

# 不同辣木种质资源叶片氨基酸组成及营养评价

杨 焱<sup>1</sup>, 杨朴丽<sup>1</sup>, 张祖兵<sup>1</sup>, 张阳梅<sup>1</sup>,

彭志东<sup>2</sup>, 胡永亮<sup>3</sup>, 黄家卫<sup>3</sup>

1. 云南省热带作物科学研究所, 云南 景洪 666100; 2. 西双版纳云垦澳洲坚果科技开发有限公司, 云南 景洪 666100;  
3. 云南省德宏热带农业科学研究所, 云南 瑞丽 678600

**摘要:** 测定 10 份辣木种质资源叶片的氨基酸质量分数、可溶性糖、还原糖、总黄酮、粗脂肪、粗多糖、维生素 E、钾、钙、镁、铜、锰、锌、铁等主要营养成分, 进行 14 项品质指标的相关性分析、主成分分析和聚类分析, 评价不同种质的综合品质。结果表明: 10 份种质叶片中的氨基酸种类齐全且质量分数丰富, 总量介于 16.00%~26.02% 之间, 均含有 7 种人体必需氨基酸; 营养物质质量分数由高到低依次为氨基酸总量、可溶性糖、还原糖、粗多糖、粗脂肪、总黄酮、维生素 E, 维生素 E 质量分数最低, 为 0.06 mg/hg~0.72 mg/hg, 不同辣木矿质元素质量分数由高到低依次为钙、钾、镁、锰、铁、锌、铜、钙质量分数最高, 为 2.66 g/hg~5.33 g/hg; 主成分分析结果显示, 将 14 个营养指标简化成 5 个主成分, 其累计贡献率为 92.93%, 评价出 LM009, LM006, LM008 和 LM010 这 4 份种质的营养品质较高。10 份辣木种质资源可聚为 2 类, LM001 和 LM008 聚为一类, 剩余的 8 份聚为一类。

**关键词:** 辣木; 种质资源; 氨基酸; 营养成分; 评价

**中图分类号:** S59

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2020)06-0020-11

辣木原产于印度北部喜马拉雅山脉和非洲地区, 全世界有 14 个种<sup>[1-2]</sup>。我国于 20 世纪 60 年代引入辣木, 迄今为止, 多油辣木(*Moringa oleifera* Lam.)、狭瓣辣木(*Moringa stenopetala* Cufod.)和 PKM1 是国内外分布最多、种植最广且研究最多的 3 种<sup>[2-3]</sup>。辣木与西洋参、灵芝并称为世界植物三宝<sup>[4]</sup>, 其生态适应力强且营养全面, 辣木叶黄酮对胰脂肪酶具有较好的抑制作用, 可显著抑制高脂膳食小鼠的体质量增长, 降低肝脏指数, 降低血清中总胆固醇、甘油三酯, 此外, 小鼠的高密度脂蛋白胆固醇水平和 SOD 活性都有所提升<sup>[5-6]</sup>。前人研究发现, 辣木叶多糖 MLP100-3 具有显著的抗炎活性, 辣木叶多糖提取物还对 ABTS, DPPH 等羟自由基及超氧阴离子具有很强的清除作用<sup>[7-8]</sup>。因此辣木是一种极具开发潜力的速生功能型树种, 具有显著减肥、降脂、延缓皮肤衰老的功效。

早在 2005 年, 周才琼等<sup>[9]</sup>通过对引进栽培的印度辣木进行营养成分分析, 得出其所含的蛋白质、维生素 C、 $\beta$ -胡萝卜素、钙、铁等均高于常见的营养价值较高的叶菜类, 辣木还含 8 种必需氨基酸, 赖氨酸相对较低, 蛋白质营养价值与精米相当。近年来, 有研究学者指出, 辣木叶的营养价值可能随品种和来源不同而有所变化<sup>[10]</sup>。张肖娟等<sup>[11]</sup>研究发现不同来源的辣木叶中  $\gamma$ -氨基丁酸质量分数差异很大, 质量分数最高的是源于印度的辣木叶, 最低的为源于临沧的辣木叶,  $\gamma$ -氨基丁酸具有增进脑活力、改善睡眠、调节激素分泌等作用。为了解和掌握不同种源辣木引进后在同一生长环境下的氨基酸组成和营养成分情况, 本研究对收集保存的 10 份辣木种质资源叶片中所含的氨基酸组成及质量分数、可溶性糖、还原糖、总黄酮、粗脂肪、粗多糖、维生素 E、钾、钙、镁、铜、锰、锌、铁等 14 项内在营养物质进行测定和评价, 研究各种质间

辣木品质的差异,以期提高辣木的利用效率,为构建辣木的营养成分数据库提供资料,为进一步选育辣木优良品种提供参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

供试辣木材料共 10 份(表 1),均保存在云南省热带作物科学研究所辣木种质资源保存基地.各种质间树龄相同,树体大小相似.

表 1  10 份供试辣木种质资源相关信息

| 编号    | 种质名称                                           | 来源地  | 花色  | 种子颜色 |
|-------|------------------------------------------------|------|-----|------|
| LM001 | 狭瓣辣木( <i>M. stenopetala</i> (Baker f.) Cufod.) | 美国   | 白色  | 乳白色  |
| LM002 | 北方辣木( <i>M. concanensis</i> Nimmo)             | 中国台湾 | 淡红  | 白色   |
| LM003 | 北方辣木( <i>M. concanensis</i> Nimmo)             | 中国云南 | 淡红  | 白色   |
| LM004 | 多油辣木( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 美国   | 淡红  | 褐色   |
| LM005 | PKM1( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 美国   | 白色  | 褐色   |
| LM006 | 多油辣木( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 古巴   | 淡红  | 深褐色  |
| LM007 | PKM1( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 美国   | 白色  | 褐色   |
| LM008 | PKM2( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 印度   | 白色  | 褐色   |
| LM009 | PKM1( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 中国云南 | 白色  | 黄褐色  |
| LM010 | PKM1( <i>M. oleifera</i> Lam.)                 | 中国云南 | 淡绿色 | —    |

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 叶片营养指标测定

根据食品安全国家标准,氨基酸质量分数参照 GB/T 5009.124-2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》,可溶性糖、还原糖质量分数的测定参照 NY/T 2742-2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》,总黄酮质量分数的测定参照 SN/T 4592-2016《出口食品中总黄酮的测定》采用以芦丁为标准的三氧化铝比色法测定,粗脂肪质量分数测定采用索氏抽提法,参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》,粗多糖测定采用 SN/T 4260-2015《出口植物源食品中粗多糖的测定 苯酚-硫酸法》,根据 GB 5009.82-2016《食品安全国家标准食品中维生素 A,D,E 的测定》测定维生素 E 的质量分数.

#### 1.2.2 矿质营养测定

全钾质量分数测定采用 GB 5009.91-2017《食品安全国家标准食品中钾、钠的测定》中的火焰原子吸收光谱法,钙、镁、铜、锰、锌和铁质量分数测定分别采用 GB 5009.92-2016《食品中钙的测定》、GB 5009.241-2017《食品中镁的测定》、GB 5009.13-2017《食品中铜的测定》、GB 5009.242-2017《食品中锰的测定》、GB 5009.14-2017《食品中锌的测定》和 GB 5009.90-2016《食品中铁的测定》.

