

3 种血桐属植物种子营养成分分析

张桂兰^{1,2}, 郭娟¹, 姚雨玲³, 田波¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园 热带植物资源可持续利用重点实验室, 云南 西双版纳 666303;

2. 中国科学院大学, 北京 101408; 3. 云南中医药大学 中药学院, 昆明 650500)

摘要: 旨在更好地开发利用血桐属植物种子, 以印度血桐、盾叶木和中平树种子为原料, 测定了 3 种血桐属植物种仁的油脂、蛋白质和总糖含量, 分析了种仁、种子和种皮的脂肪酸组成, 以及种仁中游离氨基酸含量。结果表明: 印度血桐、盾叶木和中平树种仁中油脂含量分别为 59.70%、56.68%、58.11%, 蛋白质含量分别为 24.64%、23.78%、21.19%, 总糖含量分别为 7.73%、8.88%、8.78%; 3 种血桐属植物种仁均以神经酸和芥酸为主要脂肪酸, 印度血桐、盾叶木和中平树种仁中神经酸含量分别为 45.28%、57.65%、22.97%, 芥酸含量分别为 35.23%、26.74%、54.83%, 3 种血桐属植物种皮中油酸含量最高, 均超过 60%, 印度血桐和盾叶木种皮中分别含有 20.41% 和 19.95% 的亚油酸, 而中平树种皮中棕榈酸含量达 16.98%; 印度血桐和盾叶木种子中油酸含量最高, 分别为 32.74% 和 37.98%, 中平树种子中芥酸含量最高, 为 40.30%; 3 种血桐属植物种仁的游离氨基酸中 γ -氨基丁酸和谷氨酸含量较高, 印度血桐、盾叶木、中平树种仁中 γ -氨基丁酸含量分别为 3.11、2.95、2.93 mg/g, 谷氨酸含量分别为 2.29、4.02、6.60 mg/g。综上, 印度血桐和盾叶木种仁中油脂含量和神经酸含量较高, 具有生产神经酸的潜力。

关键词: 血桐属; 种仁; 营养成分; 神经酸; γ -氨基丁酸; 谷氨酸

中图分类号: TS222+.1; TQ646.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2025)05-0098-06

Nutrient composition analysis of seeds of three *Macaranga* species

ZHANG Guilan^{1,2}, GUO Juan¹, YAO Yuling³, TIAN Bo¹

(1. CAS Key Laboratory of Tropical Plant Resources and Sustainable Use, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Xishuangbanna 666303, Yunnan, China; 2. University of Chinese

Academy of Sciences, Beijing 101408, China; 3. College of Traditional Chinese Medicine,

Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to provide a reference for the improved utilization of *Macaranga* seeds, the oil, protein, and total sugar contents of the seed kernels of *Macaranga indica*, *Macaranga adenantha*, and *Macaranga denticulata* were determined. The fatty acid composition of the seed kernels, seeds, and testa, as well as the content of free amino acids in the seed kernels were analyzed. The results showed that the oil contents in *Macaranga indica*, *Macaranga adenantha*, and *Macaranga denticulata* seed kernels were 59.70%, 56.68%, and 58.11%, respectively. The protein contents in *Macaranga indica*, *Macaranga adenantha*, and *Macaranga denticulata* seed kernels were 24.64%, 23.78%, and 21.19%, respectively. The total sugar contents in *Macaranga indica*, *Macaranga adenantha*, and *Macaranga denticulata* seed kernels were 7.73%, 8.88%, and 8.78%, respectively. The seed kernels

of all three *Macaranga* species contained nervonic acid and erucic acid as the predominant fatty acids. The nervonic acid contents in *Macaranga indica*, *Macaranga adenantha*, and *Macaranga denticulata* seed kernels were 45.28%, 57.65%, and 22.97%, respectively, while the erucic acid contents were 35.23%, 26.74%, and 54.83%,

收稿日期: 2024-03-03; 修回日期: 2024-12-01

基金项目: 云南省基础研究专项重点项目(202101AS070011); 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目(202105AC160083)

作者简介: 张桂兰(1998), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物油脂代谢(E-mail) 17385125774@163.com。

