

干燥方式对辣木叶营养、功能成分及氨基酸组成的影响

郭刚军¹, 胡小静², 徐 荣¹, 马尚玄¹, 龙继明¹, 李海泉^{1,*}

(1.云南省热带作物科学研究所, 云南 景洪 666100; 2.文山学院化学与工程学院, 云南 文山 663000)

摘 要:以改良种多油辣木(periyakulam-1, PKM-1)叶为原料,研究了阴干、晒干、40℃热风干燥、60℃热风干燥、微波干燥与远红外干燥6种适用于产业化加工的干燥方式对其感官品质、常规营养与功能成分、维生素与氨基酸的影响,并应用氨基酸比值系数法,以世界卫生组织/联合国粮食及农业组织(World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO/FAO)氨基酸参考模式为评价标准,对必需氨基酸的组成进行了评价。结果表明:不同干燥方式中,干燥后辣木叶中的蛋白质、多酚、VE、 β -胡萝卜素、VB₂、VC、VB₆、烟酸与泛酸含量存在显著性差异,粗脂肪、黄酮与多糖含量差异不显著。总体来说,对辣木叶营养、功能成分与氨基酸影响最小的干燥方式是60℃热风干燥,在此条件下干燥的辣木叶色泽指标 L 、 a 、 b 值分别为:90.26、5.55、6.35,蛋白质质量分数30.76%、黄酮质量分数3.17%、总酚质量分数13.82%,总氨基酸质量分数30.56%,必需氨基酸质量分数12.35%,VE、 β -胡萝卜素、VB₂、VB₆、泛酸含量分别为113.00、60.36、1.90、8.18、89.10 mg/100 g,高于其他干燥方式,其必需氨基酸的构成比例是WHO/FAO的标准的1.17倍,氨基酸的比值系数分为63.88。依据WHO/FAO必需氨基酸参考模式,在其各种必需氨基酸中,第一限制氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸。总体来说,60℃热风干燥方式较适合于辣木鲜叶的干燥。研究结果为辣木叶产业化开发与生产提供了科学依据。

关键词:干燥方式;辣木叶;成分;氨基酸组成评价

Effects of Different Drying Methods on Nutritional and Functional Components and Amino Acid Composition of *Moringa oleifera* Leaves

GUO Gangjun¹, HU Xiaojing², XU Rong¹, MA Shangxuan¹, LONG Jiming¹, LI Haiquan^{1,*}

(1. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China;

2. School of Chemistry and Engineering, Wenshan University, Wenshan 663000, China)

Abstract: The leaves of *Moringa oleifera* (periyakulam-1, an improved cultivar) were dried by 6 industrial drying methods: shade drying, sun drying, and mechanical (hot air at 40 and 60 °C, microwave and far-infrared ray) drying. The major nutritional and functional components, vitamins and amino acid contents in the dried leaves were investigated. The essential amino acid composition was evaluated by score of ratio coefficient of amino acid (SRCAA) according to the World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations (WHO/FAO) reference pattern. The results showed significant differences in the contents of protein, total phenols, vitamin E, β -carotene, vitamin B₂, vitamin C, vitamin B₆, nicotinic acid and pantothenic acid, while no significant difference in crude fat, flavonoid or polysaccharide contents of *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods was observed. On the whole, hot air drying at 60 °C had the lowest impact on the nutritional and functional components and amino acids; L , a and b values of the dried leaves were 90.26, 5.55 and 6.35, respectively, the contents of protein, flavonoids, total phenols, total amino acids, essential amino acids, vitamin E, β -carotene, vitamin B₂, vitamin B₆ and pantothenic acid were 30.76%, 3.17%, 13.82%, 30.56%, 12.35%, 113.00 mg/100 g, 60.36 mg/100 g, 1.90 mg/100 g, 8.18 mg/100 g, and 89.10 mg/100 g, respectively, which were higher

收稿日期: 2016-12-30

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-11-03A); 西双版纳州发展和改革委员会傣药南药办专项;

云南省热带作物科技创新体系建设专项(RF2014-8)

第一作者简介: 郭刚军(1980—), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为食品加工和植物中天然产物提取分离与功能。

E-mail: guogangjun2001@126.com

*通信作者简介: 李海泉(1971—), 男, 高级农艺师, 硕士, 研究方向为功能性天然植物栽培技术开发与利用。

E-mail: 13578150901@139.com

than those obtained using other drying methods. The proportion of essential amino acids in total amino acids was 1.17 times higher than the WHO/FAO reference pattern and SRCFAA was 63.88. According to the WHO/FAO reference pattern, the first limiting amino acids were methionine and cystine. Overall, hot air drying at 60 °C was more suitable for drying of fresh leaves of *Moringa oleifera*. The results of this study can provide scientific information for industrial exploitation of *Moringa oleifera* leaves.