### 1.3 数据处理分析

所有数据采用 Excel 2010 进行统计,相关性分析、主成分分析和聚类分析由 SPSS 23.0 完成.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同辣木种质叶中氨基酸组成和质量分数分析

#### 2.1.1 不同辣木种质叶片中氨基酸质量分数比较

由表 2 可知,辣木不同种质叶片中均含有 17 种氨基酸,但氨基酸质量分数存在差异,氨基酸总质量分数在 16.00%~26.02%之间.在 17 种氨基酸中,包含了除色氨酸外的其余 7 种人体必需氨基酸、2 种半必需氨基酸(胱氨酸、络氨酸)及营养必需氨基酸(精氨酸、组氨酸),其中必需氨基酸的质量分数范围为 6.12%~9.82%.必需氨基酸总质量分数以 LM008 最高,其次是 LM007,质量分数最低的是 LM003.从表 2 中还可看出,天冬氨酸和谷氨酸是 17 种氨基酸中质量分数最高的 2 种,其平均值分别为 2.67%和 2.57%,占氨基酸总量的 12.43%和 11.96%.天冬氨酸和谷氨酸质量分数高,说明辣木叶中鲜味氨基酸质量分数丰富.相较其余 9 份种质,LM008 的谷氨酸质量分数最丰富,达 3.14%,天冬氨酸较丰富,为 3.25%,而 LM003 的天冬氨酸和谷氨酸质量分数最低,分别为 1.76%和 1.89%.

表 2 不同辣木种质叶中氨基酸质量分数

%

| 氨基酸组成 | 种质编号  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | LM001 | LM002 | LM003 | LM004 | LM005 | LM006 | LM007 | LM008 | LM009 | LM010 |
| 天冬氨酸  | 3.78  | 2.11  | 1.76  | 2.79  | 2.49  | 2.46  | 3.02  | 3.25  | 2.98  | 2.11  |
| 苏氨酸*  | 1.05  | 0.86  | 0.80  | 1.21  | 1.15  | 1.05  | 1.24  | 1.24  | 1.08  | 0.86  |
| 丝氨酸   | 1.38  | 0.98  | 0.89  | 1.22  | 1.15  | 1.12  | 1.26  | 1.32  | 1.14  | 0.98  |
| 谷氨酸   | 2.41  | 2.17  | 1.89  | 2.80  | 2.68  | 2.81  | 3.13  | 3.14  | 2.53  | 2.17  |
| 甘氨酸   | 1.01  | 0.96  | 0.91  | 1.40  | 1.33  | 1.24  | 1.41  | 1.42  | 1.24  | 0.96  |
| 丙氨酸   | 1.20  | 1.18  | 1.06  | 1.70  | 1.64  | 1.56  | 1.78  | 1.83  | 1.48  | 1.18  |
| 胱氨酸** | 0.28  | 0.23  | 0.24  | 0.27  | 0.24  | 0.28  | 0.31  | 0.32  | 0.29  | 0.23  |
| 缬氨酸*  | 1.14  | 0.96  | 0.90  | 1.39  | 1.32  | 1.33  | 1.42  | 1.44  | 1.22  | 0.96  |
| 蛋氨酸*  | 0.24  | 0.25  | 0.26  | 0.35  | 0.35  | 0.32  | 0.37  | 0.36  | 0.32  | 0.25  |
| 异亮氨酸* | 0.97  | 0.82  | 0.76  | 1.20  | 1.14  | 1.15  | 1.24  | 1.25  | 1.05  | 0.82  |
| 亮氨酸*  | 1.46  | 1.40  | 1.38  | 2.07  | 2.04  | 2.05  | 2.19  | 2.16  | 1.85  | 1.40  |
| 酪氨酸** | 0.84  | 0.78  | 0.74  | 1.10  | 1.07  | 1.00  | 1.14  | 1.16  | 1.03  | 0.78  |
| 苯丙氨酸* | 1.44  | 1.27  | 1.13  | 1.70  | 1.69  | 1.59  | 1.85  | 1.92  | 1.58  | 1.27  |
| 组氨酸   | 0.64  | 0.48  | 0.47  | 0.68  | 0.63  | 0.62  | 0.70  | 0.71  | 0.61  | 0.48  |
| 赖氨酸*  | 1.00  | 0.90  | 0.89  | 1.35  | 1.33  | 1.28  | 1.42  | 1.43  | 1.24  | 0.90  |
| 精氨酸   | 1.27  | 1.08  | 1.06  | 1.52  | 1.53  | 1.41  | 1.63  | 1.74  | 1.45  | 1.08  |
| 脯氨酸   | 1.02  | 0.93  | 0.87  | 1.32  | 1.26  | 1.19  | 1.34  | 1.32  | 1.16  | 0.93  |
| 必需氨基酸 | 7.30  | 6.46  | 6.12  | 9.27  | 9.02  | 8.77  | 9.72  | 9.82  | 8.35  | 6.46  |
| 氨基酸总量 | 21.12 | 17.36 | 16.00 | 24.07 | 23.04 | 22.45 | 25.44 | 26.02 | 22.24 | 17.36 |

注：\* 为必需氨基酸，\*\* 为半必需氨基酸。

2.1.2 不同辣木种质叶片中必需氨基酸组成评价

由不同种质叶片中各氨基酸的质量分数计算出必需氨基酸占总氨基酸的质量分数，再与世界卫生组织(WHO)/联合国粮食及农业组织(FAO)模式进行比较，结果见表 3。由表 3 可以看出，绝大多数氨基酸的质量分数均高于 WHO/FAO 标准模式谱。除蛋氨酸+胱氨酸外，质量分数由高到低依次为(苯丙氨酸+酪氨酸)、亮氨酸、缬氨酸、赖氨酸、苏氨酸、异亮氨酸。苯丙氨酸+酪氨酸质量分数最高，达 10.79%~11.98%，是建议值的 1.80~2.00 倍。10 份种质中，以 LM005 和 LM008 中质量分数高，分别为 11.98%和 11.85%，LM001 最低，为 10.79%，也远远高于 WHO/FAO 推荐值，可见辣木叶片中必需氨基酸的质量分数充足、比例适宜，能满足蛋白质合成的要求。