通信作者: 田波, 副研究员(E-mail) tianbo@xtbg.ac.cn。

respectively. Additionally, the oleic acid content in the testa of the three of *Macaranga* species was the highest, with all levels exceeding 60%. The testa of *Macaranga indica* and *Macaranga adenantha* also contained 20.41% and 19.95% linoleic acid, respectively, while *Macaranga denticulata* testa contained 16.98% palmitic acid. The highest contents of oleic acid were found in the seeds of *Macaranga indica* and *Macaranga adenantha* at 32.74% and 37.98%, respectively, while the highest content of erucic acid was found in the seeds of *Macaranga denticulata* at 40.30%. In addition, the highest free amino acids of seed kernels were γ -aminobutyric acid and glutamic acid. The contents of γ -aminobutyric acid in *Macaranga indica*, *Macaranga adenantha*, and *Macaranga denticulata* seed kernels were 3.11, 2.95 mg/g and 2.93 mg/g, respectively, meanwhile the contents of glutamic acid were 2.29, 4.02 mg/g and 6.60 mg/g, respectively. In conclusion, the seed kernels of *Macaranga indica* and *Macaranga adenantha* possess a high oil content and a significant amount of nervonic acid, indicating their potential for the production of nervonic acid.

Key words: *Macaranga*; seed kernel; nutritional component; nervonic acid; γ -aminobutyric acid; glutamic acid

血桐属植物大多为含有一定药用活性成分的先锋树种,具有药物开发和生态修复的利用价值^[1]。印度血桐(*Macaranga indica*)、盾叶木(*Macaranga adenantha*)和中平树(*Macaranga denticulata*)同为大戟科(Euphorbiaceae)血桐属(*Macaranga*)乔木,其中印度血桐主要分布在我国云南南部和东南亚国家,盾叶木主要分布在我国广东中部和西部、广西、贵州西南部、云南东南部以及越南北部,而中平树分布范围与印度血桐和盾叶木的分布区域相似^[2-3]。目前,针对上述3种血桐属植物的药物化学研究报道较多,特别是近年来发现其种子中油脂含量高且油中含有一定量神经酸(Nervonic acid, NA)后而受到广泛关注^[4-8]。神经酸是一种超长链单不饱和脂肪酸,能够促进婴幼儿脑部发育,对脑部组织和神经具有保护和修复功能,能预防和治疗神经退行性疾病^[6,9]。

研究表明,印度血桐种子中神经酸含量最高为32.17%,种子中油脂含量最高达34.19%^[10],盾叶木种子中神经酸含量最高达36.77%,种子中油脂含量最高达22.63%^[10],中平树种子中神经酸含量为7.37%,种子中油脂含量为23.46%^[11]。可见,这3个物种虽然亲缘关系较近,但种子中油脂含量特别是神经酸含量差异较大,印度血桐和盾叶木种子中神经酸含量均显著高于中平树种子的^[12]。种子的主要贮藏物质除脂类外,还含有蛋白质和糖类^[13]。目前,已有研究主要针对上述3种血桐属植物种子中油脂的含量和种子油的组成进行了分析,而对种子中蛋白质和糖类是否也具有开发利用价值以及种仁的各种营养成分组成是否同样存在较大差

异的研究较少。本研究以生长在同一环境下的印度血桐、盾叶木和中平树的种子为材料,分别对种仁的油脂含量、蛋白质含量、总糖含量与游离氨基酸含量进行了检测分析,并对3种血桐属植物种仁、种皮和种子的脂肪酸组成进行测定,以期为更好地开发利用血桐属植物种子奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

印度血桐和中平树种子,采自中国科学院西双版纳热带植物园自然生长植株;盾叶木种子,采自从广西壮族自治区天鹅县引种到中国科学院西双版纳热带植物园种植的植株。目前已将盾叶木与印度血桐合并为印度血桐一种^[14],为了便于区分,本研究仍以印度血桐和盾叶木分别标记两个不同种质来源的印度血桐实验材料。

