

## 两种买麻藤种仁形态及营养品质分析与评价

姜太玲, 李月仙, 白丽娜, 肖明昆, 严 炜, 沈绍斌, 段春芳, 车 彬, 张林辉

(云南省农业科学院 热带亚热带经济作物研究所, 云南 保山 678000)

**摘要:**为合理开发利用买麻藤种仁,以云南省垂子买麻藤种仁和小叶买麻藤种仁为研究对象,对其形态指标和营养品质指标进行分析及评价,并对基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、矿物质元素等60项营养品质指标进行相关性分析。结果表明:垂子买麻藤种仁的长、宽、长宽比、千粒重形态指标均较大,分别是小叶买麻藤种仁的1.78、1.58、1.12倍和4.15倍;垂子买麻藤种仁的粗蛋白质(13.53%)、可溶性糖(6.25%)、总黄酮(1.09%)、 $\gamma$ -氨基丁酸(1.98 mg/g)、Ca(607.30 mg/kg)、Mn(46.44 mg/kg)、Ni(5.48 mg/kg)含量和硬脂酸(25.42%)、 $\alpha$ -亚麻酸(1.49%)、 $\gamma$ -亚麻酸(2.63%)相对含量均极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),小叶买麻藤种仁的干物质(59.56%)、淀粉(53.49%)、粗脂肪(2.48%)、粗纤维(2.50%)、P(2 812.73 mg/kg)、Mg(1 619.95 mg/kg)、Na(8.41 mg/kg)、Zn(11.87 mg/kg)、Sr(2.26 mg/kg)、亮氨酸(15.13 mg/g)等10种氨基酸含量和花生酸(1.78%)、油酸(17.41%)相对含量均极显著高于垂子买麻藤种仁的( $p < 0.01$ );相关性分析结果显示,有约40%的营养品质指标间具有极强的相关性。综上,两种买麻藤种仁在形态指标和营养品质指标中均存在明显差异,具有不同的营养特征。

**关键词:**买麻藤;种仁;形态;营养品质

中图分类号:TS201.4;S567

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2024)11-0085-07

### Analysis and evaluation on morphology and nutritional quality of two kinds of *Gnetum* seed kernels

JIANG Tailing, LI Yuexian, BAI Lina, XIAO Mingkun, YAN Wei, SHEN Shaobin, DUAN Chunfang, CHE Bin, ZHANG Linhui

(Tropical and Subtropical Cash Crops Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000, Yunnan, China)

**Abstract:** In order to develop and utilize the *Gnetum* seed kernel rationally, the morphology and nutritional quality indexes of seed kernels of *Gnetum pendulum* and *Gnetum parvifolium* from Yunnan province were analyzed and evaluated, and the correlation of 60 nutritional quality indexes including basic nutritional components, amino acids, fatty acids and mineral elements were analyzed. The results showed that the length, width, ratio of length to width and 1 000-grain weight of *Gnetum pendulum* seed kernel were higher, which were 1.78, 1.58, 1.12 times and 4.15 times as many as *Gnetum parvifolium* seed kernel. The contents of crude protein (13.53%), soluble sugar (6.25%), total flavone (1.09%),  $\gamma$ -aminobutyric acid (1.98 mg/g), Ca (607.30 mg/kg), Mn (46.44 mg/kg), Ni (5.48 mg/kg) and the relative content of stearic acid (25.42%),  $\alpha$ -linolenic acid (1.49%),  $\gamma$ -linolenic acid (2.63%) of *Gnetum pendulum* seed kernel were significantly higher than those of *Gnetum parvifolium* seed kernel

( $p < 0.01$ ). The contents of dry matter (59.56%), starch (53.49%), crude fat (2.48%), crude fiber (2.50%), P (2 812.73 mg/kg), Mg (1 619.95 mg/kg), Na (8.41 mg/kg), Zn (11.87 mg/kg), Sr (2.26 mg/kg), and 10 amino acids including leucine (15.13 mg/g) and

收稿日期:2024-01-07;修回日期:2024-07-01

基金项目:云南省重点研发计划项目(202103AC100003)

作者简介:姜太玲(1989),女,助理研究员,硕士,研究方向为农产品加工(E-mail) ynjiantailing@163.com。

通信作者:张林辉,研究员,硕士(E-mail) bsrjszlh@126.com。

the relative contents of arachidic acid (1.78%) and oleic acid (17.41%) of *Gnetum parvifolium* seed kernel were significantly higher than those of *Gnetum pendulum* seed kernel ( $p < 0.01$ ). Correlation analysis results showed that about 40% of the indexes were strongly correlated. In conclusion, the morphology and nutritional quality indexes in the two kinds of *Gnetum* seed kernels are obvious differences, and they have different nutritional characteristics.