表 3 不同种质辣木叶片中人体必需氨基酸占比与 WHO/FAO 推荐的氨基酸模式的比较

%

| 必需氨基酸    | LM001 | LM002 | LM003 | LM004 | LM005 | LM006 | LM007 | LM008 | LM009 | LM010 | WHO/FAO<br>推荐值 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 苏氨酸      | 4.99  | 4.98  | 4.98  | 5.01  | 5.00  | 4.69  | 4.87  | 4.77  | 4.87  | 4.98  | 4.0            |
| 缬氨酸      | 5.40  | 5.55  | 5.62  | 5.77  | 5.71  | 5.93  | 5.58  | 5.52  | 5.46  | 5.55  | 5.0            |
| 蛋氨酸+胱氨酸  | 2.43  | 2.48  | 3.11  | 2.59  | 2.55  | 2.66  | 2.65  | 2.58  | 2.74  | 2.78  | 3.5            |
| 异亮氨酸     | 4.59  | 4.70  | 4.72  | 4.98  | 4.96  | 5.14  | 4.88  | 4.80  | 4.74  | 4.70  | 4.0            |
| 亮氨酸      | 6.91  | 8.08  | 8.64  | 8.60  | 8.87  | 9.11  | 8.59  | 8.39  | 8.30  | 8.08  | 7.0            |
| 苯丙氨酸+酪氨酸 | 10.79 | 11.76 | 11.72 | 11.63 | 11.98 | 11.53 | 11.74 | 11.85 | 11.75 | 11.76 | 6.0            |
| 赖氨酸      | 4.74  | 5.16  | 5.58  | 5.63  | 5.79  | 5.69  | 5.59  | 5.51  | 5.58  | 5.16  | 5.5            |

2.1.3 氨基酸比值系数法对辣木种质蛋白质营养价值的评价

根据 WHO/FAO 提出的平衡理论计算出 10 份辣木种质叶中必需氨基酸(EAA)的氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)和比值系数分(SRC)，评价辣木种质蛋白质营养价值。在该评价体系中，RAA 及 RC 的数值越接近 1，说明该必需氨基酸越接近 WHO/FAO 推荐值，当  $RC>1$  时，表示该必需氨基酸相对过剩， $RC<1$  时则表明该必需氨基酸相对不足，RC 值最小者为该蛋白第一限制氨基酸<sup>[12]</sup>；蛋白

质营养评价最重要的指标是 *RC* 和 *SRC*, 当 *SRC* 的数值越接近 100, 说明该食品中各必需氨基酸的质量分数越均衡, 其营养价值越高<sup>[13]</sup>. 不同辣木种质叶氨基酸的 *SRC*, *RC* 和 *RAA* 的分析结果见表 4, 不同辣木种质 *RC* 值最小的都是蛋氨酸+胱氨酸, 说明其为辣木第一限制氨基酸. 不同辣木种质氨基酸的 *SRC* 为 68.36~72.40, 其中 LM003 氨基酸的 *SRC* 最高, 为 72.40, LM008 最低, 为 68.36, 总体来说, 不同辣木叶营养价值均较高.

表 4  不同辣木种质叶各氨基酸的 *RAA*, *RC*, *SRC* 分析结果

| 编号     | 项目  | WHO/FAO 必需氨基酸参考模式 |      |             |           |      |              |      | SRC   |
|--------|-----|-------------------|------|-------------|-----------|------|--------------|------|-------|
|        |     | 苏氨酸               | 缬氨酸  | 蛋氨酸+<br>胱氨酸 | 异亮<br>氨基酸 | 亮氨酸  | 苯丙氨酸+<br>酪氨酸 | 赖氨酸  |       |
| LM001  | RAA | 1.25              | 1.08 | 0.70        | 1.15      | 0.99 | 1.80         | 0.86 | 68.73 |
|        | RC  | 1.12              | 0.97 | 0.63        | 1.03      | 0.89 | 1.61         | 0.77 |       |
| LM002  | RAA | 1.24              | 1.11 | 0.79        | 1.18      | 1.15 | 1.96         | 0.94 | 69.02 |
|        | RC  | 1.04              | 0.93 | 0.66        | 0.99      | 0.96 | 1.64         | 0.79 |       |
| LM003  | RAA | 1.25              | 1.12 | 0.89        | 1.18      | 1.23 | 1.95         | 1.01 | 72.40 |
|        | RC  | 1.01              | 0.91 | 0.72        | 0.96      | 1.00 | 1.58         | 0.82 |       |
| LM004  | RAA | 1.25              | 1.15 | 0.74        | 1.25      | 1.23 | 1.94         | 1.02 | 70.25 |
|        | RC  | 1.02              | 0.94 | 0.60        | 1.02      | 1.00 | 1.58         | 0.83 |       |
| LM005  | RAA | 1.25              | 1.14 | 0.73        | 1.24      | 1.27 | 2.00         | 1.05 | 69.19 |
|        | RC  | 1.01              | 0.92 | 0.59        | 1.00      | 1.02 | 1.61         | 0.85 |       |
| LM006  | RAA | 1.17              | 1.19 | 0.76        | 1.29      | 1.30 | 1.92         | 1.03 | 71.33 |
|        | RC  | 0.95              | 0.96 | 0.61        | 1.04      | 1.05 | 1.55         | 0.83 |       |
| LM007  | RAA | 1.22              | 1.12 | 0.76        | 1.22      | 1.23 | 1.96         | 1.02 | 69.76 |
|        | RC  | 1.00              | 0.92 | 0.62        | 1.00      | 1.01 | 1.61         | 0.84 |       |
| LM008  | RAA | 1.19              | 1.10 | 0.74        | 1.20      | 1.20 | 1.98         | 1.00 | 68.36 |
|        | RC  | 0.99              | 0.92 | 0.62        | 1.00      | 1.00 | 1.65         | 0.83 |       |
| LM009  | RAA | 1.22              | 1.09 | 0.78        | 1.18      | 1.19 | 1.96         | 1.02 | 69.70 |
|        | RC  | 1.01              | 0.90 | 0.65        | 0.98      | 0.99 | 1.63         | 0.85 |       |
| LM0010 | RAA | 1.24              | 1.11 | 0.79        | 1.18      | 1.15 | 1.96         | 0.94 | 69.02 |
|        | RC  | 1.04              | 0.93 | 0.66        | 0.99      | 0.96 | 1.64         | 0.79 |       |

注: *RAA* = 待评蛋白质中某 EAA 质量分数/(WTO/FAO)模式中相应的氨基酸质量分数; *RC* = 待评蛋白质中某 EAA 的 *RAA*/各氨基酸 *RAA* 的平均值; *SRC* =  $100 - CV \times 100$ , 其中 *CV* 为 *RC* 的变异系数, *CV* = 标准差/均数.

2.2  不同辣木资源营养品质分析

10 份辣木种质资源叶片的 7 项营养物质质量分数(可溶性糖、还原糖、总黄酮、粗脂肪、粗多糖、维生素 E 和氨基酸)的测定结果见表 5. 由表 5 可知, 氨基酸的质量分数最高, 在 16.00%~26.02%之间, 以 LM008 质量分数最高, 达 26.02%; 其次是可溶性糖质量分数, 为 4.07%~7.01%之间, 以 LM002 最高, LM009 最低; 其余指标质量分数由高到低依次为还原糖、粗多糖、粗脂肪、总黄酮、维生素 E. 维生素 E 质量分数较低, 都在 1 mg/hg 以下, 各种质间差异明显, LM009 质量分数相对最高为 0.72 mg/hg, LM002 质量分数最低为 0.06 mg/hg. 从表 5 中还可看出, 维生素 E 质量分数在种质间的变异程度最大, 变异系数为 57.14%, 粗脂肪的变异程度最小, 变异系数为 10.45%, 从变异系数来看, 不同辣木种质资源叶片的 7 个方面的品质性状变异程度均不大.