3,5-二硝基水杨酸、酚酞,麦克林公司;葡萄糖、盐酸、浓硫酸、甲醇、氯化钠,分析纯;正己烷,色谱纯;高效凯氏定氮催化剂,赛诺利康公司。

1.1.2 仪器与设备

TP 电子天平,Denver Instrument 公司;HH-2 数显恒温水浴锅,常州澳华仪器有限公司;DHG-9053A 型电热恒温鼓风干燥箱、真空干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;QL-861 旋涡混合器,其林贝尔仪器制造公司;Clarus680FID 气相色谱仪,RkinElmer 公司;TDZ5-WS 低速离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;MM400 冷冻混合研磨仪,德国 Retsch 公司;小核磁 Mq-one 种子含油分析仪,德国 Bruker 公司;SKD-20S2 型红外石英消

化炉、SKD-800 自动凯氏定氮仪,上海沛欧公司; Soxtec™2050 型索氏脂肪提取仪, Foss 公司; Tecan infinite 200 Pro 酶标仪,瑞士 Tecan 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

种子采集晾晒后挑选黑色成熟种子,剥取种仁和种皮,将种仁研磨成细粉状并保存于-20℃待检测。

1.2.2 水分含量测定

采用 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中第一法直接干燥法测定样品水分含量。

1.2.3 油脂含量和蛋白质含量测定

采用时域核磁共振法(TD-NRM)^[10]测定样品油脂含量,其中油脂校准曲线来自印度血桐籽油。采用 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第一法凯氏定氮法测定样品蛋白质含量,蛋白质折算系数取 6.25。

1.2.4 总糖含量测定

采用 3,5-二硝基水杨酸法^[15-16]测定样品总糖含量。称取 0.3 g 样品,研磨匀浆后转入 25 mL 刻度试管中,加入 6 mL 6 mol/L 盐酸,在沸水浴中提取 30 min,取出冷却后,加入 2~3 滴酚酞,缓慢用 6 mol/L 氢氧化钠进行中和,转移至 50 mL 容量瓶中并用蒸馏水定容,过滤得样品总糖溶液,取 1 mL 样品总糖溶液,与 3,5-二硝基水杨酸于比色管中反应后,利用酶标仪在 540 nm 处测定吸光度,再根据绘制的标准曲线(以葡萄糖为标准品)计算总糖含量。

1.2.5 脂肪酸组成测定

取样品(种仁 20 mg,种皮 50 mg,种子 50 mg)于研磨器中,加入 2 mL 体积分数 2% 的硫酸甲醇溶液研磨后,转入 10 mL 带螺纹盖试管中,于 85℃水浴 2 h;冷却后加入 2 mL 质量浓度为 0.9 g/100 mL 的氯化钠溶液和 4 mL 正己烷,涡旋振荡,于 3 000 r/min 离心 5 min,转移上清液至新的试管中,在沉淀中加入 4 mL 正己烷,重复萃取操作,合并上清液,置于真空干燥箱 2 h,最后加入 1.5 mL 正己烷,转至气相色谱上样瓶中,采用气相色谱仪测定脂肪酸组成(测定条件见文献[10])。

1.2.6 游离氨基酸含量测定

称取 50 mg 样品于 2 mL 离心管中,加入 500 μL -20℃预冷的甲醇,涡旋 3 min,于 4℃下 12 000 r/min 离心 10 min,转移 300 μL 上清液于 1.5 mL 离

心管中,于-20℃静置 30 min,于 4℃下 12 000 r/min 离心 10 min,取 200 μL 上清液过蛋白沉淀板,再采用迈维代谢 AB Sciex QTRAP 6500 LC-MS/MS 平台完成游离氨基酸检测和分析^[17-20]。

1.2.7 数据处理

利用 Microsoft Excel 2019 对数据统计并以“平均值±偏差”(n=3)的形式表示,采用 SPSS 27.0.1 对样本进行单因素方差分析。

2 结果与讨论

2.1 种子中水分含量

3 种血桐属植物种子的水分含量见表 1。

表 1 3 种血桐属植物种子的水分含量

species		%
印度血桐	盾叶木	中平树
8.03±0.02 ^b	7.13±0.40 ^c	9.00±0.15 ^a

注:同行不同字母表示具有显著差异(p<0.05)。下同

Note: Different letters in the same row indicate significant differences(p<0.05). The same below

