与O.C的棕榈酸含量无显著差异;‘黔澳1号’和‘黔澳2号’的花生油酸含量无显著差异,且显著高于O.C和‘黔澳3号’的;黔澳系列中‘黔澳1号’的硬脂酸含量与O.C无显著差异,且显著高

于‘黔澳2号’和‘黔澳3号’的;‘黔澳3号’的亚油酸含量最高,为2.32%,其次是‘黔澳2号’和‘黔澳1号’,且三者均显著高于O.C的。其余脂肪酸中,除‘黔澳1号’的肉豆蔻酸、花生四烯酸含量和‘黔澳2号’的花生四烯酸含量高于1%外,其余脂肪酸含量均低于1%。3个黔澳系列中,‘黔澳3号’的饱和脂肪酸含量最低,‘黔澳1号’和‘黔澳2号’的无显著差异,且与O.C的无显著差异;‘黔澳1号’和‘黔澳2号’的不饱和脂肪酸含量与O.C无显著差异,且均显著低于‘黔澳3号’的。4个种质澳洲坚果仁单不饱和脂肪酸是最主要的脂肪酸,其中,‘黔澳1号’和‘黔澳3号’的单不饱和脂肪酸含量与O.C的无显著差异,而‘黔澳2号’的单不饱和脂肪酸含量最低。黔澳系列3个种质的多不饱和脂肪酸含量均显著高于O.C的。

表4 4个种质澳洲坚果仁脂肪酸组成与含量
Table 4 Fatty acid composition and content in kernels of four macadamia germplasm %

脂肪酸	O. C	黔澳1号	黔澳2号	黔澳3号
癸酸 C10:0	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a
月桂酸 C12:0	0.07 ± 0.01 ^c	0.09 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.01 ^{ab}	0.08 ± 0.00 ^b
肉豆蔻酸 C14:0	0.64 ± 0.01 ^d	1.04 ± 0.03 ^a	0.92 ± 0.02 ^b	0.81 ± 0.02 ^c
十五烷酸 C15:0	0.04 ± 0.00 ^b	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^b
棕榈酸 C16:0	8.79 ± 0.30 ^b	8.35 ± 0.19 ^b	9.39 ± 0.58 ^a	8.22 ± 0.11 ^b
棕榈油酸 C16:1	15.89 ± 0.18 ^b	14.57 ± 0.03 ^c	14.76 ± 0.03 ^c	16.58 ± 0.40 ^a
十七碳酸 C17:0	0.07 ± 0.00 ^c	0.08 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.00 ^c
硬脂酸 C18:0	4.08 ± 0.00 ^a	3.92 ± 0.23 ^a	3.39 ± 0.15 ^b	3.06 ± 0.13 ^c
油酸 C18:1n9c	64.04 ± 0.52 ^a	61.40 ± 0.81 ^b	61.15 ± 0.99 ^b	63.08 ± 0.67 ^{ab}
亚油酸 C18:2n6c	1.25 ± 0.00 ^d	1.37 ± 0.02 ^c	1.44 ± 0.03 ^b	2.32 ± 0.05 ^a
γ-亚麻酸 C18:3n6	0.05 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.06 ± 0.00 ^a
花生油酸 C20:1	3.34 ± 0.11 ^c	6.15 ± 0.36 ^a	5.70 ± 0.30 ^a	3.85 ± 0.05 ^b
α-亚麻酸 C18:3n3	0.19 ± 0.02 ^b	0.56 ± 0.06 ^a	0.53 ± 0.08 ^a	0.26 ± 0.02 ^b
二十一碳酸 C21:0	0.06 ± 0.01 ^a	0.06 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.00 ^a
山嵛酸 C22:0	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a
二十碳三烯酸 C20:3n6	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a
花生四烯酸 C20:4n6	0.90 ± 0.09 ^b	1.45 ± 0.07 ^a	1.44 ± 0.07 ^a	0.93 ± 0.02 ^b
二十三碳酸 C23:0	0.05 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.02 ^a	0.07 ± 0.02 ^a	0.06 ± 0.00 ^a
木蜡酸 C24:0	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^b
顺-15-二十四碳一烯酸 C24:1n9	0.37 ± 0.04 ^c	0.62 ± 0.06 ^b	0.71 ± 0.03 ^a	0.37 ± 0.04 ^c
饱和脂肪酸	13.92 ± 0.37 ^a	13.77 ± 0.40 ^a	14.17 ± 0.62 ^a	12.50 ± 0.22 ^b
单不饱和脂肪酸	83.64 ± 0.42 ^{ab}	82.74 ± 0.42 ^b	82.32 ± 0.72 ^c	83.88 ± 0.19 ^a
多不饱和脂肪酸	2.44 ± 0.07 ^b	3.49 ± 0.07 ^a	3.51 ± 0.10 ^a	3.62 ± 0.09 ^a
不饱和脂肪酸	86.08 ± 0.36 ^b	86.23 ± 0.40 ^b	85.83 ± 0.62 ^b	87.50 ± 0.22 ^a