表 5 辣木种质资源叶片营养成分质量分数

| 编号     | 可溶性糖/<br>% | 还原糖/<br>% | 总黄酮/<br>% | 粗脂肪/<br>(g·hg <sup>-1</sup> ) | 粗多糖/<br>% | 维生素 E/<br>(mg·hg <sup>-1</sup> ) | 氨基酸/<br>% |
|--------|------------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| LM001  | 5.50       | 2.72      | 1.27      | 2.06                          | 2.43      | 0.52                             | 21.12     |
| LM002  | 7.01       | 4.92      | 2.74      | 1.90                          | 2.81      | 0.06                             | 17.36     |
| LM003  | 6.88       | 3.92      | 1.25      | 2.23                          | 2.59      | 0.20                             | 16.00     |
| LM004  | 5.89       | 3.73      | 2.39      | 2.32                          | 2.78      | 0.30                             | 24.07     |
| LM005  | 4.33       | 2.21      | 1.35      | 1.87                          | 2.66      | 0.19                             | 23.04     |
| LM006  | 4.62       | 2.93      | 2.14      | 2.64                          | 3.73      | 0.69                             | 22.45     |
| LM007  | 4.12       | 2.73      | 1.66      | 2.38                          | 2.62      | 0.29                             | 25.44     |
| LM008  | 4.08       | 2.33      | 1.85      | 2.13                          | 3.01      | 0.57                             | 26.02     |
| LM009  | 4.07       | 1.93      | 2.59      | 2.31                          | 3.05      | 0.72                             | 22.24     |
| LM010  | 5.81       | 3.27      | 2.51      | 2.14                          | 4.08      | 0.66                             | 17.36     |
| 最小值    | 4.07       | 1.93      | 1.25      | 1.87                          | 2.43      | 0.06                             | 16.00     |
| 最大值    | 7.01       | 4.92      | 2.74      | 2.64                          | 4.08      | 0.72                             | 26.02     |
| 标准差    | 1.15       | 0.91      | 0.58      | 0.23                          | 0.53      | 0.24                             | 3.51      |
| 平均值    | 5.23       | 3.07      | 1.98      | 2.20                          | 2.98      | 0.42                             | 21.51     |
| 变异系数/% | 21.99      | 29.64     | 29.29     | 10.45                         | 17.79     | 57.14                            | 16.32     |

2.3 矿质元素质量分数分析

由表 6 可知,辣木中含有丰富的矿质元素. 分析不同辣木种质叶片中所含的矿质元素种类及质量分数,结果表明,10 份辣木种质叶片中矿质元素质量分数均以钙质量分数最高,说明辣木叶片中富含钙元素,所测 10 份辣木种质叶中钙质量分数范围在 2.66~5.33 g/hg 之间,平均质量分数达 4.16 g/hg,其中,LM010 的钙质量分数最高,LM004 的钙质量分数最低. 其次是钾元素质量分数,均值达 1.68 g/hg. 辣木中还含有镁、铜、锰、锌和铁,不同辣木矿质元素质量分数由高到低依次为钙、钾、镁、锰、铁、锌、铜. 分析结果还发现,不同辣木种质间锰质量分数的变异程度最大,变异系数为 95.90%,说明不同种质间锰元素质量分数差异极大,LM008 中锰质量分数最高,达 518.84 mg/kg,其次是 LM001,质量分数达 479.46 mg/kg,LM003 中锰质量分数最低,仅 41.28 mg/kg.

表 6 矿质元素质量分数分析

| 编号     | 钾/<br>(g·hg <sup>-1</sup> ) | 钙/<br>(g·hg <sup>-1</sup> ) | 镁/<br>(g·hg <sup>-1</sup> ) | 铜/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 锰/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 锌/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 铁/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| LM001  | 1.71                        | 3.58                        | 0.62                        | 8.11                         | 479.46                       | 26.87                        | 64.98                        |
| LM002  | 2.58                        | 3.78                        | 0.37                        | 9.44                         | 53.23                        | 21.42                        | 75.69                        |
| LM003  | 1.77                        | 3.54                        | 0.47                        | 6.99                         | 41.28                        | 12.48                        | 53.01                        |
| LM004  | 2.03                        | 2.66                        | 0.21                        | 8.10                         | 84.20                        | 20.17                        | 77.64                        |
| LM005  | 1.73                        | 4.63                        | 0.57                        | 7.73                         | 97.46                        | 19.76                        | 87.15                        |
| LM006  | 1.26                        | 4.32                        | 0.44                        | 7.13                         | 273.12                       | 21.57                        | 87.27                        |
| LM007  | 1.32                        | 4.82                        | 0.69                        | 6.09                         | 86.45                        | 22.45                        | 76.67                        |
| LM008  | 1.29                        | 4.20                        | 0.45                        | 7.62                         | 518.84                       | 25.78                        | 78.73                        |
| LM009  | 1.88                        | 4.78                        | 0.16                        | 7.38                         | 51.51                        | 20.70                        | 101.01                       |
| LM010  | 1.25                        | 5.33                        | 0.44                        | 9.29                         | 183.92                       | 14.79                        | 86.14                        |
| 最小值    | 1.25                        | 2.66                        | 0.16                        | 6.09                         | 41.28                        | 12.48                        | 53.01                        |
| 最大值    | 2.58                        | 5.33                        | 0.69                        | 9.44                         | 518.84                       | 26.87                        | 101.01                       |
| 标准差    | 0.43                        | 0.79                        | 0.17                        | 1.02                         | 179.28                       | 4.37                         | 13.17                        |
| 平均值    | 1.68                        | 4.16                        | 0.44                        | 7.79                         | 186.95                       | 20.60                        | 78.83                        |
| 变异系数/% | 25.60                       | 18.99                       | 38.64                       | 13.09                        | 95.90                        | 21.21                        | 16.71                        |



2.4  相关性分析

每个性状在不同程度反映辣木种质资源叶片营养多样性的同时，彼此间还存在一定的关联。采用相关性分析不同辣木种质叶片中各营养指标间存在的关系，结果见表 7。可溶性糖和还原糖呈极显著正相关，和氨基酸呈极显著负相关，还原糖和氨基酸呈显著负相关，总黄酮和镁呈显著负相关，粗多糖和维生素 E 呈显著正相关，锌分别与氨基酸和锰呈显著正相关。