Keywords: drying methods; *Moringa oleifera* leaves; chemical components; amino acid composition evaluation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811007

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 11-0039-07

引文格式:

郭刚军, 胡小静, 徐荣, 等. 干燥方式对辣木叶营养、功能成分及氨基酸组成的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 39-45.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811007. <http://www.spkx.net.cn>

GUO Gangjun, HU Xiaojing, XU Rong, et al. Effects of different drying methods on nutritional and functional components and amino acid composition of *Moringa oleifera* leaves[J]. Food Science, 2018, 39(11): 39-45. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811007. <http://www.spkx.net.cn>

辣木 (*Moringa* spp.) 又称鼓槌树、奇树, 属辣木亚目辣木科 (Moringaceae)、辣木属 (*Moringa* Adans.) 植物, 多年生热带落叶乔木, 原产于印度及非洲干旱、半干旱地区, 是多用途速生树种^[1-3]。辣木蛋白是目前已发现最好的植物蛋白、VA、叶酸、泛酸、钙、铁、硒等多种营养素来源之一, 故可称之为营养大全^[4-5]。辣木叶片中钙的含量是牛乳的4倍, 蛋白质的含量是牛乳的3倍, 铁的含量是菠菜的3倍, 钾的含量是香蕉的3倍, VC的含量是柑橘的7倍, VA的含量是胡萝卜的4倍^[6-7]。据推算, 三汤匙 (约25 g) 的辣木叶粉末, 就含有幼儿每日所需的270%的VA、42%的蛋白质、125%的钙、70%的铁及22%的VC^[8]。辣木在国外有“奇迹树”、“母亲最好的朋友”和“天然药柜”等美称, 其根、茎、叶、花和果均有不同的医疗功效, 印度草医学认为辣木可预防300种疾病。现代医学研究表明, 辣木具有调节血压、降胆固醇、降血糖、增强免疫力、抗氧化、抗菌消炎与抗癌等多种活性^[9-12]。

辣木在2012年被中国绿色食品发展中心认定为“国家首推绿色食品”^[18], 同年签署的《中华人民共和国农业部与古巴共和国农业部农业合作规划 (2012年—2016年)》中明确提出“加强在辣木种植和加工领域的合作, 共同探讨利用辣木改善人们的营养水平”。近年来, 我国辣木产业发展迅速, 2014年, 连片种植面积约为4万亩 (2 668 hm²), 主要分布在云南、海南、广东、四川、福建和贵州等地。在国家农业部及各级政府部门的支持下, 2016年我国辣木种植面积约10万亩 (6 667 hm²), 且大部分省市均有辣木产业发展规划, 仅云南省到2020年规划超过百万亩。随着辣木种植面积的不断扩大, 产量的逐年增长, 辣木产业对加工技术的需求愈加迫切。除了辣木嫩梢鲜食外, 以辣木叶为原料的产品开发和加工利用首先都需要进行干燥。为了最大

程度保留辣木叶的营养价值, 选择出优良的干燥方式尤为重要。目前鲜见有关干燥方法对辣木叶营养成分影响的研究, 马李一等^[13]对云南元江产辣木叶中矿物质与部分维生素进行了研究, 矿物质非热敏性物质, 干燥对其影响较小。本研究采用阴干、晒干、40 °C热风干燥、60 °C热风干燥、微波干燥、远红外干燥多种方式对云南西双版纳产辣木鲜叶进行干燥, 系统研究干燥方式对其营养、功能成分与氨基酸组成的影响, 以期确定出最佳的干燥方式与条件, 为辣木叶更好地开发利用提供科学依据, 有效保障辣木产业的健康、可持续发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜改良种多油辣木 (periyakulam-1, PKM-1) 叶采自云南省热带作物科学研究所中国-古巴辣木科技合作实验基地。

17种L-氨基酸混合标准样品 美国Sigma-Aldrich公司; 芦丁 (色谱纯, 纯度>98%) 上海如吉生物科技有限公司; VE、 β -胡萝卜素、VB₁、VB₂、VC、VB₆、烟酸、叶酸、泛酸 上海源叶生物科技有限公司; 淀粉酶 广西南宁东恒华道生物科技有限公司; 石油醚、一水合没食子酸、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、氢氧化钠、盐酸、蒽酮、茚三酮、福林-酚试剂、无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、碳酸钠等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