由表 1 可知,印度血桐、盾叶木和中平树种子水分含量分别为 8.03%、7.13%、9.00%,且 3 种血桐属植物种子的水分含量具有显著差异(p<0.05)。

2.2 种仁中油脂、蛋白质、总糖含量

3 种血桐属植物种仁的油脂、蛋白质和总糖含量见表 2。

表 2 3 种血桐属植物种仁的油脂、蛋白质和总糖含量

Table 2 Oil, protein, and total sugar contents in seed kernels of three <i>Macaranga</i> species			%
成分	印度血桐	盾叶木	中平树
油脂	59.70 ± 0.41 ^a	56.68 ± 0.76 ^c	58.11 ± 0.68 ^b
蛋白质	24.64 ± 0.26 ^a	23.78 ± 0.08 ^b	21.19 ± 0.10 ^c
总糖	7.73 ± 1.57 ^a	8.88 ± 0.44 ^a	8.78 ± 0.28 ^a

由表 2 可知,印度血桐、盾叶木和中平树种仁中油脂含量分别为 59.70%、56.68% 和 58.11%,且这 3 种种仁样品中油脂含量存在显著差异(p<0.05)。印度血桐、盾叶木和中平树种仁中蛋白质含量分别为 24.64%、23.78% 和 21.19%,且三者间存在显著差异(p<0.05)。印度血桐、盾叶木和中平树种仁中总糖含量分别为 7.73%、8.88% 和 8.78%,三者间无显著差异(p>0.05)。

2.3 种仁、种皮、种子中脂肪酸组成

3 种血桐属植物种仁、种皮和种子的脂肪酸组成见表 3。

表 3 3 种血桐属植物种仁、种子和种皮的脂肪酸组成及相对含量

Table 3 Fatty acid composition and relative content of seed kernels, seeds and testa of three *Macaranga* species %

脂肪酸	种仁			种皮			种子		
	印度血桐	盾叶木	中平树	印度血桐	盾叶木	中平树	印度血桐	盾叶木	中平树
棕榈酸 C16:0	0.08±0.02 ^{aC}	0.10±0.00 ^{aB}	0.09±0.01 ^{aC}	0.99±0.11 ^{bA}	0.98±0.08 ^{bA}	16.98±3.83 ^{aA}	0.50±0.01 ^{bB}	0.80±0.22 ^{bA}	7.99±4.36 ^{aB}
硬脂酸 C18:0	0.46±0.07 ^{aC}	0.12±0.01 ^{cC}	0.23±0.01 ^{bB}	1.51±0.04 ^{aA}	1.42±0.18 ^{aA}	0.63±0.08 ^{bA}	0.93±0.02 ^{aB}	0.87±0.27 ^{aB}	0.30±0.13 ^{bB}
油酸 C18:1	5.27±0.98 ^{aC}	4.59±1.84 ^{aC}	0.33±0.01 ^{bC}	61.22±0.51 ^{bA}	66.93±1.59 ^{aA}	63.92±1.96 ^{bA}	32.74±0.10 ^{abB}	37.98±4.38 ^{aB}	22.51±15.00 ^{bB}
亚油酸 C18:2	6.20±1.00 ^{aC}	4.88±0.47 ^{aC}	6.16±0.12 ^{aB}	20.41±0.85 ^{aA}	19.95±1.45 ^{aA}	7.09±0.49 ^{bAB}	11.73±0.05 ^{aB}	9.89±0.93 ^{bB}	8.05±1.32 ^{cA}
亚麻酸 C18:3	1.23±0.24 ^{aA}	0.76±0.04 ^{bB}	0.28±0.01 ^{cC}	0.83±0.03 ^{bB}	1.05±0.04 ^{bA}	2.16±0.28 ^{aA}	0.88±0.01 ^{bB}	0.65±0.07 ^{cB}	1.60±0.16 ^{aB}
花生酸 C20:0	0.13±0.03 ^{bB}	0.11±0.01 ^{cA}	0.49±0.02 ^{aA}	0.19±0.02 ^{bA}		0.48±0.11 ^{aA}	0.18±0.00 ^{bA}	0.08±0.01 ^{cB}	0.28±0.04 ^{aB}
二十碳烯酸 C20:1	2.52±0.33 ^{bA}	1.71±0.04 ^{cA}	6.48±0.02 ^{aA}	0.67±0.06 ^{cC}	0.30±0.03 ^{cC}	0.56±0.02 ^{bC}	1.90±0.01 ^{bB}	1.03±0.16 ^{bB}	3.50±1.45 ^{aB}
山嵛酸 C22:0	3.60±0.27 ^{bA}	3.33±0.13 ^{bA}	8.15±0.17 ^{aA}	0.78±0.10 ^{bC}	0.46±0.10 ^{bC}	0.85±0.15 ^{aC}	2.27±0.02 ^{bB}	1.91±0.10 ^{bB}	5.13±1.12 ^{aB}
芥酸 C22:1	35.23±2.73 ^{bA}	26.74±0.76 ^{cA}	54.83±0.27 ^{aA}	6.03±0.61 ^{aC}	3.05±0.66 ^{cC}	4.58±0.86 ^{bB}	21.97±0.03 ^{bB}	15.49±1.42 ^{bB}	40.30±21.18 ^{aA}
神经酸 C24:1	45.28±1.67 ^{bA}	57.65±0.48 ^{aA}	22.97±0.18 ^{cA}	7.39±0.57 ^{aC}	5.86±1.35 ^{aC}	2.75±0.96 ^{bC}	26.90±0.10 ^{aB}	31.31±3.59 ^{aB}	10.35±5.69 ^{bB}