表 7  叶片中营养成分相关性分析

| 性状    | 可溶性糖    | 还原糖    | 总黄酮    | 粗脂肪   | 粗多糖   | 维生素 E | 氨基酸   | 钾     | 钙     | 镁     | 铜     | 锰     | 锌    | 铁    |
|-------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 可溶性糖  | 1.00    |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 还原糖   | 0.91**  | 1.00   |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 总黄酮   | 0.14    | 0.31   | 1.00   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 粗脂肪   | −0.29   | −0.17  | 0.14   | 1.00  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 粗多糖   | −0.09   | −0.04  | 0.55   | 0.37  | 1.00  |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 维生素 E | −0.51   | −0.60  | 0.23   | 0.51  | 0.64* | 1.00  |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 氨基酸   | −0.82** | −0.64* | −0.12  | 0.28  | −0.18 | 0.22  | 1.00  |       |       |       |       |       |      |      |
| 钾     | 0.59    | 0.60   | 0.32   | −0.48 | −0.47 | −0.62 | −0.37 | 1.00  |       |       |       |       |      |      |
| 钙     | −0.52   | −0.49  | 0.12   | 0.02  | 0.53  | 0.42  | 0.03  | −0.54 | 1.00  |       |       |       |      |      |
| 镁     | −0.15   | −0.15  | −0.73* | −0.17 | −0.26 | −0.23 | 0.09  | −0.44 | 0.26  | 1.00  |       |       |      |      |
| 铜     | 0.55    | 0.49   | 0.53   | −0.58 | 0.32  | −0.07 | −0.51 | 0.45  | −0.08 | −0.31 | 1.00  |       |      |      |
| 锰     | −0.30   | −0.36  | −0.29  | −0.02 | 0.08  | 0.49  | 0.34  | −0.47 | −0.03 | 0.32  | 0.04  | 1.00  |      |      |
| 锌     | −0.49   | −0.36  | −0.07  | −0.04 | −0.30 | 0.19  | 0.67* | −0.03 | −0.12 | 0.20  | −0.09 | 0.66* | 1.00 |      |
| 铁     | −0.62   | −0.51  | 0.59   | 0.17  | 0.52  | 0.52  | 0.37  | −0.14 | 0.57  | −0.43 | 0.08  | −0.12 | 0.15 | 1.00 |

注：\* 表示  $p<0.05$ ，\* \* 表示  $p<0.01$ ，差异有统计学意义。

2.5  辣木叶营养指标主成分分析和综合评价

2.5.1  数据标准化

辣木的 14 个品质性状有不同的量纲和数量级，为避免量纲和数量级的影响，必须对原始数据进行标准化处理，将各指标转化成均值为 0、标准差为 1 的无量纲数据，标准化后的结果见表 8。

表 8  辣木叶片中 14 个品质性状的数据标准值

| 种质    | 可溶性糖  | 还原糖    | 总黄酮   | 粗脂肪   | 粗多糖   | 维生素 E | 氨基酸   | 钾     | 钙     | 镁     | 铜     | 锰     | 锌     | 铁     |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LM001 | 0.23  | −0.38  | −1.23 | −0.60 | −1.03 | 0.42  | −0.11 | 0.07  | −0.74 | 1.07  | 0.32  | 1.63  | 1.44  | −1.05 |
| LM002 | 1.55  | 2.03   | 1.33  | −1.29 | −0.31 | −1.50 | −1.18 | 2.11  | −0.49 | −0.43 | 1.62  | −0.75 | 0.19  | −0.23 |
| LM003 | 1.44  | 0.93   | −1.26 | 0.14  | −0.73 | −0.92 | −1.57 | 0.21  | −0.79 | 0.17  | −0.78 | −0.81 | −1.86 | −1.96 |
| LM004 | 0.58  | 0.73   | 0.72  | 0.53  | −0.37 | −0.50 | 0.73  | 0.82  | −1.91 | −1.39 | 0.31  | −0.57 | −0.10 | −0.09 |
| LM005 | −0.79 | −0.949 | −1.09 | −1.42 | −0.60 | −0.96 | 0.44  | 0.11  | 0.59  | 0.77  | −0.06 | −0.50 | −0.19 | 0.63  |
| LM006 | −0.53 | −0.15  | 0.29  | 1.91  | 1.42  | 1.13  | 0.27  | −0.99 | 0.20  | −0.01 | −0.65 | 0.48  | 0.22  | 0.64  |
| LM007 | −0.97 | −0.37  | −0.55 | 0.79  | −0.67 | −0.54 | 1.12  | −0.85 | 0.84  | 1.49  | −1.67 | −0.56 | 0.42  | −0.16 |
| LM008 | −1.00 | −0.81  | −0.22 | −0.29 | 0.06  | 0.63  | 1.28  | −0.92 | 0.05  | 0.04  | −0.16 | 1.85  | 1.19  | −0.01 |
| LM009 | −1.01 | −1.25  | 1.07  | 0.48  | 0.14  | 1.25  | 0.21  | 0.47  | 0.78  | −1.70 | −0.40 | −0.76 | 0.02  | 1.68  |
| LM010 | 0.51  | 0.22   | 0.93  | −0.25 | 2.08  | 1.00  | −1.18 | −1.02 | 1.48  | −0.01 | 1.47  | −0.02 | −1.33 | 0.56  |

2.5.2  主成分分析

对 10 份辣木种质叶片的 14 项指标进行主成分分析，结果见表 9。抽取的 5 个主成分的特征值均大于

1, 分别为 4.94, 3.27, 1.87, 1.59 和 1.34, 方差贡献率分别为 35.29%, 23.34%, 13.33%, 11.38% 和 9.60%, 累计贡献率能反映将近 100% 的信息, 因此, 选取这 5 个主成分能作为统计不同辣木种质叶片营养成分的主要指标, 辣木品质评价指标由初始的 14 个降为 5 个不相关的主成分, 达到降维目的.

表 9 主成分的特征值、贡献率及累积贡献率

| 主成分 | 特征值  | 百分率/% | 累计贡献率/% |
|-----|------|-------|---------|
| PC1 | 4.94 | 35.29 | 35.29   |
| PC2 | 3.27 | 23.34 | 58.63   |
| PC3 | 1.87 | 13.33 | 71.96   |
| PC4 | 1.59 | 11.38 | 83.34   |
| PC5 | 1.34 | 9.60  | 92.93   |

由表 10 可知, 第 1 主成分中贡献率最大的依次为维生素 E、氨基酸、钙、铁、锰、粗脂肪、锌、粗多糖等, 而可溶性糖、还原糖、总黄酮、钾和铜这些指标的载荷为负值, 说明其与第 1 主成分呈负相关. 第 2 主成分中总黄酮的贡献率最大, 其次为粗多糖, 载荷较高且符号为负的指标有锌和镁, 分别为  $-0.36$  和  $-0.69$ , 表明这两个指标对第 2 主成分产生负影响, 可知第 2 主成分大时, 总黄酮和粗多糖质量分数高, 而镁和锌质量分数则会降低. 第 3 主成分中载荷较高且符号为正的指标是锌和钾, 说明第 3 主成分大时锌和钾的质量分数高. 第 4 主成分中载荷较高且符号为正的指标是铜和锰, 说明铜和锰对第 4 主成分的贡献大. 第 5 主成分中贡献率最大的是粗脂肪.