万能粉碎机 上海比朗仪器有限公司; 电热鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 微波炉 佛山市顺德区格兰仕微波炉电器有限公司; 远红外干燥箱 上海善志仪器设备有限公司; SC-80I型色差计 北京京仪康光光学仪器有限公司; 紫外-可见分

光光度计、荧光分光光度计 上海仪电分析仪器有限公司；K9860型全自动凯氏定氮仪 济南海能仪器有限公司；1100高效液相色谱仪 美国Agilent Technologies公司；L-8800型氨基酸自动分析 日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 辣木叶不同方式干燥实验

辣木叶不同方式干燥实验方法参考文献[14-15]进行。

阴干：利用空气自然流动的非机械干燥，优点是不消耗能量，操作简便，生产成本低。本实验将1 kg处理后的辣木鲜叶放在室内通风处，均匀摊开，干燥温度为15~25℃，记录干燥时间及感官变化。

晒干：利用太阳辐射的非机械干燥，优点是不消耗能量，操作简便，生产成本低。本实验将1 kg辣木鲜叶放在太阳光下均匀摊开照射，记录干燥时间及感官变化。

40、60℃热风干燥：利用高温将热量传给水分含量高的物料，加速水分蒸发，提高干燥效率。本实验将1 kg辣木鲜叶分别放入40、60℃的电热风干燥箱中干燥，记录干燥时间及感官变化。

微波干燥：不同于传统干燥方式，其热传导方向与水分扩散方向相同。与传统干燥方式相比，具有干燥速率快、节能、生产效率高、干燥均匀、清洁生产、易实现自动化控制和提高产品质量等优点。本实验将辣木鲜叶1 kg放入微波炉中干燥，记录干燥时间及感官变化。

远红外干燥：利用远红外线辐射传热，远红外线的发射波长在40~1 000 μm范围内，当物料分子波长与远红外线发射的波长匹配时，会引起物料分子强烈振动，摩擦产热达到干燥的目的。本实验将1 kg辣木鲜叶放入60℃远红外干燥箱中干燥，记录干燥时间及感官变化。

1.3.2 辣木叶色泽的测定

采用SC-80I全自动色差计在10°视场、D₆₅光源（D₆₅光源是标准光源中最常用的人工日光，其色温为6 500 K，是该色差计的观察条件）条件下，对不同方式干燥辣木叶粉色差值进行测定。实验采用Hunter Lab色系统，此系统中，L值表示明度变量，a和b值表示色品坐标，ΔE表示总色差。L值大表示偏亮，L值小表示偏暗；a值大表示偏红，a值小表示偏绿；b值大表示偏黄，b值小表示偏蓝^[16-17]。

1.3.3 辣木叶营养与功能成分测定

1.3.3.1 常规营养与功能成分质量分数的测定

水分、蛋白质、粗脂肪、多糖质量分数的测定参考文献[18]，分别采用直接干燥法、凯氏定氮法、索氏提取法和苯酚-硫酸法进行；黄酮质量分数的测定参考文献[19-20]，采用三氯化铝比色法进行；总酚质量分数的测定参考文献[21-22]，采用福林-酚法进行。

1.3.3.2 维生素含量的测定

VE含量参考文献[23]进行测定；β-胡萝卜素含量按照GB/T 5009.83—2003《食品中胡萝卜素的测定》进行测定；VB₁、VB₂、VC、VB₆、叶酸含量参考文献[24]进行测定；烟酸含量按照GB/T 5009.89—2003《食品中烟酸的测定》进行测定；泛酸含量按照GB/T 5413.17—2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中泛酸的测定》进行测定。

1.3.3.3 氨基酸质量分数的测定

氨基酸质量分数的测定参考文献[25-26]。

样品前处理：称取不同干燥方式辣木叶粉各3份（每份约350 mg），分别置于20 mL水解管中，加10.00 mL酸解剂，抽真空，封口。将水解管放在（110±2）℃恒温干燥箱中，水解22 h。冷却、混匀、开管，过滤至25.0 mL容量瓶中用6.0 mol/L的NaOH溶液调pH值至中性，用去离子水定容。用0.45 μm滤膜过滤，取1 mL滤液与上机用盐酸溶液等体积混合，供上机使用。