注:同行不同小写字母表示不同品种相同组织部位有显著差异($p < 0.05$);同行不同大写字母表示同一品种不同组织部位有显著差异($p < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences in the same tissue parts of different species ($p < 0.05$); different uppercase letters in the same row indicate significant differences in different tissue parts of the same species ($p < 0.05$)

由表 3 可知,3 种血桐属植物种仁中脂肪酸以神经酸和芥酸为主,其中:盾叶木种仁中神经酸含量最高,为 57.65%,其次是印度血桐,为 45.28%,中平树种仁中神经酸含量最低,为 22.97%。中平树、印度血桐、盾叶木种仁中芥酸含量分别为 54.83%、35.23%、26.74%,且三者间具有显著差异($p < 0.05$)。芥酸是神经酸合成的前体^[21-22],3 种血桐属植物种仁中神经酸和芥酸总量相近,但印度血桐和盾叶木种仁中神经酸含量远高于中平树的,表明在不同物种中催化芥酸生成神经酸的机制存在较大差异。

由表 3 可知,印度血桐、盾叶木、中平树种皮中油酸含量最高,都超过了 60%,分别为 61.22%、66.93%、63.92%。印度血桐和盾叶木种皮中第二大脂肪酸为亚油酸,含量分别为 20.41% 和 19.95%,而中平树种皮中亚油酸含量较低,但棕榈酸含量较高,达到 16.98%。3 种血桐属植物种皮中均含有一定量的神经酸,其中印度血桐种皮中神经酸含量为 7.39%,盾叶木为 5.86%,中平树为 2.75%。

由表 3 可知,印度血桐和盾叶木种子中油酸含量最高,分别为 32.74% 和 37.98%,其次为神经酸,含量分别为 26.90% 和 31.31%,而芥酸为其第三大脂肪酸,含量分别为 21.97% 和 15.49%。中平树种子中芥酸含量最高,为 40.30%,其次为油酸,含量为 22.51%,神经酸为其第三大脂肪酸,含量为 10.35%,这与已有报道存在较大差异,如云南德宏州盈江县盾叶木种仁油中芥酸和神经酸含量分别为 30.20% 和 43.00%^[23],广西百色市乐业县盾叶木籽油中芥酸和神经酸含量分别为 10.25% 和

18.10%^[24],这可能与不同地区生长环境和材料来源不同有关可见,3 种血桐属植物种子中均以油酸、芥酸和神经酸为主要脂肪酸。另外,本研究中印度血桐和盾叶木种子中不饱和脂肪酸含量均超过 96%,而中平树种子中不饱和脂肪酸含量也达到 86%。