表 10 主成分载荷矩阵

| 品质    | PC1     | PC2     | PC3     | PC4     | PC5     |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 可溶性糖  | $-0.94$ | $0.07$  | $-0.18$ | $0.14$  | $0.25$  |
| 还原糖   | $-0.89$ | $0.11$  | $-0.07$ | $0.03$  | $0.25$  |
| 总黄酮   | $-0.14$ | $0.88$  | $0.35$  | $-0.04$ | $0.06$  |
| 粗脂肪   | $0.46$  | $0.21$  | $-0.23$ | $-0.54$ | $0.60$  |
| 粗多糖   | $0.29$  | $0.80$  | $-0.35$ | $0.26$  | $0.17$  |
| 维生素 E | $0.72$  | $0.46$  | $-0.06$ | $0.21$  | $0.34$  |
| 氨基酸   | $0.72$  | $-0.28$ | $0.48$  | $-0.24$ | $0.00$  |
| 钾     | $-0.79$ | $0.05$  | $0.53$  | $-0.15$ | $-0.17$ |
| 钙     | $0.54$  | $0.36$  | $-0.41$ | $0.20$  | $-0.56$ |
| 镁     | $0.20$  | $-0.69$ | $-0.44$ | $0.32$  | $-0.21$ |
| 铜     | $-0.52$ | $0.48$  | $0.23$  | $0.64$  | $-0.07$ |
| 锰     | $0.47$  | $-0.30$ | $0.18$  | $0.67$  | $0.43$  |
| 锌     | $0.44$  | $-0.36$ | $0.69$  | $0.28$  | $0.13$  |
| 铁     | $0.54$  | $0.67$  | $0.32$  | $-0.10$ | $-0.36$ |

2.5.3 辣木品质综合评价

根据表 9、表 10 计算出特征向量, 再以特征向量为权重构建 5 个主成分的表达式:

$$Z_1 = -0.42X_1 - 0.40X_2 - 0.06X_3 + 0.21X_4 + 0.13X_5 + 0.32X_6 + 0.32X_7 - 0.35X_8 + 0.24X_9 + 0.09X_{10} - 0.23X_{11} + 0.21X_{12} + 0.20X_{13} + 0.24X_{14}$$

$$Z_2 = 0.04X_1 + 0.06X_2 + 0.48X_3 + 0.12X_4 + 0.44X_5 + 0.25X_6 - 0.15X_7 + 0.03X_8 + 0.20X_9 - 0.38X_{10} + 0.26X_{11} - 0.17X_{12} - 0.20X_{13} + 0.37X_{14}$$

$$Z_3 = -0.13X_1 - 0.05X_2 + 0.26X_3 - 0.17X_4 - 0.25X_5 - 0.04X_6 + 0.35X_7 + 0.38X_8 - 0.30X_9 - 0.32X_{10} + 0.17X_{11} + 0.13X_{12} + 0.51X_{13} + 0.23X_{14}$$

$$\begin{aligned} Z_4 &= 0.11X_1 + 0.02X_2 - 0.03X_3 - 0.42X_4 + 0.20X_5 + 0.16X_6 - 0.19X_7 - 0.12X_8 + 0.15X_9 + \\ &\quad 0.26X_{10} + 0.51X_{11} + 0.53X_{12} + 0.22 X_{13} - 0.08X_{14} \\ Z_5 &= 0.21X_1 + 0.21X_2 + 0.05X_3 + 0.51X_4 + 0.15X_5 + 0.30X_6 + 0.00X_7 - 0.15X_8 - 0.48X_9 - \\ &\quad 0.18X_{10} - 0.06X_{11} + 0.37X_{12} + 0.11 X_{13} - 0.31X_{14} \end{aligned}$$

5 个表达式中,  $X_1, X_2, X_3 \cdots X_{12}, X_{13}, X_{14}$  分别表示可溶性糖、还原糖、总黄酮…锰、锌、铁等原始数据的标准化值(表 8).

综合评价函数的计算方法:以各个主成分对应的方差贡献率作为权重,由主成分得分和对应的权重线性加权求和.

$$F = 0.353Z_1 + 0.233Z_2 + 0.133Z_3 + 0.114Z_4 + 0.096Z_5$$

根据主成分综合得分模型,计算出 10 份辣木种质的综合得分值和排序结果(表 11). 由表 11 可知,综合得分由大到小依次为 LM009,LM006,LM008,LM010,LM007,LM001,LM004,LM005,LM002,LM003,排在前 4 位的依次是 LM009,LM006,LM008 和 LM010.

表 11  10 份辣木种质营养品质的综合得分

| 种质    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | F     | 排序 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| LM001 | 0.17  | −2.43 | 0.63  | 1.77  | 0.80  | −0.15 | 6  |
| LM002 | −4.16 | 0.88  | 1.29  | 0.69  | −0.62 | −1.07 | 9  |
| LM003 | −2.84 | −1.43 | −2.29 | −1.02 | 0.59  | −1.70 | 10 |
| LM004 | −1.54 | 0.41  | 1.59  | −1.37 | 1.21  | −0.28 | 7  |
| LM005 | 0.42  | −1.18 | 0.04  | 0.06  | −2.36 | −0.34 | 8  |
| LM006 | 2.14  | 1.16  | −0.70 | −0.39 | 1.50  | 1.03  | 2  |
| LM007 | 1.80  | −1.74 | −0.78 | −1.29 | −0.72 | −0.09 | 5  |
| LM008 | 2.32  | −0.87 | 1.01  | 1.16  | 0.59  | 0.94  | 3  |
| LM009 | 1.66  | 2.26  | 1.09  | −1.30 | −0.69 | 1.05  | 1  |
| LM010 | 0.04  | 2.92  | −1.90 | 1.69  | −0.29 | 0.61  | 4  |

2.6  聚类分析

根据 14 项营养物质指标对 10 份辣木种质资源进行聚类分析,结果见图 1. 根据聚类分析和表 5、表 6 中的辣木品质数据,可将 10 份辣木种质聚为 2 类,其中 LM001 和 LM008 聚为一类,其品质特点为锰和锌质量分数优于其他类群;其余 8 份种质 LM004,LM007,LM005,LM002,LM009,LM003,LM006 和 LM010 聚为一类. 由主成分分析中选出 4 个综合品质较高的辣木种质,在此分别聚为两类,即 LM009,LM006 和 LM010 为一类,LM008 为另一类.

3  结论与讨论

本试验对 10 份辣木种质叶片的氨基酸组成、营养成分和矿物质等营养品质进行了研究,从氨基酸组成和质量分数分析可看出,10 份种质中均含有 17 种氨基酸,不同种质叶片中的氨基酸质量分数存在差异,氨基酸总质量分数在 16.00%~26.02%之间,在 17 种氨基酸中胱氨酸和蛋氨酸的质量分数最低,说明其为辣木第一限制氨基酸;天冬氨酸和谷氨酸质量分数最高,说明辣木叶中鲜味氨基酸质量分数丰富,这与杨东顺等<sup>[14]</sup>对云南元江辣木叶和周丹蓉等<sup>[15]</sup>对福建栽培的辣木的研究结果一致. 研究结果还可看出 LM008(PKM2,印度)的谷氨酸质量分数最丰富,达 3.14%,天冬氨酸较丰富,为 3.25%,而 LM003(北方辣木,中国云南)的天冬氨酸和谷氨酸质量分数最低,分别为 1.76%和 1.89%. 10 份种质必需氨基酸的质量分数范围为 6.12%~9.82%,以 LM008 种质最高,其次是 LM007(PKM1,美国),质量分数最低的是 LM003. 在必需氨基酸占比中,苯丙氨酸+酪氨酸质量分数最高,达 10.79%~11.98%,是 WHO/FAO



建议值的 1.80~2.00 倍,不同种源的北方辣木(LM002,LM003)和多油辣木(LM004,LM006)的苯丙氨酸+酪氨酸质量分数分别是 11.76%,11.72%,11.63%和 11.53%,这与郭刚军等<sup>[16]</sup>对多油辣木叶的研究结果一致,但本研究得出的北方辣木中的质量分数高于其研究结果. 综上可知,不同辣木叶片中必需氨基酸的数量充足、比例适宜,能满足蛋白质合成的要求.