测定：用相应的混合氨基酸标准工作液按仪器说明书调整仪器操作参数和洗脱缓冲液的pH值，使各氨基酸分辨率大于等于85%，自动进样20 μL制备好的试样水解液分析测定（氨基酸自动分析仪测定流速：缓冲溶液为0.400 mL/min，茚三酮溶液为0.350 mL/min）。

结果计算：以峰面积测定结果，用外标法计算各氨基酸质量分数。

1.4 数据分析

数据采用SAS 9.2软件处理，应用方差分析与邓肯氏法进行显著性分析，以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。实验结果以 $\bar{x}\pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对辣木叶干燥时间及感官品质的影响

将辣木鲜叶从含水量79.38%干燥至6.00%左右，研究干燥方式对辣木叶干燥时间、色泽与感官品质的影响，结果见表1。

表1 不同干燥方式辣木叶干燥时间、色泽与感官品质
Table 1 Drying time, color parameters and sensory quality of *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods

样品	干燥时间	色泽				感官品质
		L	a	b	ΔE	
SDM	72 h	77.67±0.21 ^c	5.28±0.10 ^b	13.78±0.27 ^a	79.06±0.25 ^b	颜色变黄严重，无香味
SCM	7 h	83.00±0.55 ^b	5.30±0.40 ^b	11.65±0.51 ^b	83.99±0.62 ^a	颜色变黄，无香味
FAM	24 h	90.17±0.12 ^a	5.61±0.83 ^b	6.34±0.24 ^c	90.57±0.19 ^c	颜色略变黄，无香味
SAM	6 h	90.26±0.17 ^a	5.55±0.96 ^b	6.35±0.01 ^c	90.66±0.21 ^c	颜色略变黄，有淡淡香味
MDM	28 min	89.97±0.40 ^a	3.82±0.72 ^c	7.47±0.73 ^c	90.36±0.39 ^c	出水较多，颜色变黄，香味较浓，结团
IDM	5 h	90.18±0.05 ^a	6.29±1.04 ^c	6.13±1.30 ^c	90.62±0.08 ^c	颜色略变黄，有淡淡香味

注：SDM.阴干辣木叶；SCM.晒干辣木叶；FAM. 40℃热风烘干辣木叶；SAM. 60℃热风烘干辣木叶；MDM.微波干燥辣木叶；IDM.远红外干燥辣木叶，下同。同列肩标小写字母不同表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

由表1可以看出,不同干燥方式对辣木叶的干燥时间、色泽与感官品质有较大差异。阴干辣木叶亮度最低,变黄也最为严重,感官品质最差,这可能是西双版纳空气湿度大,且耗时时间较长导致辣木叶霉变的缘故。晒干辣木叶色泽品质也相对较差,无香味,且在干燥过程中受天气影响较大。40℃热风干燥、60℃热风干燥、微波干燥与远红外干燥的辣木叶亮度、黄度与总色差无显著性差异,色泽品质差异相对较小。但60℃热风干燥辣木叶有淡淡香味,干燥中不结团,且相对40℃热风干燥耗时较短。微波干燥虽然香味较浓,但干燥过程中出水较多,结团,且微波干燥设备造价较高。远红外干燥虽然也有淡淡香味,但远红外干燥设备成本相对较高。热风干燥是较为传统的干燥方法,其操作简便,机器设备成本也相对较低,并且能很好地保持产品的感官品质。因此,从不同干燥方式对辣木叶干燥时间、色泽与感官品质的影响来看,60℃热风干燥较为适合辣木鲜叶的干燥。

2.2 干燥方式对辣木叶常规营养与功能成分的影响

表2 不同干燥方式辣木叶常规营养与功能成分质量分数

Table 2 Contents of major nutritional and functional components in *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods

成分	SDM	SCM	FAM	SAM	MDM	IDM
蛋白质质量分数	28.51±0.25 ^a	28.91±0.68 ^b	30.35±0.45 ^c	30.76±0.66 ^c	29.54±0.54 ^b	29.33±0.13 ^a
粗脂肪质量分数	5.20±0.16 ^a	5.64±0.05 ^a	5.84±0.26 ^a	5.76±0.09 ^a	4.62±0.32 ^{ab}	5.68±0.12 ^a
黄酮质量分数	3.14±0.08 ^a	3.22±0.08 ^a	3.26±0.14 ^a	3.17±0.14 ^a	3.10±0.04 ^a	3.32±0.09 ^a
总酚质量分数	10.60±0.15 ^a	11.57±0.04 ^d	12.51±0.25 ^c	13.82±0.08 ^a	12.01±0.16 ^c	13.02±0.14 ^b
多糖质量分数	2.07±0.22 ^a	2.24±0.18 ^a	2.34±0.35 ^a	2.10±0.16 ^c	2.40±0.45 ^a	2.69±0.13 ^a