**Key words:** *Gnetum*; seed kernel; morphology; nutritional quality

买麻藤属 (*Gnetum*) 是裸子植物门中唯一的藤本植物, 约有 40 种, 在亚洲、非洲和南美洲的热带和亚热带地区均有分布, 我国共有 9 种, 主要分布在福建、广东、广西、云南等地<sup>[1]</sup>。买麻藤属具有悠久的药用历史, 其部分种的藤茎、根和叶均可入中药, 具有祛风除湿、消肿止痛、化痰止咳等功效, 民间用于治疗跌打损伤、风湿痛病等, 临床上用于治疗慢性气管炎、急性呼吸道感染等疾病<sup>[1-2]</sup>。现代研究发现, 买麻藤属的藤茎、根、叶富含芪类、生物碱类和黄酮类等生物活性成分<sup>[3]</sup>, 具有抗流感病毒<sup>[4]</sup>、抗炎<sup>[5]</sup>、抗菌<sup>[6]</sup>、抗氧化<sup>[7]</sup>及抑制黄嘌呤氧化酶<sup>[8]</sup>等药理活性。

目前, 对买麻藤属的研究主要集中在藤茎、根和叶, 对该属种子营养成分的研究较少。买麻藤属的种子富含淀粉, 可用于炒食<sup>[1]</sup>。Bhat 等<sup>[9]</sup>研究发现, 显轴买麻藤种子中的粗蛋白质含量为 19.0 g/100 g, 粗脂肪含量为 2.76 g/100 g, 粗纤维含量为 8.66 g/100 g, 碳水化合物含量为 64.1 g/100 g, 且含有适量的必需氨基酸和矿物质。国内仅见对海南省小叶买麻藤种子营养成分的研究, 海南省不同地理、不同气候条件下小叶买麻藤种子各形态指标和营养成分均存在显著性差异<sup>[10]</sup>, 采集于海南省吊罗

山自然保护区的小叶买麻藤种子总糖分约占种子干质量的一半, 总脂肪含量为 29.1 g/kg, 总黄酮含量为 123.2 g/kg, 含有 6 种脂肪酸, 17 种氨基酸<sup>[11]</sup>。目前对买麻藤属不同种的种仁形态及营养品质指标的系统性研究还未见报道, 尤其对垂子买麻藤种仁的。因此, 本研究以云南省垂子买麻藤种仁和小叶买麻藤种仁为研究对象, 对其形态指标、基本营养成分进行分析, 进一步分析其氨基酸组成、脂肪酸组成、矿物质元素组成, 并对 60 项营养品质指标进行相关性分析及评价, 以期促进对买麻藤种仁在形态指标、营养指标方面的深入了解, 为买麻藤属种仁针对性加工和资源的充分利用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

垂子买麻藤和小叶买麻藤果实, 具体信息见表 1, 经处理剥离出种仁。葡萄糖、 $\alpha$ -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶、芦丁, 分析纯, 默克公司; 硼酸、盐酸、浓硫酸、蒽酮、乙醚, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 镁、钙、锰、铁、锌等 28 种矿物质元素混合标样, 色谱纯, 珀金埃尔默股份有限公司。

表 1 两种买麻藤果实具体信息

Table 1 Specific information on the fruits of the two species of *Gnetum*

样品	种名	来源	海拔/m	经度	纬度
垂子买麻藤	<i>Gnetum pendulum</i>	施甸县摆榔乡	1 850	99°17'6.2"	24°35'38.3"
小叶买麻藤	<i>Gnetum parvifolium</i>	腾冲市荷花乡	1 176	98°22'50.0"	24°57'47.9"

### 1.1.2 仪器与设备

HR83-P 快速水分测定仪, 瑞士 Mettler-Toledo 公司; K-370 全自动凯氏定氮仪, 瑞士步琦公司; Multiskan GO 酶标仪、Q Exactive 质谱仪、Vanquish 超高压液相色谱仪, 美国赛默飞公司; 6890A-5975C 气质联用仪, 美国 Agilent 公司; Avio 200 电感耦合等离子体发射光谱仪, 美国 PerkinElmer 公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 形态指标测量

分别随机抽取 20 粒垂子买麻藤种仁和小叶买

麻藤种仁, 用游标卡尺测量其长、宽, 计算长宽比, 称量千粒重。

### 1.2.2 营养指标测定

将买麻藤种仁日晒干后粉碎过 0.150 mm (100 目) 筛备用。

干物质、淀粉、粗蛋白质、可溶性糖、粗脂肪、粗纤维、总黄酮、矿物质元素含量及氨基酸、脂肪酸组成由上海三季生物科技有限公司检测, 其中: 干物质测定参照 GB 5009.3—2016 直接干燥法; 淀粉测定参照 AOAC Official Method 996.11; 粗蛋白质测定参

照 GB 5009.5—2016 凯氏定氮法;可溶性糖采用蒽酮硫酸比色法测定<sup>[12]</sup>;粗脂肪测定参照 GB 5009.6—2016 索氏抽提法;粗纤维测定参照 GB/T 5009.10—2003 酸碱消煮法;总黄酮测定参照 GB/T 20574—2006 分光光度比色法;氨基酸组成测定采用超高效液相色谱质谱法(UPLC-MS)<sup>[13]</sup>;脂肪酸组成测定采用气相色谱质谱法(GC-MS)<sup>[14]</sup>;矿物质元素测定参照 GB 5009.268—2016 电感耦合等离子体质谱法。

### 1.2.3 数据处理

试验数据经 Microsoft Excel 2007 初步整理后,采用 SPSS 20 软件单因素方差分析中的 Duncan 法进行差异显著性检验,使用 Pearson 相关系数法分析各指标间的内在关联。试验结果以“平均值±标准偏差”表示(除干物质含量外,均以干基计)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 形态指标