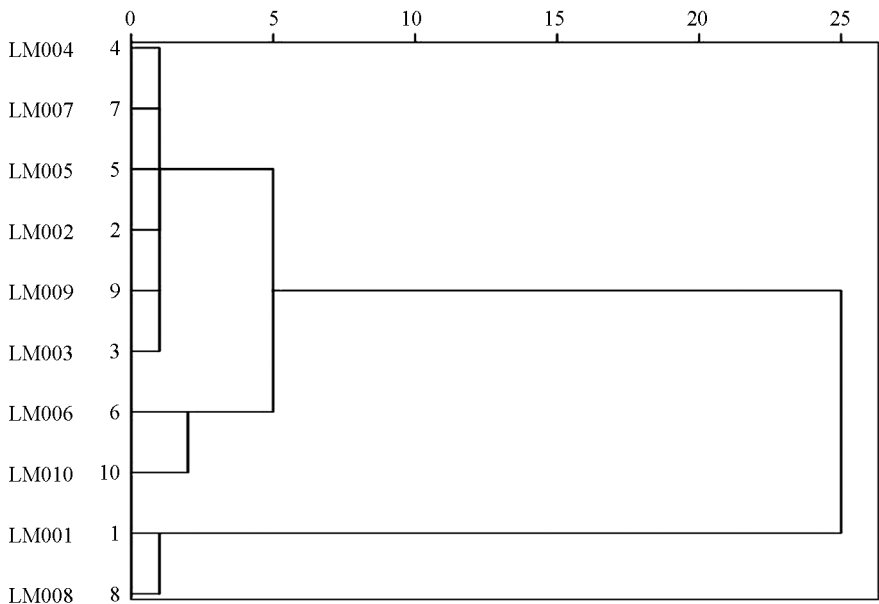


图 1 辣木品质聚类分析系统树

对不同辣木营养物质进行分析,总体来说辣木叶营养价值较高. 可溶性糖、还原糖、粗多糖质量分数分别为 4.07%~7.01%,1.93%~4.92%和 2.43%~4.08%,总黄酮质量分数与粗脂肪质量分数相近,分别为 1.25%~2.74%和 1.87%~2.64%,相比之下,维生素 E 质量分数较低,为 0.06~0.72 mg/hg. 从变异系数来看,不同辣木种质资源叶片的 7 个方面的品质性状变异程度均不大. 试验结果得出的 10 份辣木种质所含的粗多糖和粗脂肪,显著低于大蒜盖菇中所含的粗多糖和粗脂肪<sup>[17]</sup>,再次说明辣木是低脂低糖营养保健佳品. 本试验中可溶性糖和总黄酮质量分数低于初雅洁等<sup>[4]</sup>的研究,高于杨东顺等<sup>[14]</sup>的研究,而粗脂肪质量分数高于郭刚军等<sup>[16]</sup>对多油辣木和北方辣木叶的研究,但又低于杨东顺等<sup>[14]</sup>、高敏霞等<sup>[18]</sup>的研究结果. 本研究中维生素 E 质量分数低于段琼芬等<sup>[19]</sup>的研究结果.

对不同种质所含的矿质元素质量分数进行分析,结果表明 10 份辣木种质叶片中矿质元素质量分数均以钙质量分数最高,说明辣木叶片中富含钙元素,所测的 10 份辣木种质叶中钙质量分数范围在 2.66~5.33 g/hg 之间,其次是 K 元素,均值为 1.68 g/hg,这与刘昌芬等<sup>[1, 3]</sup>、初雅洁等<sup>[4]</sup>和蓝金宣等<sup>[20]</sup>的研究结果一致. 其中,LM010(PKM1,中国云南)钙质量分数最高,LM004(多油,美国)钙质量分数最低. 不同辣木矿质元素质量分数由高到低依次为钙、钾、镁、锰、铁、锌、铜,这与杨东顺等<sup>[14]</sup>、刘忠妹等<sup>[21]</sup>和李嘉等<sup>[22]</sup>有一定差异,这可能是与种植环境、栽培技术、取样部位、叶片成熟度及采收季节有关. 本试验研究结果还发现,不同辣木种质间锰质量分数的变异程度最大,变异系数为 95.90%,说明不同种质间锰元素质量分数差异较大,LM008(PKM2,印度)中锰质量分数最高,达 518.84 mg/kg,其次是 LM001(狭瓣辣木,美国),达 479.46 mg/kg,LM003(北方辣木,中国云南)中锰质量分数最低,仅 41.28 mg/kg,这与刘忠妹等<sup>[23]</sup>相似.

相关性分析的结果表明,可溶性糖和还原糖呈极显著正相关,可溶性糖和氨基酸呈极显著负相关,还原糖和氨基酸呈显著负相关,总黄酮和镁呈显著负相关,粗多糖和维生素显著正相关,锌分别与氨基酸和锰呈显著正相关.

主成分分析结果显示,将本试验所测的辣木 14 个营养性状中提取出 5 个主成分,并筛选得出判定辣木营养价值主要指标(维生素 E、氨基酸、总黄酮、粗多糖、铁、锌、铜、锰和粗脂肪),以上指标是造成辣木

种质营养丰富多样化的主要因素. 分析结果还可看出, 10 份辣木种质中, LM009(PKM1, 中国云南)、LM006(多油, 古巴)、LM008(PKM2, 印度)和 LM010(PKM1, 中国云南)的综合品质较高, LM002(北方辣木, 中国台湾)和 LM003(北方辣木, 中国云南)综合品质较低.

聚类分析结果显示, 10 份辣木种质可聚为 2 类, 其中 LM001 和 LM008 聚为一类, 其品质特点为锰和锌质量分数优于其他类群; 剩余 8 份种质(LM004, LM007, LM005, LM002, LM009, LM003, LM006 和 LM010)聚为一类. 由主成分分析中选出的 4 个综合品质较高的辣木种质, 在此聚为两类, 即 LM009, LM006 和 LM010 为一类, LM008 为另一类. 虽然两类群之间在各性状上有明显差异, 但每一类群内均有综合性状表现优异的种质和较差的种质, 因此在进行种质综合评价时应尽量采取多种分析方法才能保证结果的准确性<sup>[24-25]</sup>. 本试验只对 10 份辣木种质资源的营养品质性状进行研究分析, 缺少表型性状相关的数据支撑, 具有一定的局限性, 因此, 后续将对农艺性状进行遗传多样性分析, 综合评价后再加以取舍.