综上,3 种血桐属植物相同组织部位间脂肪酸组成存在差异,同一品种不同组织部位间脂肪酸组成也存在差异,但印度血桐与盾叶木亲缘关系更近^[12,14],其脂肪酸组成较为相似。印度血桐和盾叶木种仁中神经酸含量较高,特别是盾叶木,其种仁中神经酸含量高达 57.65%,是目前已发现神经酸含量仅次于蒜头果的物种^[6,8],但其油脂含量低于印度血桐,后续可对两个品种开展杂交育种研究,培育神经酸含量和油脂含量均较高的新品种。

2.4 种仁中游离氨基酸含量

3 种血桐属植物种仁中游离氨基酸含量见表 4。

表 4 3 种血桐属植物种仁中游离氨基酸含量

Table 4 Free amino acid content in seed kernels of three *Macaranga* species mg/g

氨基酸	印度血桐	盾叶木	中平树
缬氨酸 *	0.07	0.23	0.25
色氨酸 *	0.04	0.18	0.26
苏氨酸 *	0.03	0.04	0.12
丝氨酸	0.24	0.28	0.26
脯氨酸	0.07	0.15	0.24
组氨酸	0.03	0.09	0.10
甘氨酸	0.10	0.16	0.20
精氨酸	0.28	0.32	0.53
丙氨酸	0.15	0.27	0.63

续表 4

	mg/g		
氨基酸	印度血桐	盾叶木	中平树
异亮氨酸 *	0.06	0.16	0.21
胱氨酸	0.00	0.00	0.00
苯丙氨酸 *	0.05	0.14	0.15
赖氨酸 *	0.05	0.05	0.16
鸟氨酸	0.09	0.04	0.09
亮氨酸 *	0.06	0.20	0.23
天冬酰胺	0.31	0.66	0.70
L-天冬氨酸	0.47	0.43	0.48
γ -氨基丁酸	3.11	2.95	2.93
谷氨酰胺	0.01	0.05	0.17
谷氨酸	2.29	4.02	6.60
甲硫氨酸 *	0.01	0.03	0.05
必需氨基酸	0.39	1.03	1.43
非必需氨基酸	7.16	9.42	12.95
氨基酸总量	7.55	10.45	14.37

注: * 表示必需氨基酸

Note: *. Essential amino acid

由表 4 可知:印度血桐种仁中游离氨基酸总量为 7.55 mg/g,必需氨基酸含量为 0.39 mg/g;盾叶木种仁中游离氨基酸总量为 10.45 mg/g,必需氨基酸含量为 1.03 mg/g;中平树种仁中游离氨基酸总量为 14.37 mg/g,必需氨基酸含量为 1.43 mg/g。3 种血桐属植物种仁中,中平树的游离氨基酸总量和必需氨基酸含量最高,盾叶木次之,印度血桐的最低。3 种血桐属植物种仁的游离氨基酸中含量最高的 2 种氨基酸是 γ -氨基丁酸和谷氨酸。其中:印度血桐种仁中 γ -氨基丁酸含量为 3.11 mg/g,盾叶木种仁中为 2.95 mg/g,中平树种仁中为 2.93 mg/g,分别占其游离氨基酸总量的 41.19%、28.23% 和 20.39%。 γ -氨基丁酸是一种小分子质量的非蛋白氨基酸,是中枢神经系统抑制性神经递质,具有改善失眠、减缓抑郁症、增加大脑蛋白质分泌等多种生理功能^[25-27]。对 30 种常见果蔬的游离氨基酸研究表明,荔枝、龙眼、西红柿、菠萝蜜中 γ -氨基丁酸含量较高,其中龙眼中 γ -氨基丁酸含量最高,为 1 990 mg/kg^[28],而本研究中 3 种血桐属植物种仁的 γ -氨基丁酸含量均高于常见果蔬的。中平树、盾叶木、印度血桐种仁中谷氨酸含量分别为 6.60、4.02、2.29 mg/g。谷氨酸是中枢神经系统中一种重要的神经递质,在记忆认知、神经营养和诱导神经再生等方面具有重要的生理功能,且谷氨酸及其受体功能的异常被认为可能与抑郁症的发病机制有关^[29]。可见,3 种血桐属植物种子中除了神经酸具有较高利用价值外,特殊氨基酸的存在也提高了种