种仁形态特征受遗传条件和环境因素的影响并表现出一定的差异<sup>[15]</sup>。两种买麻藤种仁形态差异比较如图 1 所示,两种买麻藤种仁形态指标如表 2 所示。

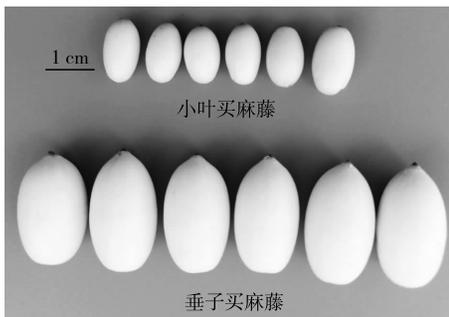


图 1 两种买麻藤种仁形态比较

Fig. 1 Comparison of the morphology of seed kernels of two *Gnetum*

表 2 两种买麻藤种仁形态指标

Table 2 Morphological indexes of seed kernels of two *Gnetum*

项目	垂子买麻藤	小叶买麻藤
长/mm	23.75 ± 0.78 <sup>Aa</sup>	13.35 ± 0.78 <sup>Bb</sup>
宽/mm	12.44 ± 0.43 <sup>Aa</sup>	7.88 ± 0.50 <sup>Bb</sup>
长宽比	1.91 ± 0.09 <sup>Aa</sup>	1.70 ± 0.10 <sup>Bb</sup>
千粒重/g	2 755.00 ± 77.24 <sup>Aa</sup>	664.00 ± 35.78 <sup>Bb</sup>

注:同行数据肩标大写字母不同表示差异极显著( $p < 0.01$ ),小写字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ )。下同

Note: Peer data shouldered with different capital letters indicate highly significant differences ( $p < 0.01$ ), while different lowercase letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ). The same below

由图 1 和表 2 可知,垂子买麻藤种仁长、宽、长宽比、千粒重分别是小叶买麻藤种仁的 1.78、1.58、1.12 倍和 4.15 倍,均极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),其中,千粒重的差异最大。兰倩等<sup>[10]</sup>对海南省不同地区的小叶买麻藤种子形态指标进行测定发现,海南省小叶买麻藤种子长、宽、长宽比、千粒重的范围分别为 21.36 ~ 27.30 mm、11.42 ~ 13.85 mm、1.77 ~ 1.97、1 549.00 ~ 2 877.78 g,明显大于本研究中小叶买麻藤种仁的形态指标,这可能与地域和气候不同有关。

### 2.2 营养品质指标

#### 2.2.1 基本营养成分

种仁营养物质主要有蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质等,是体现种子品质的重要理化指标<sup>[16]</sup>。买麻藤种仁的基本营养成分如表 3 所示。

表 3 两种买麻藤种仁的基本营养成分

Table 3 Comparison of the basic nutrient composition of the seed kernels of two *Gnetum*

项目	垂子买麻藤	小叶买麻藤
干物质	48.35 ± 0.08 <sup>Bb</sup>	59.56 ± 0.13 <sup>Aa</sup>
淀粉	41.43 ± 0.77 <sup>Bb</sup>	53.49 ± 0.87 <sup>Aa</sup>
粗蛋白质	13.53 ± 0.08 <sup>Aa</sup>	11.96 ± 0.01 <sup>Bb</sup>
可溶性糖	6.25 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	3.94 ± 0.02 <sup>Bb</sup>
粗脂肪	2.26 ± 0.04 <sup>Bb</sup>	2.48 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
粗纤维	1.73 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	2.50 ± 0.05 <sup>Aa</sup>
总黄酮	1.09 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	0.92 ± 0.01 <sup>Bb</sup>

由表 3 可知,垂子买麻藤种仁和小叶买麻藤种仁的干物质含量分别为 48.35% 和 59.56%,说明其水分含量均在 40% 以上。在干物质中,淀粉含量最高,粗蛋白质、可溶性糖次之,粗脂肪和粗纤维含量较低。小叶买麻藤种仁的干物质、淀粉、粗脂肪、粗纤维含量均极显著高于垂子买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),而垂子买麻藤种仁的粗蛋白质、可溶性糖、总黄酮含量均极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ )。两种买麻藤种仁的淀粉含量均比同是木本油料的文冠果种仁的(7.54% ~ 12.71%)<sup>[16]</sup>高,小叶买麻藤种仁的淀粉含量超过了 50%,比垂子买麻藤种仁的高 29.11%。垂子买麻藤种仁粗蛋白质含量比小叶买麻藤种仁的高 13.13%,两种买麻藤种仁的粗蛋白质含量低于核桃的(15.20% ~ 22.60%)<sup>[17]</sup>,但高于山核桃、板栗的<sup>[18]</sup>。影响买麻藤种仁口感的主要是可溶性糖含量,垂子买麻藤种仁的可溶性糖含量比小叶买麻藤种仁的高 58.63%,低于常见坚果中核桃(9.15%)、松子(8.21%)、板栗(72.97%)的<sup>[18]</sup>。买麻藤种仁中

还含有一定量的总黄酮,但本研究结果明显低于兰倩等<sup>[11]</sup>的研究结果(12.32%)。垂子买麻藤种仁和小叶买麻藤种仁的粗脂肪含量较低,分别为2.26%和2.48%。因此,买麻藤种仁具有高淀粉、高蛋白质、低脂肪的特点,可作为淀粉、蛋白资源开发利用,不宜作为油料作物开发。