注:同行肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

由表2可以看出,不同干燥方式辣木叶中粗脂肪质量分数为4.62%~5.84%,黄酮质量分数3.10%~3.32%,多糖质量分数2.07%~2.69%,各样品间均无显著性差异($P>0.05$),相对比较稳定。蛋白质质量分数为28.51%~30.76%,其中40℃热风干燥与60℃热风干燥对辣木叶蛋白质影响较小,质量分数较高,分别为30.35%与30.76%,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),阴干、晒干、微波干燥、远红外干燥4种方式干燥的辣木叶蛋白质质量分数无显著性差异($P>0.05$)。总酚质量分数为10.60%~13.82%,其中60℃热风干燥对辣木叶总酚影响较小,质量分数较高,为13.82%,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),其次是远红外干燥,质量分数为13.02%,阴干辣木叶总酚质量分数最低为10.60%。本研究结果与熊瑶^[15]的相比,蛋白质质量分数略高,粗脂肪、多糖质量分数较低,黄酮质量分数基本一致,热风干燥较低,微波与远红外干燥较高。与马李一等^[13]的研究结果相比,在不同干燥方式的辣木叶样品

中,两者均是40℃热风干燥蛋白质质量分数较高,但总体上本研究中的蛋白质、粗脂肪质量分数较高,这可能与辣木的品种、土壤、气候、水质等种植条件有直接关系,种植环境不同,质量分数差异较大。总体来说,60℃热风干燥对辣木叶常规营养与功能成分的影响较小,干燥效果较好。

2.3 干燥方式对辣木叶维生素的影响

表3 不同干燥方式辣木叶维生素含量

Table 3 Contents of vitamins in *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods

维生素	SDM	SCM	FAM	SAM	MDM	IDM
VE含量	40.00±1.14 ^c	54.60±0.26 ^d	60.30±0.89 ^c	113.00±2.25 ^a	77.50±0.63 ^b	77.00±0.93 ^b
β-胡萝卜素含量	21.03±0.36 ^d	29.86±0.88 ^d	40.16±1.32 ^c	60.36±0.74 ^a	49.98±1.68 ^b	50.08±0.42 ^b
VB ₂ 含量	1.44±0.15 ^c	1.57±0.06 ^c	1.58±0.12 ^c	1.90±0.05 ^a	0.95±0.20 ^d	1.73±0.02 ^{bc}
VC含量	48.70±1.35 ^c	45.80±1.66 ^c	29.00±0.85 ^c	36.80±0.42 ^d	59.50±0.60 ^b	66.40±0.98 ^a
VB ₆ 含量	3.17±0.26 ^d	3.47±0.03 ^d	4.53±0.08 ^c	8.18±0.26 ^a	6.70±0.33 ^b	3.75±0.10 ^f
烟酸含量	3.34±0.08 ^b	2.98±0.05 ^{bc}	4.43±0.08 ^a	1.92±0.32 ^e	2.33±0.15 ^c	2.68±0.22 ^{bc}
泛酸含量	47.10±0.85 ^c	69.70±1.88 ^b	67.00±2.04 ^b	89.10±1.04 ^a	88.00±0.12 ^a	88.30±1.66 ^a
VB ₁ 含量	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
叶酸含量	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00

由表3可以看出,60℃热风干燥辣木叶中VE与β-胡萝卜素含量最高,分别为113.00 mg/100 g与60.36 mg/100 g,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),微波干燥与远红外干燥样品间无显著性差异($P>0.05$),阴干样品含量最低,分别为40.00 mg/100 g与21.03 mg/100 g。60℃热风干燥辣木叶VB₂含量最高,为1.90 mg/100 g,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),微波干燥样品VB₂含量最低,为0.95 mg/100 g,受热破坏程度最大。60℃热风干燥辣木叶VB₆含量最高,为8.18 mg/100 g,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),阴干、晒干与远红外干燥3种方式间无显著性差异($P>0.05$),但含量较低。60℃热风干燥辣木叶泛酸含量与微波干燥、远红外线干燥差异不显著($P>0.05$),但高于其他干燥方式,阴干样品含量最低,为47.10 mg/100 g。远红外干燥辣木叶VC含量最高,为66.40 mg/100 g,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),40℃热风干燥样品含量最低,为29.00 mg/100 g。40℃热风干燥辣木叶烟酸含量最高,与其他干燥方式存在显著性差异($P<0.05$),为4.43 mg/100 g,60℃热风干燥样品含量最低,为1.92 mg/100 g。本研究结果与熊瑶^[15]的相比,VE含量略低,VC含量略高。与马李一等^[13]的研究结果相比,VE含量较高,VC含量较低,VB₂含量较低。各种不同干燥方式对辣木叶中VE、β-胡萝卜素、VB₂、VC、VB₆、烟酸与泛酸的含量影响较大,这是由于维生素是热敏性物质的缘故。但总体来说,60℃热风干燥对辣木叶中维生素含量的影响较小,干燥效果较好。