2.4 澳洲坚果仁游离氨基酸含量

4个种质澳洲坚果仁游离氨基酸组成及含量见表5。

由表5可知:澳洲坚果仁中氨基酸种类齐全,含有20种氨基酸,其中,必需氨基酸8种,半必需氨基

酸2种。Glu、Asn、Thr、Asp、Ala、Pro 6种氨基酸在4个种质澳洲坚果仁中含量较高,Cys、Lys、Met 3种氨基酸在4个种质澳洲坚果仁中含量较低。4个种质坚果仁中,O.C的总氨基酸含量最高,其Asn含量相对黔澳系列有显著优势,‘黔澳2号’的总氨基酸含

量仅次于 O. C, ‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’的总氨基酸含量无显著差异,均显著低于‘黔澳 2 号’的。‘黔澳 2 号’的必需氨基酸含量在 4 个种质中最高,且显著高于 O. C 的,‘黔澳 1 号’和‘黔澳 3 号’的必需氨基酸含量均显著低于 O. C 的,其中‘黔澳 1 号’

的必需氨基酸含量显著高于‘黔澳 3 号’的。20 种氨基酸中,‘黔澳 2 号’的 Phe、Leu、Thr、Arg、Tyr、Ala、Ser、Asp 含量均显著高于其他 3 个种质的,而 4 个种质的 Ile、Gly、Cys 含量无显著差异。