### 2.2.2 氨基酸组成

两种买麻藤种仁的氨基酸组成及含量见表4。

表4 两种买麻藤种仁的氨基酸组成及含量

Table 4 Amino acid composition and content of the seed kernels of two *Gnetum* mg/g

氨基酸	垂子买麻藤	小叶买麻藤
赖氨酸(Lys) *	18.76 ± 0.20 <sup>Aa</sup>	17.78 ± 0.96 <sup>Aa</sup>
亮氨酸(Leu) *	12.31 ± 0.13 <sup>Bb</sup>	15.13 ± 0.81 <sup>Aa</sup>
缬氨酸(Val) *	9.95 ± 0.23 <sup>Bb</sup>	11.77 ± 0.52 <sup>Aa</sup>
苏氨酸(Thr) *	6.57 ± 0.11 <sup>Bb</sup>	8.11 ± 0.41 <sup>Aa</sup>
异亮氨酸(Ile) *	6.34 ± 0.06 <sup>Bb</sup>	7.63 ± 0.34 <sup>Aa</sup>
苯丙氨酸(Phe) *	4.48 ± 0.23 <sup>Bb</sup>	6.08 ± 0.21 <sup>Aa</sup>
甲硫氨酸(Met) *	0.73 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	1.00 ± 0.06 <sup>Aa</sup>
色氨酸(Try) *	0.01 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>Aa</sup>
天冬氨酸(Asp)	17.41 ± 0.24 <sup>Aa</sup>	17.60 ± 0.57 <sup>Aa</sup>
脯氨酸(Pro)	9.29 ± 0.14 <sup>Bb</sup>	14.56 ± 0.39 <sup>Aa</sup>
谷氨酸(Glu)	9.25 ± 0.06 <sup>Bb</sup>	10.93 ± 0.45 <sup>Aa</sup>
丙氨酸(Ala)	8.62 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	10.44 ± 0.68 <sup>Aa</sup>
甘氨酸(Gly)	8.21 ± 0.31 <sup>Aa</sup>	8.99 ± 0.30 <sup>Aa</sup>
精氨酸(Arg)	6.52 ± 0.08 <sup>Bb</sup>	7.47 ± 0.22 <sup>Aa</sup>
丝氨酸(Ser)	6.09 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	7.73 ± 0.33 <sup>Aa</sup>
酪氨酸(Tyr)	4.81 ± 0.22 <sup>Aa</sup>	5.35 ± 0.21 <sup>Aa</sup>
组氨酸(His)	2.74 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	2.68 ± 0.20 <sup>Aa</sup>
胱氨酸(Cys)	0.57 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	0.55 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
γ-氨基丁酸(GABA)	1.98 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.74 ± 0.04 <sup>Bb</sup>
4-羟基脯氨酸(4-Hyp)	0.99 ± 0.00 <sup>Aa</sup>	0.96 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
D-α-氨基丁酸(AABA)	0.01 ± 0.00 <sup>Aa</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>Aa</sup>
总氨基酸	135.66 ± 2.01 <sup>Aa</sup>	155.51 ± 6.75 <sup>Aa</sup>
必需氨基酸	59.17 ± 0.98 <sup>Aa</sup>	67.50 ± 3.31 <sup>Aa</sup>

注: \* 表示必需氨基酸

Note: " \*" indicates essential amino acids

由表4可知,两种买麻藤种仁均含21种氨基酸,除胱氨酸、γ-氨基丁酸、4-羟基脯氨酸、D-α-氨基丁酸外,其余17种是组成蛋白质基本结构单元的氨基酸,说明其所含氨基酸种类较齐全。两种买麻藤种仁的主要氨基酸均包括赖氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、缬氨酸、脯氨酸,这5种氨基酸约占总氨基酸含量的50%。两种买麻藤种仁中均包含8种人体必需氨基酸,约为总氨基酸含量的43%,与FAO/

WHO推荐的人体每日所需摄取的必需氨基酸与总氨基酸比例(40%)十分接近,说明两种买麻藤种仁中蛋白质营养价值较高,其氨基酸组成及比例符合食品的要求<sup>[19]</sup>。小叶买麻藤种仁中的必需氨基酸含量比垂子买麻藤种仁中的高14.08%。亮氨酸、缬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、脯氨酸、谷氨酸、精氨酸、丝氨酸、γ-氨基丁酸等11种氨基酸含量在小叶买麻藤种仁和垂子买麻藤种仁中均呈极显著差异( $p < 0.01$ ),其中垂子买麻藤种仁的γ-氨基丁酸含量极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),其余10种氨基酸含量均极显著低于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),包括6种必需氨基酸。γ-氨基丁酸是一种非蛋白源氨基酸,该氨基酸具有降血压、改善睡眠质量等功能<sup>[20]</sup>,因此垂子买麻藤种仁比小叶买麻藤种仁更具有开发富含γ-氨基丁酸功能性食品的潜力。两种买麻藤种仁的所有氨基酸中赖氨酸含量最高,天门冬氨酸次之,与兰倩等<sup>[11]</sup>对小叶买麻藤的报道不一致,可能与地理气候不同有关。