2.4 干燥方式对辣木叶氨基酸质量分数与组成的影响

2.4.1 不同干燥方式辣木叶中氨基酸质量分数与组成分析

表4 不同干燥方式辣木叶氨基酸的质量分数与组成

Table 4 Amino acid composition of *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods

氨基酸	SDM	SCM	FAM	SAM	MDM	IDM	%
组氨酸质量分数	0.62±0.02 ^c	0.64±0.04 ^{bc}	0.67±0.02 ^{bc}	0.77±0.01 ^a	0.69±0.00 ^b	0.66±0.03 ^{bc}	
丝氨酸质量分数	1.35±0.04 ^c	1.40±0.02 ^d	1.46±0.02 ^c	1.55±0.03 ^a	1.50±0.01 ^b	1.35±0.01 ^c	
精氨酸质量分数	1.76±0.03 ^d	1.84±0.01 ^c	1.88±0.02 ^b	2.01±0.05 ^a	1.77±0.04 ^d	1.76±0.01 ^d	
甘氨酸质量分数	1.44±0.00 ^d	1.47±0.02 ^d	1.46±0.03 ^d	1.29±0.00 ^c	1.36±0.01 ^b	1.43±0.04 ^d	
天冬氨酸质量分数	2.79±0.01 ^d	2.81±0.03 ^d	3.12±0.06 ^c	3.56±0.02 ^a	3.39±0.00 ^b	2.83±0.02 ^d	
谷氨酸质量分数	3.60±0.01 ^c	3.85±0.03 ^d	3.85±0.05 ^d	5.19±0.04 ^a	4.46±0.01 ^b	3.90±0.02 ^c	
苏氨酸质量分数*	1.44±0.02 ^c	1.47±0.00 ^c	1.54±0.00 ^b	1.63±0.01 ^a	1.56±0.03 ^b	1.46±0.01 ^c	
丙氨酸质量分数	1.93±0.03 ^b	1.96±0.05 ^b	2.05±0.04 ^d	2.07±0.04 ^d	1.72±0.00 ^c	2.08±0.02 ^c	
脯氨酸质量分数	1.47±0.04 ^d	1.55±0.03 ^d	1.50±0.03 ^{ab}	1.57±0.04 ^d	1.52±0.02 ^{ab}	1.52±0.01 ^{ab}	
胱氨酸质量分数	0.20±0.01 ^a	0.20±0.04 ^a	0.19±0.01 ^a	0.20±0.03 ^a	0.22±0.04 ^a	0.20±0.00 ^a	
赖氨酸质量分数*	1.88±0.05 ^{ab}	1.95±0.02 ^a	1.97±0.03 ^a	1.84±0.02 ^b	1.83±0.04 ^a	1.98±0.02 ^a	
酪氨酸质量分数	1.23±0.01 ^{ab}	1.27±0.02 ^a	1.27±0.00 ^a	1.19±0.01 ^{bc}	1.18±0.02 ^c	1.22±0.04 ^{bc}	
蛋氨酸质量分数*	0.25±0.01 ^a	0.25±0.02 ^a	0.26±0.00 ^a	0.18±0.01 ^b	0.20±0.03 ^b	0.21±0.02 ^b	
缬氨酸质量分数*	1.52±0.03 ^b	1.57±0.04 ^b	1.61±0.02 ^b	1.76±0.00 ^a	1.50±0.01 ^b	1.54±0.00 ^b	
异亮氨酸质量分数*	1.22±0.00 ^c	1.27±0.01 ^b	1.29±0.00 ^b	1.32±0.02 ^a	1.21±0.01 ^c	1.26±0.03 ^b	
亮氨酸质量分数*	2.45±0.01 ^b	2.52±0.01 ^a	2.53±0.03 ^a	2.47±0.03 ^{ab}	2.37±0.00 ^c	2.49±0.01 ^{ab}	
苯丙氨酸质量分数*	1.68±0.00 ^c	1.68±0.00 ^c	1.73±0.01 ^b	1.96±0.00 ^a	1.75±0.02 ^b	1.69±0.00 ^c	
必需氨基酸质量分数	11.67±0.09 ^c	11.98±0.10 ^b	12.20±0.08 ^a	12.35±0.06 ^a	11.60±0.12 ^c	11.85±0.05 ^b	
总氨基酸质量分数	26.83±0.18 ^d	27.70±0.23 ^c	28.38±0.15 ^b	30.56±0.20 ^a	28.23±0.24 ^b	27.58±0.28 ^c	