综上所述, 不同种质辣木定植在相同气候及土壤环境下, 其叶片营养成分之间存在显著差异, 产生差异的原因除品种差异外, 还可能与种子来源不同造成的地理间差异及辣木对环境适应性的差异有关, 未来可将这些不同种质的辣木品质特点作为育种目标性状和辣木营养成分数据加以充分利用. 这也说明辣木种质资源的遗传多样性较为丰富, 为后续辣木种质创制及新品种选育提供了一定的理论基础.

## 参考文献:

- [1] 刘昌芬, 伍英, 龙继明. 不同品种和产地辣木叶片营养成分含量 [J]. 热带农业科技, 2003, 26(4): 1-2, 14.
- [2] 刘子记, 孙继华, 刘昭华, 等. 特色植物辣木的应用价值及发展前景分析 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(9): 1871-1878.
- [3] 刘昌芬. 神奇保健植物辣木及其栽培技术 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2013: 1-15.
- [4] 初雅洁, 符史关, 龚加顺. 云南不同产地辣木叶成分的分析比较 [J]. 食品科学, 2016, 37(2): 160-164.
- [5] 王远, 郑雯, 蔡珺珺, 等. 辣木叶黄酮结构分析及其对胰脂肪酶的抑制作用 [J]. 食品科学, 2018, 39(2): 31-37.
- [6] 孙朦, 王鸿飞, 王凯凯, 等. 辣木叶黄酮对小鼠血脂调节作用研究 [J]. 核农学报, 2018, 32(8): 1597-1602.
- [7] 崔璨, 王欣宇, 苑广伟, 等. 辣木叶多糖 MLP100-3 的提取纯化与体外抗炎活性研究 [J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2018, 39(5): 410-418, 425.
- [8] 董竹平, 李超, 扶雄. 不同品种辣木叶多糖的理化性质和抗氧化活性研究 [J]. 现代食品科技, 2018, 34(1): 38-44.
- [9] 周才琼, 阳长敏, 吴雪琴, 等. 食品资源引进研究——海南产印度辣木的营养价值评价 [J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(6): 763-765.
- [10] OYEYINKA A T, OYEYINKA S A. Moringa Oleifera as a Food Fortificant: Recent Trends and Prospects [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2018, 17(2): 127-136.
- [11] 张肖娟, 朱强强, 庞欠欠, 等. 不同来源辣木叶中  $\gamma$ -氨基丁酸含量的比较 [J]. 食品安全导刊, 2019(9): 177-178.
- [12] 王芳, 乔璐, 张庆庆, 等. 桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价 [J]. 食品科学, 2015, 36(1): 225-228.
- [13] 王咏星, 钱龙, 吕艳, 等. 白斑狗鱼肌肉氨基酸含量测定及其营养评价 [J]. 食品科学, 2010, 31(11): 238-240.
- [14] 杨东顺, 樊建麟, 邵金良, 等. 辣木不同部位主要营养成分及氨基酸含量比较分析 [J]. 山西农业科学, 2015, 43(9): 1110-1115.
- [15] 周丹蓉, 王小安, 叶新福, 等. 辣木氨基酸分析与营养评价研究 [J]. 热带作物学报, 2017, 38(2): 278-282.
- [16] 郭刚军, 龙继明, 黄艳丽, 等. 多油辣木不同部位营养成分分析及评价 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 354-358, 364.
- [17] 柳丽萍, 钱文春, 占鹏飞, 等. 不同基质和干燥方法对大球盖菇营养成分的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(2): 8-13.
- [18] 高敏霞, 王小安, 叶新福, 等. 不同着生部位辣木叶营养成分差异分析 [J]. 南方农业学报, 2017, 48(8): 1488-1492.
- [19] 段琼芬, 李迅, 陈思多, 等. 辣木营养价值的开发利用 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(29): 12670-12672.
- [20] 蓝金宣, 李开祥, 梁文汇, 等. 不同种源辣木嫩叶部分营养成分分析 [J]. 广西林业科学, 2018, 47(4): 465-468.
- [21] 刘忠妹, 李海泉, 许木果, 等. 3 种辣木中氮、磷、钾、钙和镁元素含量的比较 [J]. 热带作物学报, 2016, 37(3):

461-465.

- [22] 李 嘉, 胡诗羲, 王荣香, 等. 不同辣木种质资源叶片营养元素含量分析 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(1): 34-39.
- [23] 刘忠妹, 许木果, 丁华平, 等. 不同品种辣木中微量元素的分布特征 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(10): 85-89.
- [24] 王艳青, 李春花, 卢文洁, 等. 135 份国外藜麦种质主要农艺性状的遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 887-894.
- [25] 孙 铭, 符开欣, 范 彦, 等. 15 份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 655-662.

## Study on Amino Acid Composition and Nutritional Evaluation of Leaves of Different *Moringa oleifera* Lam. Germplasm Resources

YANG Yan<sup>1</sup>, YANG Pu-li<sup>1</sup>, ZHANG Zu-bing<sup>1</sup>, ZHANG Yang-mei<sup>1</sup>,  
PENG Zhi-dong<sup>2</sup>, HU Yong-liang<sup>3</sup>, HUANG Jia-wei<sup>3</sup>

1. Yunnan Tropical Crops Research Institute, Jinghong Yunnan 666100, China;

2. Xishuangbanna Yunken Macadamia Nut Science & Technology Development Company, Ltd., Jinghong Yunnan 666100, China;

3. Dehong Tropical Agriculture Research Institute of Yunnan, Ruili Yunnan 678600, China

**Abstract:** The amino acid content, soluble sugars, reducing sugars, total flavonoids, crude fat, crude polysaccharide, vitamin E, potassium, calcium, magnesium, copper, manganese, zinc, iron and other major nutrient components in the leaves of 10 *Moringa* germplasm resources were determined. Correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis of 14 quality indexes were carried out to give a comprehensive evaluation of the quality of different germplasms. The results showed that the leaves of the 10 germplasms contained complete and abundant amino acids, the total amount ranging from 16.00% to 26.02%, and all of them contained 7 kinds of essential amino acids. Their contents were in the order of total amino acid, soluble sugars, reducing sugars, crude polysaccharide, crude fat, total flavonoids, vitamin E, the content of the last one (vitamin E) being the lowest (0.06~0.72 mg/hg). Of the mineral elements determined, Ca generally had the highest content in different *moringa* grmplasms, ranging from 2.66 to 5.33 g/hg, followed in order by K, Mg, Mn, Fe, Zn and Cu. The results of principal component analysis simplified the 14 nutrition indexes into 5 principal components, their cumulative variance contribution rate being up to 92.93%. Four germplasms (LM009, LM006, LM008 and LM010) were evaluated to have fairly good nutritional quality. Cluster analysis of the 10 varieties of *moringas* divided them into 2 clusters; LM001 and LM008 in one cluster, and the remaining 8 in the other cluster.

**Key words:** *moringa* (*Moringa oleifera* Lam.); germplasm resource; amino acid; nutritional component; evaluation

责任编辑 周仁惠