### 2.2.3 脂肪酸组成

脂肪酸组成是决定本木油料作物果实品质的重要因素,种子在发育过程中,不同植物合成脂肪酸的种类不同<sup>[16]</sup>。两种买麻藤种仁的主要脂肪酸组成及相对含量见表5。

表5 两种买麻藤种仁的主要脂肪酸组成及相对含量

Table 5 Major fatty acid composition and relative content of the seed kernels of two *Gnetum* %

脂肪酸	垂子买麻藤	小叶买麻藤
棕榈酸(C16:0)	37.34 ± 0.46 <sup>Aa</sup>	36.66 ± 0.01 <sup>Aa</sup>
硬脂酸(C18:0)	25.42 ± 0.07 <sup>Aa</sup>	23.69 ± 0.01 <sup>Bb</sup>
花生酸(C20:0)	0.91 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	1.78 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
油酸(C18:1n9c)	12.97 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	17.41 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
反-9-十八碳烯酸(C18:1n9t)	6.87 ± 0.10 <sup>Ab</sup>	8.90 ± 0.34 <sup>Aa</sup>
芥酸(C22:1n9)	0.95 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	1.21 ± 0.08 <sup>Aa</sup>
亚油酸(C18:2n6c)	5.45 ± 0.49 <sup>Aa</sup>	2.09 ± 0.14 <sup>Ab</sup>
α-亚麻酸(C18:3n3)	1.49 ± 0.05 <sup>Aa</sup>	0.90 ± 0.01 <sup>Bb</sup>
γ-亚麻酸(C18:3n6)	2.63 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	0.94 ± 0.01 <sup>Bb</sup>
顺式-8,11,14-二十碳三烯酸(C20:3n6)	3.49 ± 0.09 <sup>Aa</sup>	3.77 ± 0.09 <sup>Aa</sup>
饱和脂肪酸	66.10 ± 0.54 <sup>Aa</sup>	64.75 ± 0.04 <sup>Aa</sup>
单不饱和脂肪酸	20.79 ± 0.04 <sup>Bb</sup>	27.51 ± 0.24 <sup>Aa</sup>
多不饱和脂肪酸	13.11 ± 0.57 <sup>Aa</sup>	7.74 ± 0.21 <sup>Bb</sup>

由表5可知,两种买麻藤种仁中主要脂肪酸均有10种,分别占垂子买麻藤种仁和小叶买麻藤种仁总脂肪酸含量的97.52%和97.35%。两种买麻藤

种仁均以饱和脂肪酸为主,其相对含量无显著差异( $p > 0.05$ ),垂子买麻藤种仁的单不饱和脂肪酸相对含量极显著低于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),多不饱和脂肪酸相对含量极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ )。在饱和脂肪酸中,两种买麻藤种仁的棕榈酸相对含量均最高,且无显著性差异( $p > 0.05$ );在单不饱和脂肪酸中,两种买麻藤种仁的油酸相对含量均最高,且小叶买麻藤种仁的油酸相对含量极显著高于垂子买麻藤种仁的( $p < 0.01$ );在多不饱和脂肪酸中,两种买麻藤种仁的亚油酸相对含量均最高,且垂子买麻藤种仁的亚油酸相对含量显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.05$ )。两种买麻藤种仁中脂肪酸的组成较为丰富,含量最高的棕榈酸是母乳中最重要的饱和脂肪酸<sup>[19]</sup>,含量较高的油酸具有抗氧化、降胆固醇等作用<sup>[21]</sup>,亚油酸是人体必需脂肪酸,对降血脂、降血压等具有促进作用<sup>[22]</sup>。

#### 2.2.4 矿物质元素组成

矿物质元素是人体不可缺少的重要元素之一,在人体内不能合成,需从外界获取。两种买麻藤种仁的矿物质元素组成及含量如表6所示。

表6 两种买麻藤种仁的矿物质元素组成及含量

项目	垂子买麻藤	小叶买麻藤
钾(K)▲	9 524.59 ± 274.26 <sup>Aa</sup>	8 202.91 ± 180.10 <sup>Ab</sup>
磷(P)▲	2 433.12 ± 38.02 <sup>Bb</sup>	2 812.73 ± 29.70 <sup>Aa</sup>
镁(Mg)▲	1 330.71 ± 34.21 <sup>Bb</sup>	1 619.95 ± 22.33 <sup>Aa</sup>
钙(Ca)▲	607.30 ± 11.77 <sup>Aa</sup>	332.66 ± 6.02 <sup>Bb</sup>
钠(Na)▲	4.58 ± 0.24 <sup>Bb</sup>	8.41 ± 0.11 <sup>Aa</sup>
锰(Mn)*	46.44 ± 2.58 <sup>Aa</sup>	27.40 ± 0.76 <sup>Bb</sup>
铁(Fe)*	42.85 ± 3.66 <sup>Aa</sup>	42.15 ± 0.58 <sup>Aa</sup>
锌(Zn)*	10.55 ± 0.17 <sup>Bb</sup>	11.87 ± 0.07 <sup>Aa</sup>
铜(Cu)*	9.57 ± 0.31 <sup>Ab</sup>	12.60 ± 0.46 <sup>Aa</sup>
镍(Ni)*	5.48 ± 0.06 <sup>Aa</sup>	2.94 ± 0.28 <sup>Bb</sup>
硒(Se)*	2.97 ± 0.43 <sup>Aa</sup>	3.79 ± 3.87 <sup>Aa</sup>
铬(Cr)*	15.31 ± 16.12 <sup>Aa</sup>	3.04 ± 0.23 <sup>Aa</sup>
钒(V)*	1.18 ± 0.32 <sup>Aa</sup>	1.41 ± 0.01 <sup>Aa</sup>
钴(Co)*	0.10 ± 0.12	未检出
铋(Bi)	9.12 ± 1.80 <sup>Aa</sup>	10.28 ± 2.22 <sup>Aa</sup>
硼(B)	8.46 ± 0.40 <sup>Aa</sup>	7.88 ± 0.05 <sup>Aa</sup>
铝(Al)	4.05 ± 0.59 <sup>Aa</sup>	11.00 ± 11.89 <sup>Aa</sup>
铅(Pb)	1.93 ± 0.30 <sup>Aa</sup>	1.99 ± 0.03 <sup>Aa</sup>
锶(Sr)*	1.22 ± 0.05 <sup>Bb</sup>	2.26 ± 0.07 <sup>Aa</sup>
砷(As)	0.15 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>Aa</sup>