注：*：人体必需氨基酸。

氨基酸是构成蛋白质的基本组成单位，也是人体必需的重要营养元素^[27]。由表4可以看出，干燥方式对辣木叶中的氨基酸有显著的影响，其中60℃热风干燥辣木叶总氨基酸质量分数最高，为30.56%，与其他干燥方式存在显著性差异（ $P<0.05$ ），阴干样品的总氨基酸质量分数最低，为26.83%。60℃与40℃热风干燥辣木叶人体必需氨基酸质量分数无显著性差异（ $P>0.05$ ），分别为12.35%与12.20%，与其他干燥方式存在显著性差异（ $P<0.05$ ），微波干燥样品的必需氨基酸质量分数最低，为11.60%。在各种氨基酸中，60℃热风干燥的谷氨酸与天冬氨酸质量分数最高，分别为5.19%与3.56%，与其他干燥方式存在显著性差异（ $P<0.05$ ），其次是微波干燥，分别为4.46%与3.39%，阴干样品质量分数最低，分别为3.60%与2.79%。谷氨酸有健脑作用，并使食味鲜美；精氨酸是生血（血红素和珠蛋白的生物合成）和促进钙质吸收的物质基础，还有降压作用；天冬氨酸具有特殊鲜味^[28]。在各种必需氨基酸中，40℃热风干燥、晒干、远红外干燥与60℃热风干燥样品的亮氨酸质量分数无显著性差异（ $P>0.05$ ），微波干燥样品的质量分数最低，为2.37%。远红外干燥、40℃热风干燥、晒干与阴干样品的赖氨酸质量分数无显著性差异（ $P>0.05$ ），微波干燥样品的质量分数最低，为1.83%。亮氨酸具有调节中

枢神经、大脑，调节肌肉、蛋白质代谢的作用，赖氨酸可以促进胃蛋白酶分泌、钙的吸收及在人体内的积累^[26]。总体来说，60℃热风干燥对辣木叶中氨基酸的影响较小，干燥效果较好。

2.4.2 不同干燥方式辣木叶中必需氨基酸组成评价

营养价值较高的食物蛋白质，不仅要求所含的必需氨基酸种类齐全，而且必需氨基酸之间的比例也要适宜，最好能与人体需要相符合，这样必需氨基酸吸收最完全，营养价值较高^[29]。根据不同干燥方式辣木叶中各氨基酸质量分数，计算得出必需氨基酸的质量分数，并与世界卫生组织/联合国粮食及农业组织（World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO/FAO）模式谱进行了比较，结果见表5。

表5 不同干燥方式辣木叶中人体必需氨基酸占总氨基酸的质量分数与WHO/FAO模式谱比较

Table 5 Proportions of essential amino acids in total amino acids in *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods in comparison with WHO/FAO recommended reference values

必需氨基酸	SDM	SCM	FAM	SAM	MDM	IDM	WHO/FAO 推荐值
异亮氨酸质量分数	4.55	4.58	4.55	4.32	4.29	4.57	4.0
亮氨酸质量分数	9.13	9.10	8.91	8.08	8.40	9.03	7.0
赖氨酸质量分数	7.01	7.04	6.94	6.02	6.48	7.18	5.5
蛋氨酸+胱氨酸质量分数	1.68	1.62	1.59	1.24	1.49	1.49	3.5
酪氨酸+苯丙氨酸质量分数	10.85	10.65	10.57	10.31	10.38	10.55	6.0
苏氨酸质量分数	5.37	5.31	5.43	5.33	5.53	5.29	4.0
缬氨酸质量分数	5.67	5.68	5.67	5.76	5.31	5.58	5.0
合计质量分数	44.26	43.98	43.66	41.06	41.88	43.69	35.0