子的使用价值。

3 结 论

印度血桐、盾叶木和中平树种仁中油脂含量均较高,蛋白质含量次之,总糖含量相对较低,其中印度血桐种仁中油脂和蛋白质含量均最高,而总糖含量最低。3 种血桐属植物种子的不同部位(种仁、种皮及种子)以及不同品种间脂肪酸组成不同,其中种仁中神经酸含量最高,其次为种子,而种皮中神经酸含量最低,在 3 种血桐属植物种仁中,盾叶木种仁中神经酸含量(57.65%)最高,其次为印度血桐(45.28%),而中平树种仁中神经酸含量(22.97%)最低。另外,3 种血桐属植物种仁的游离氨基酸组成中, γ -氨基丁酸和谷氨酸含量较高,进一步提升了 3 种血桐属植物种子的使用价值。总之,印度血桐和盾叶木种仁中油脂含量和神经酸含量较高,具有生产神经酸的巨大潜力,同时也是新品种培育的理想材料。

参考文献:

- [1] 钱丽莎,邵峰,赖云飞,等. 血桐属植物的化学成分研究进展[J]. 中药材, 2019, 42(6): 1437-1447.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 48.
- [3] 丘华兴,黄淑美,张永田. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 53.
- [4] 马明,尚小雅,王素娟,等. 盾叶木化学成分及其小鼠腹腔巨噬细胞 TNF- α 分泌抑制作用[J]. 中国中药杂志, 2007(12): 1175-1179.
- [5] 黄建猷,卢文杰,谭晓,等. 中平树根化学成分研究[J]. 中药材, 2015, 38(8): 1671-1673.
- [6] 王性炎. 我国应重视神经酸植物的发展与利用[J]. 中国油脂, 2011, 36(11): 52-54.
- [7] MAI T S, PHUONG D T, NGA N T, et al. Glyasperin A from *Macaranga indica* presents promising capacities against NTERA-2 cancer stem cells[J]. Rev Bras Farmacogn, 2023, 33(1): 191-197.
- [8] 马柏林,梁淑芳,赵德义,等. 含神经酸植物的研究[J]. 西北植物学报, 2004(12): 2362-2365.
- [9] 范一铭,高桂珍,薛羽君,等. 植物神经酸研究进展[J]. 生物技术进展, 2022, 12(5): 664-672.
- [10] HE X, LU T Q, LI J Y, et al. Germplasm resources of three wood plant species enriched with nervonic acid[J]. Plant Divers, 2022, 44(3): 308-315.
- [11] 喻学俭,王惠英,张继跃,等. 五种大戟科植物种子的脂肪酸的结构鉴定[J]. 植物学报, 1991, 33(3): 199-205.
- [12] 丘华兴. 中国血桐属植物资料[J]. 广西植物, 1982(3): 147-152.