注:▲表示常量元素,其他为微量元素;\*表示人体必需微量元素

Note: "▲" indicates macronutrients, others are trace elements; "\*" indicates essential trace elements

由表6可知,两种买麻藤种仁中含有丰富的矿物质元素,共检测到20种,包括5种常量元素和15种微量元素。常量元素中,垂子买麻藤种仁的K含量显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.05$ ),Ca含量极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),P、Mg、Na含量均极显著低于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ );垂子买麻藤种仁、小叶买麻藤种仁中各常量元素含量大小排序均为K > P > Mg > Ca > Na,垂子买麻藤种仁中K含量为9 524.59 mg/kg,Na含量为4.58 mg/kg,小叶买麻藤种仁中K含量为8 202.91 mg/kg,Na含量为8.41 mg/kg,与澳洲坚果<sup>[23]</sup>、香榧籽<sup>[24]</sup>同属于高钾低钠食品,对预防高血压和动脉粥样硬化有一定作用。微量元素中,检测到10种必需微量元素,其中:垂子买麻藤种仁中的Mn、Ni含量极显著高于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),Zn、Sr含量极显著低于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.01$ ),Cu含量显著低于小叶买麻藤种仁的( $p < 0.05$ ),其余元素含量与小叶买麻藤种仁的无显著差异( $p > 0.05$ );微量元素中,Mn、Fe的含量排在前2位,垂子买麻藤种仁中Mn含量最高,小叶买麻藤种仁中Fe含量最高,Mn可以增强人体活力,对人体具有保护作用<sup>[25]</sup>,Fe是人体合成血红蛋白必不可少的原料,缺Fe容易导致代谢紊乱<sup>[26]</sup>;两种买麻藤种仁中均含有较高含量的Zn,但低于同属的显轴买麻藤的<sup>[9]</sup>;Se是人类饮食中一种具有生物活性的微量营养素<sup>[27]</sup>,能参与多种生物功能和免疫学功能,有保护心血管、增强免疫力等作用<sup>[28]</sup>,目前我国成人每日Se摄入量在36.99~47.74 μg,低于我国营养学会推荐的Se每日摄入量标准(60 μg)<sup>[28]</sup>,两种买麻藤种仁中富含Se,按每日摄入量标准60 μg计算,食用垂子买麻藤种仁20.20 g或小叶买麻藤种仁15.83 g即可满足需求。在微量元素中,还检测到高含量的Bi、B、Al元素及低含量Pb、As等元素。垂子买麻藤种仁和小叶买麻藤种仁中的Pb含量分别为1.93、1.99 mg/kg,超过了GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》规定的0.2 mg/kg,这可能与采样环境有关。

#### 2.3 相关性分析

植物在生长与成熟过程中,各类物质会发生一定程度的转化<sup>[25]</sup>,对两种买麻藤种仁的基本营养成分(7种)、氨基酸(21种、必需氨基酸及总氨基酸)、脂肪酸(10种)及矿物质元素(20种)60项营养指标进行相关性分析。结果表明,买麻藤种仁的60项营养指标之间存在一定程度的相关性。在基本营养成分中,干物质、淀粉、粗脂肪、粗纤维4个指标间及粗蛋白质、可溶性糖、总黄酮3个指标间均呈现极强

的正相关 ( $R > 0.9$ ), 其余指标间呈极强的负相关 ( $R < -0.9$ ), 这种关联可能反映了买麻藤种仁成熟过程中营养素间的相互转化过程<sup>[24]</sup>。买麻藤种仁中多数氨基酸含量间呈现极强的正相关, 与王蕤等<sup>[24]</sup>在香榧籽中的研究结果一致。买麻藤种仁各脂肪酸相对含量间呈现极强的相关性, 说明各脂肪酸间存在相互作用。在矿物质元素中, 常量元素间呈现极强相关性, 说明制约性较强, 而多数微量元素间的相关性弱, 可将其作为良种选育的考虑因素。在 60 项营养品质指标的相关性分析中, 多数指标间呈弱相关, 有约 40% 的营养指标间具有极强的相关性, 这可能是由于化学性质非常相似的离子间相互作用的结果<sup>[29]</sup>。试验结果明确了各营养指标间的相关性, 为改善买麻藤种仁营养组分、提高其生物活性等提供了理论基础。