表 5 4 个种质澳洲坚果仁游离氨基酸组成及含量

Table 5 Free amino acid composition and content in kernels of four macadamia germplasms				μg/g
氨基酸	O. C	黔澳 1 号	黔澳 2 号	黔澳 3 号
苯丙氨酸 Phe *	74.85 ± 4.07 ^b	61.23 ± 1.08 ^c	90.22 ± 3.83 ^a	59.32 ± 1.40 ^c
亮氨酸 Leu *	29.04 ± 0.43 ^c	30.56 ± 0.43 ^{bc}	37.90 ± 1.88 ^a	31.08 ± 0.55 ^b
色氨酸 Trp *	31.99 ± 0.97 ^a	31.83 ± 2.45 ^a	17.43 ± 4.59 ^b	17.15 ± 0.91 ^b
异亮氨酸 Ile *	17.44 ± 0.59 ^a	14.98 ± 2.89 ^a	18.66 ± 3.55 ^a	17.25 ± 1.33 ^a
甲硫氨酸 Met *	8.47 ± 0.31 ^b	10.40 ± 2.69 ^{ab}	12.59 ± 2.07 ^a	9.15 ± 0.39 ^b
缬氨酸 Val *	56.96 ± 0.18 ^a	43.00 ± 8.49 ^b	61.66 ± 7.47 ^a	42.48 ± 1.17 ^b
苏氨酸 Thr *	338.92 ± 11.25 ^b	300.47 ± 7.81 ^c	371.94 ± 2.06 ^a	275.01 ± 0.42 ^d
赖氨酸 Lys *	0.85 ± 0.02 ^b	1.19 ± 0.03 ^a	1.19 ± 0.08 ^a	0.92 ± 0.03 ^b
组氨酸 His#	81.20 ± 3.28 ^a	81.85 ± 5.91 ^a	87.08 ± 6.53 ^a	71.44 ± 1.64 ^b
精氨酸 Arg#	123.85 ± 6.20 ^c	143.95 ± 3.92 ^b	162.65 ± 3.22 ^a	129.81 ± 1.73 ^c
酪氨酸 Tyr	101.42 ± 4.92 ^b	82.00 ± 1.44 ^c	112.14 ± 1.45 ^a	68.99 ± 3.06 ^d
脯氨酸 Pro	223.81 ± 5.93 ^a	172.13 ± 6.76 ^b	215.10 ± 4.85 ^a	177.03 ± 3.33 ^b
丙氨酸 Ala	269.41 ± 1.75 ^c	292.22 ± 4.36 ^b	375.21 ± 1.90 ^a	252.82 ± 5.82 ^c
甘氨酸 Gly	13.36 ± 0.20 ^a	14.07 ± 4.92 ^a	17.55 ± 0.88 ^a	14.31 ± 0.26 ^a
谷氨酰胺 Gln	39.31 ± 0.44 ^{bc}	43.75 ± 4.38 ^{ab}	44.53 ± 2.35 ^a	37.68 ± 0.63 ^c
丝氨酸 Ser	90.66 ± 4.35 ^c	101.05 ± 4.86 ^b	137.86 ± 1.00 ^a	85.12 ± 3.15 ^c
天冬酰胺 Asn	957.88 ± 3.20 ^a	524.59 ± 4.37 ^d	539.52 ± 8.60 ^c	573.10 ± 2.85 ^b
谷氨酸 Glu	1 528.35 ± 6.80 ^b	1 318.85 ± 6.52 ^c	1 331.18 ± 2.55 ^c	1 547.55 ± 10.35 ^a
天冬氨酸 Asp	296.34 ± 6.33 ^b	294.51 ± 3.40 ^b	397.85 ± 3.12 ^a	182.59 ± 6.26 ^c
半胱氨酸 Cys	0.01 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a
总氨基酸	4 284.11 ± 40.06 ^a	3 562.64 ± 47.12 ^c	4 032.27 ± 48.34 ^b	3 592.82 ± 32.16 ^c
必需氨基酸	558.52 ± 14.99 ^b	493.66 ± 19.70 ^c	611.59 ± 21.42 ^a	452.36 ± 4.28 ^d

注: * 必需氨基酸;#半必需氨基酸
Note: *. Essential amino acids;#. Semi-essential amino acids

3 结 论

黔澳系列 3 个种质果大,果仁干质量、出仁率、带壳鲜果纵径和带壳鲜果横径等品质指标符合 NY/T 2667.7—2016 澳洲坚果品种审(认)定的基本要求,其果仁的可溶性糖含量较高,粗蛋白质含量、粗脂肪含量与贵州省审定的林木良种 O. C 相当,同时富含矿质元素、脂肪酸和氨基酸,可作为贵州本土品种选育过程中重点关注的种质材料,下一步将对其早结性能、特异性、稳定性、一致性开展系统性的研究,为其是否具有推广应用价值提供更充分的理论依据。

参考文献:

[1] 王文林,张涛,汤秀华,等. 中国澳洲坚果产业概况与发展模式探索[J]. 农业研究与应用,2022,35(4):44-50.
[2] 杜丽清,邹明宏,曾辉,等. 澳洲坚果果仁营养成分分析

[J]. 营养学报,2010,32(1):95-96.
[3] 王文林,谭秋锦,陈海生. 广西澳洲坚果产业现状、优势与发展对策[J]. 安徽农业科学,2018,46(35):199-201.
[4] 杨帆,付小猛,陶亮,等. 澳洲坚果起源、育种及种质资源研究现状[J]. 中国果树,2023(11):1-7.
[5] AHMADTERMIZI A A, HARDNER C M, BATLEY J, et al. SNP analysis of *Macadamia integrifolia* chloroplast genomes to determine the genetic structure of wild populations[J]. Acta Horticult, 2016, 1109: 175-180.
[6] BELL H F D, BELL D J D, WINKS C W. Macadamia tree breeding and selection program update 1987[C]//Proceedings of the Second Macadamia Research Workshop. Bangalow Palms Resort, Bangalow: [s. n.], 1987: 15-19.
[7] GITONGA L N, MUIGAI A, KAHANGI E M, et al. Status of macadamia production in Kenya and the potential of biotechnology in enhancing its genetic improvement[J]. J