- [13] 徐亮,包维楷,何永华. 种子贮藏物质变化及其贮藏生理[J]. 种子, 2003, 22(5): 61–64.
 - [14] 吴征镒,洪德元. 中国植物志: 第11卷(英文版)[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
 - [15] 王林嵩. 生物化学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
 - [16] 师改琴, 李心怡, 孙雅琪, 等. 分光光度法测定葡萄糖含量的研究[J]. 云南化工, 2020, 47(10): 53–55, 58.
 - [17] GUO S, DUAN J A, QIAN D, et al. Rapid determination of amino acids in fruits of *Ziziphus jujuba* by hydrophilic interaction ultra-high-performance liquid chromatography coupled with triple-quadrupole mass spectrometry[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(11): 2709–2719.
 - [18] TSOCHATZIS E D, BEGOU O, GIKA H G, et al. A hydrophilic interaction chromatography-tandem mass spectrometry method for amino acid profiling in mussels[J]. J Chromatogr B, 2017, 1047: 197–206.
 - [19] LE A, NG A, KWAN T, et al. A rapid, sensitive method for quantitative analysis of underivatized amino acids by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)[J]. J Chromatogr B, 2014, 944: 166–174.
 - [20] LI X, WONG C C, TANG Z, et al. Determination of amino acids in colon cancer cells by using UHPLC-MS/MS and [U-¹³C₅]-glutamine as the isotope tracer[J]. Talanta, 2017, 162: 285–292.
 - [21] ZHUKOV A, POPOV V. Synthesis of C_{20–38} fatty acids in plant tissues[J/OL]. Int J Mol Sci, 2022, 23(9): 4731 [2024-03-03]. <https://doi.org/10.3390/ijms23094731>.
 - [22] 蒲定福, 冯自伟, 郑仁健, 等. 神经酸来源新方向的探讨[J]. 中国油脂, 2021, 46(8): 76–80, 86.
 - [23] 杨梦, 毕荣璐, 张平, 等. 盾叶木籽油理化性质、热特性及抗氧化性能[J]. 中国油脂, 2024, 49(6): 53–57, 81.
 - [24] 李洪果, 黎云睦, 邓振海, 等. 盾叶木籽营养成分分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(3): 130–134.
 - [25] NGO D H, VO T S. An updated review on pharmaceutical properties of *gamma*-aminobutyric acid[J/OL]. Molecules, 2019, 24(15): E2678 [2024-03-03]. <https://doi.org/10.3390/molecules24152678>.
 - [26] 李科, 俞兰秀, 刘小雨, 等. γ -氨基丁酸改善睡眠作用机制的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 353–358.
 - [27] GUIMARÃES A P, SEIDEL H, PIRES L V D M, et al. GABA supplementation, increased heart-rate variability, emotional response, sleep efficiency and reduced depression in sedentary overweight women undergoing physical exercise: Placebo-controlled, randomized clinical trial[J]. J Diet Suppl, 2024, 21(4): 512–526.
 - [28] 黄艳. 常见果蔬中游离氨基酸含量的测定[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9): 4088–4089.
 - [29] 李婧, 孙建栋, 苑玉和, 等. 谷氨酸能神经传递在抑郁症发病机制中作用的研究进展[J]. 神经药理学报, 2014, 4(1): 20–24.

(上接第97页)

 - [10] 李世全. 红花2005走红[J]. 中药研究与信息, 2005, 7(6): 50.
 - [11] 新疆培育出世界首个油药兼用红花品种白色“红花”[EB/OL]. (2007-07-15) [2024-04-11]. https://www.gov.cn/jrzq/2007-07/15/content_685122.htm.
 - [12] 李春艳, 顾秋丽, 高明清. 伊犁河谷红花产业现状及发展对策[J]. 中国种业, 2020(2): 27–28.
 - [13] 常晖, 曾艾林, 贾志伟, 等. 新疆红花种子质量分级标准研究[J]. 中药材, 2019, 42(3): 501–504.
 - [14] 周远航, 曾翠云, 王慧珍, 等. 种植密度对新疆红花采收部位籽粒品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(7): 1195–1200.
 - [15] 杨会锋. 新疆红花丝机械化采收研究现状[J]. 新疆农机化, 2020(5): 34–37.
 - [16] 刘小龙, 刘新环, 兰江. 察布查尔县红花产业发展的几点思考[J]. 农村科技, 2019(3): 67–68.
 - [17] 李新亮. 关于新疆裕民县发展红花产业的几点思考[J]. 新丝路: 下旬, 2016(6): 21–22.
 - [18] 谢伟伟. 亳州: 粉防己强势上扬麦冬后市不容乐观[J]. 中国现代中药, 2008(4): 55–56.
 - [19] 周远航, 郭建富, 马小龙, 等. 新疆红花生产现状及发展对策研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(19): 199–201, 217.
 - [20] 林啸. 伊犁河谷红花高效栽培技术[J]. 西北园艺: 综合, 2019(4): 48–49.
 - [21] 魏建军, 刘胜利, 罗赓彤, 等. 北疆棉区春大豆模式化栽培技术研究[J]. 新疆农业科学, 2005(3): 192–194.
 - [22] 耿丹丹. 建强产业链推进产业化[N]. 经济日报, 2021-12-06(9).
 - [23] 伊犁州直着力构建多元特色产业体系促进百姓就业增收[EB/OL]. (2018-05-18) [2024-04-11]. https://www.ts.cn/xwzx/szxw/201805/t20180518_6014199.shtml.
 - [24] 张进峰. 红花小镇·红花精深加工融合产业园开工建设[N]. 伊犁日报(汉), 2021-06-08(2).
 - [25] 戴贤远. 塑造品牌特征[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 12–34.