### 3 结论

在种仁长、宽、长宽比、千粒重形态指标上, 垂子买麻藤种仁均极显著高于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ ); 在干物质、淀粉、粗脂肪、粗纤维含量上, 小叶买麻藤种仁均极显著高于垂子买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ ), 在粗蛋白质、可溶性糖、总黄酮含量上, 垂子买麻藤种仁均极显著高于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ )。在两种买麻藤种仁中均检测出 21 种氨基酸, 赖氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、缬氨酸、脯氨酸含量较高, 11 种氨基酸含量在小叶买麻藤种仁和垂子买麻藤种仁中呈极显著差异 ( $p < 0.01$ ), 其中小叶买麻藤种仁中有 10 种氨基酸含量极显著高于垂子买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ ), 其余 10 种氨基酸含量无显著差异 ( $p > 0.05$ )。两种买麻藤种仁中均有 10 种主要脂肪酸, 以饱和脂肪酸为主, 其含量无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 垂子买麻藤种仁的单不饱和脂肪酸含量极显著低于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ ), 多不饱和脂肪酸含量极显著高于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ )。两种买麻藤种仁中检出 20 种矿物质元素, 垂子买麻藤种仁中的 Ca、Mn、Ni 含量极显著高于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ ), K 含量显著高于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.05$ ), P、Mg、Na、Zn、Sr 含量极显著低于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.01$ ), Cu 含量显著低于小叶买麻藤种仁的 ( $p < 0.05$ ), 其余元素含量无显著差异 ( $p > 0.05$ )。相关性分析结果显示, 多数营养品质指标间呈弱相关, 有约 40% 的指标间具有极强的相关性。以上结果表明, 两种买麻藤种仁在形态指标和营养指标中均存在明显差异, 垂子买麻藤比小叶买麻藤更适合用于蛋白资源、 $\gamma$ -氨基丁酸、多不饱和脂肪酸及 Ca、Mn、Ni 元素等

的开发利用, 小叶买麻藤比垂子买麻藤更适合用于淀粉资源、必需氨基酸、单不饱和脂肪酸及 P、Mg、Na、Zn、Sr 元素的开发利用。

### 参考文献:

- [1] 史胜青, 刘建锋, 江泽平. 买麻藤科植物研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(5): 694-699.
- [2] 邓楠, 史胜青, 刘建锋, 等. 大仔买麻藤在两种栽培环境下叶片的营养成分比较[J]. 热带亚热带植物学报, 2014, 22(6): 584-589.
- [3] 陈丽君. 垂子买麻藤的化学成分及其抗耐甲氧西林金葡菌的活性研究[D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2016.
- [4] LIU A L, YANG F, ZHU M, et al. *In vitro* anti-influenza viral activities of stilbenoids from the lianas of *Gnetum pendulum*[J]. *Planta Med*, 2010, 76(16): 1874-1876.
- [5] 严其伟. 小叶买麻藤化学成分及抗炎活性的研究[D]. 广西桂林: 广西师范大学, 2020.
- [6] 陈丽君. 垂子买麻藤中抗菌化学成分的再研究[J]. 药学进展, 2014, 38(8): 597-601.
- [7] DENG N, LIU C, CHANG E, et al. High temperature and UV - C treatments affect stilbenoid accumulation and related gene expression levels in *Gnetum parvifolium*[J]. *Electron J Biotechnol*, 2017, 25: 43-49.
- [8] TANG X, TANG P, MA L, et al. Screening and evaluation of xanthine oxidase inhibitors from *Gnetum parvifolium* in China[J/OL]. *Molecules*, 2019, 24(14): 2671[2024-01-07]. <https://doi.org/10.3390/molecules24142671>.
- [9] BHAT R, BINTI YAHYA N. Evaluating belinjau (*Gnetum gnemon* L.) seed flour quality as a base for development of novel food products and food formulations[J]. *Food Chem*, 2014, 156: 42-49.
- [10] 兰倩, 史胜青, 刘建锋, 等. 海南省小叶买麻藤种子形态及营养成分研究[J]. 植物研究, 2013, 33(5): 616-622.
- [11] 兰倩, 刘建锋, 史胜青, 等. 小叶买麻藤种子营养及药用成分分析[J]. 林业科学研究, 2014, 27(3): 441-444.
- [12] 武平, 赵文婧, 徐晓娇, 等. 测定葡萄酒中总糖方法的探讨[J]. 中国酿造, 2011, 30(1): 163-165.
- [13] BAO Y, BOEREN S, ERTBJERG P. Myofibrillar protein oxidation affects filament charges, aggregation and water-holding[J]. *Meat Sci*, 2018, 135: 102-108.
- [14] LI S S, YUAN R Y, CHEN L G, et al. Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) cultivars by GC-MS[J]. *Food Chem*, 2015, 173: 133-140.
- [15] 王震, 许芳芳, 索建林. 不同种源乌柏种子形态特征及主要营养成分分析[J]. 农业与技术, 2023, 43(12): 38-40.