- Plant Breed Crop Sci, 2009, 1(3): 49–59.
- [8] 陆超忠, 曾辉, 邹明宏, 等. ‘澳洲坚果南亚 2 号’[J]. 园艺学报, 2010, 37(7): 1195–1196.
- [9] 曾辉, 陆超忠, 邹明宏, 等. 澳洲坚果新品种南亚 1 号的选育[J]. 中国果树, 2013(1): 1–3.
- [10] 曾辉, 陆超忠, 邹明宏, 等. 澳洲坚果新品种‘南亚 3 号’的选育及其特性研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(2): 207–210.
- [11] 万继锋, 曾辉, 邹明宏, 等. 八个澳洲坚果品种成年树抽梢、开花结果特性及栽培要点[J]. 热带农业科学, 2021, 41(3): 43–47.
- [12] 莫庆道, 覃振师, 赵大宣, 等. 澳洲坚果新品种: 桂热 1 号[J]. 广西热带农业, 2007(6): 8–9.
- [13] 谭秋锦, 覃振师, 郑树芳, 等. 桂西南 10 种澳洲坚果果实数量性状的研究[J]. 中国热带农业, 2015(2): 54–58.
- [14] 谭秋锦, 王文林, 韦媛荣, 等. 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.
- [15] 贺鹏, 张涛, 宋海云, 等. 广西澳洲坚果果实品质分析与综合评价[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 242–251.
- [16] 曾辉, 杨为海, 张明楷, 等. 澳洲坚果种质果实品质性状的多样性分析[J]. 经济林研究, 2013, 31(1): 70–74.
- [17] 陈显国, 崔明勇, 蔡元保, 等. 关于澳洲坚果主要推广品种的建议[J]. 黑龙江农业科学, 2014(1): 83–87.
- [18] 康专苗, 王代谷, 张燕, 等. 贵州 5 种澳洲坚果果实品质分析[J]. 农业研究与应用, 2021, 34(4): 17–24.
- [19] 康专苗, 何凤平, 耿建建, 等. 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.
- [20] 王代谷, 韩树全, 刘荣, 等. 澳洲坚果山地幼龄果园套作模式效益分析[J]. 江西农业学报, 2017, 29(7): 31–35.
- [21] 罗立娜, 韩树全, 范建新, 等. 不同品种澳洲坚果花粉生活力的研究[J]. 江西农业学报, 2017, 29(8): 34–37.
- [22] 刘小翠, 范建新, 刘荣, 等. 澳洲坚果种质资源的 SRAP 分析及指纹图谱构建[J]. 分子植物育种, 2020, 18(5): 1566–1577.
- [23] 康专苗, 郭广正, 王代谷, 等. 石漠化地区澳洲坚果果实品质及产量的综合评价[J]. 经济林研究, 2024, 42(1): 314–324.
- [24] 于馨淼, 陈发兴, 卢海芬, 等. 不同品种枇杷果实微量元素分析及综合评价[J]. 热带作物学报, 2019, 40(11): 2227–2235.
- [25] 彭真汾, 叶清华, 王威, 等. 普通橄榄和清橄榄果实游离氨基酸差异成分与谷氨酰胺代谢[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 229–236.
- [26] 谭秋锦, 韦媛荣, 潘贞珍, 等. 澳洲坚果种质果实数量性状分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(6): 1615–1625.
- [27] 林玉虹, 杨祥燕, 蔡元保, 等. 68 份澳洲坚果种质资源的表型分类研究[J]. 南方农业学报, 2023, 54(8): 2379–2387.
- [28] 谭秋锦, 韦媛荣, 黄锡云, 等. 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.
- [29] 杨为海, 张明楷, 邹明宏, 等. 澳洲坚果不同种质果仁粗脂肪及脂肪酸成分的研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(7): 1297–1302.

· 公益广告 ·



节能减排 提质增效
油脂加工 精准适度

《中国油脂》宣