(下转第 119 页)

- [17] 刘玉兰,任我行,马宇翔,等. 吸附法脱除大豆油中3-氯丙醇酯及缩水甘油酯的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(11): 57-62.
- [18] LONG C, LU Z, LI A, et al. Adsorption of reactive dyes onto polymeric adsorbents: Effect of pore structure and surface chemistry group of adsorbent on adsorptive properties [J]. Sep Purif Technol, 2005, 44(1): 91-96.
- [19] NUNELL G V, FERNÁNDEZ M E, BONELLI P R, et al. Conversion of biomass from an invasive species into activated carbons for removal of nitrate from wastewater [J]. Biomass Bioenerg, 2012, 44: 87-95.
- [20] The American Oil Chemists Society. AOCS official method cd 29a-13: 2- and 3-MCPD Fatty acid esters and glycidol fatty acid esters in edible oils and fats by acid transesterification and GC/MS [S]. Champaign, IL: AOCS, 2013.
- [21] 杨威,刘辉,雷芬芬,等. 花生油制取工艺主要工段3,4-苯并(a)芘及3-氯丙醇酯的产生及脱除[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 27-35.
- [22] 王格平,刘国琴,林云伟,等. 吸附法降低食用油脂中缩水甘油酯的含量及其动力学研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 171-178.
- [23] 任我行. 油脂精炼过程3-MCPD酯和缩水甘油酯的控制与脱除研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- [24] CHENG W, LIU G, WANG X, et al. Adsorption removal of glycidyl esters from palm oil and oil model solution by using acid-washed oil palm wood-based activated carbon: Kinetic and mechanism study [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(44): 9753-9762.
- [25] RESTIAWATY E, MAULANA A, UMI CULSUM N T, et al. The removal of 3-monochloropropane-1,2-diol ester and glycidyl ester from refined-bleached and deodorized palm oil using activated carbon [J]. RSC Adv, 2021, 11(27): 16500-16509.
- [26] SHIMIZU M, MORIWAKI J, SHIIBA D, et al. Elimination of glycidyl palmitate in diolein by treatment with activated bleaching earth [J]. J Oleo Sci, 2012, 61(1): 23-28.
- [27] 陶梅,梁尚文. 油泥吸附剂孔隙特征对油吸附性能的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(7): 4103-4111.
- [28] ZHANG W, CHANG Q G, LIU W D, et al. Selecting activated carbon for water and wastewater treatability studies [J]. Environ Prog, 2007, 26(3): 289-298.
- [29] 郑婧,乔俊莲,林志芬. 活性炭的改性及吸附应用进展[J]. 现代化工, 2019, 39(S1): 53-57.
- [30] 雷灿. 活性炭表面结构及官能团的归一化实验研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [31] 刘寒冰,杨兵,薛南冬. 酸碱改性活性炭及其对甲苯吸附的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(9): 3670-3678.
- [32] LIU S X, CHEN X, CHEN X Y, et al. Activated carbon with excellent chromium(VI) adsorption performance prepared by acid-base surface modification [J]. J Hazard Mater, 2007, 141(1): 315-319.
- 
- (上接第90页)
- [16] 郝晨旭. 不同地区文冠果种实性状及种仁营养成分含量差异性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2022.
- [17] 邓加林,潘庆牧,刘安萱. 国内16个核桃品种主要营养成分特性研究[J]. 食品与发酵科技, 2023, 59(3): 111-115.
- [18] 张明霞,庞建光,王秀梅,等. 河北山区常见坚果主要营养及活性成分分析[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 333-336.
- [19] 邱国玉,张鑫,王小芳,等. 5种油橄榄果营养成分分析与品质综合评价[J]. 中国油脂, 2024, 49(4): 145-152.
- [20] 姜秀杰,许庆鹏,张家瑜,等. 低氧联合酸胁迫红小豆/绿豆萌发富集GABA及富含GABA芽豆复配米饭的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2024, 45(11): 151-158.
- [21] 柴春山,莫保儒,蔡国军,等. 甘肃迭部野生西康扁桃种仁油理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(6): 98-105.
- [22] 党佳敏,杜双奎,王丽英. 玉米源活性肽对脂质过氧化的抑制作用研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(11): 60-68.
- [23] 张国昌,周启武,黄飞燕,等. 沧州市8个主栽澳洲坚果品种的果仁品质分析与综合评价[J]. 西部林业科学, 2023, 52(1): 69-76.
- [24] 王蕤,王玫鹃,汤富彬,等. 浙江省不同地区香榧生籽营养品质差异性分析与评价[J]. 核农学报, 2021, 35(11): 2578-2588.
- [25] 吕小菊,夏建平. 乌龙茶中微量元素含量对人体健康的影响研究[J]. 食品安全导刊, 2021(9): 13-14.
- [26] 赵大洲. 运用紫外分光光度法测定枣肉、枣核的铁元素含量[J]. 轻工学报, 2019, 34(6): 9-14.
- [27] RADOMSKA D, CZARNOMYSY R, RADOMSKI D, et al. Selenium as a bioactive micronutrient in the human diet and its cancer chemopreventive activity [J/OL]. Nutrients, 2021, 13(5): 1649 [2024-01-07]. <https://doi.org/10.3390/nu13051649>.
- [28] 王艺霖,李彦青,黄咏梅,等. 微量元素硒在薯类作物中的研究进展[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1-20. (2023-07-11) [2024-01-07]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20230707.0848.002.html>.
- [29] 师江,李倩,李维峰,等. 不同产地紫米营养成分比较及其相关性分析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(11): 2324-2333.