由表5可以看出，不同干燥方式辣木叶中的酪氨酸+苯丙氨酸质量分数最高，为10.31%~10.85%，是WHO/FAO建议值的1.72~1.81倍，其中阴干辣木叶质量分数最高为10.85%，晒干较高，为10.65%，60℃热风干燥最低，为10.31%；其次是亮氨酸，质量分数为8.08%~9.13%，是WHO/FAO建议值的1.15~1.30倍，其中阴干辣木叶质量分数最高为9.13%，晒干样品的较高，为9.10%，60℃热风干燥最低，为8.08%；再次是赖氨酸，质量分数为6.02%~7.18%，是WHO/FAO建议值的1.09~1.31倍，其中远红外干燥辣木叶质量分数最高，为7.18%，晒干样品质量分数较高，为7.04%，60℃热风干燥最低，为6.02%。阴干辣木叶总氨基酸质量分数最高，为44.26%，60℃热风干燥最低，为41.06%，分别为WHO/FAO建议值的1.26倍与1.17倍。除蛋氨酸+胱氨酸等质量分数低于标准模式谱外，其他氨基酸的质量分数均高于标准模式谱。说明不同干燥方式辣木叶与推荐的人体必需氨基酸相比，必需氨基酸含量丰富且比较均衡，有很高的营养价值。

2.4.3 氨基酸比值系数法对不同干燥方式辣木叶中蛋白质营养价值的评价

各种食品蛋白质中氨基酸的组成比例都不相同，其营养价值的优劣主要取决于3个方面：一是所含必需氨基酸的种类是否齐全；二是必需氨基酸数量的多少；三是各种必需氨基酸的组成比例。为了对各种食品中氨基酸的营养价值进行评价，WHO/FAO于1973年提出了氨基酸比值系数法来评价蛋白质营养价值，即根据氨基酸平衡理论，利用WHO/FAO的必需氨基酸模式计算样品中必需氨基酸的氨基酸比值（ratio of amino acid, RAA）、氨基酸比值系数（ratio coefficient of amino acid, RC）和比值系数分（score of RC, SRC）^[26]。在该评价体系中，RAA及RC的数值越接近1，表明该必需氨基酸越接近WHO/FAO的推荐值；SRC的数值越接近100，表明该食品中各种必需氨基酸的含量越均衡，其营养价值就越高^[30]。不同干燥方式辣木叶氨基酸的RAA、RC及SRC的分析结果见表6。

表6 不同干燥方式辣木叶各种氨基酸的RAA、RC、SRC分析结果
Table 6 RAA, RC and SRC values in *Moringa oleifera* leaves subjected to different drying methods

样品	项目	WHO/FAO必需氨基酸参考模式							SRC
		异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	酪氨酸+苯丙氨酸	苏氨酸	缬氨酸	
SDM	RAA	1.14	1.30	1.27	0.48	1.81	1.34	1.13	67.46
	RC	0.94	1.08	1.05	0.40	1.49	1.11	0.94	
SCM	RAA	1.15	1.30	1.28	0.46	1.78	1.33	1.14	67.58
	RC	0.95	1.08	1.06	0.38	1.47	1.10	0.94	
FAM	RAA	1.14	1.27	1.26	0.45	1.76	1.36	1.13	67.40
	RC	0.95	1.06	1.05	0.38	1.47	1.13	0.95	
SAM	RAA	1.08	1.15	1.09	0.35	1.72	1.33	1.15	63.88
	RC	0.96	1.02	0.97	0.31	1.53	1.18	1.02	
MDM	RAA	1.07	1.20	1.18	0.43	1.73	1.38	1.06	65.73
	RC	0.93	1.04	1.02	0.37	1.50	1.20	0.92	
IDM	RAA	1.14	1.29	1.31	0.43	1.76	1.32	1.12	66.59
	RC	0.96	1.08	1.09	0.36	1.47	1.11	0.93	

由表6可以看出，不同干燥辣木叶氨基酸的SRC为63.88~67.58，其中晒干辣木叶氨基酸的SRC最高，为67.58，60℃热风干燥比值系数分最低为63.88。总体来说不同干燥方式辣木叶营养价值较高，在各种必需氨基酸中，第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸。

3 结 论

阴干、晒干、40℃热风干燥、60℃热风干燥、微波干燥与远红外干燥后辣木叶中的蛋白质、多酚、VE、β-胡萝卜素、VB₂、VC、VB₆、烟酸与泛酸含量存在显著性差异，粗脂肪、黄酮与多糖含量差异均不显著。不同干燥方式辣木叶感官品质差别较大，60℃热风干燥与远红外干燥感官品质较好。

干燥方式对辣木叶中氨基酸含量有较大影响，60℃热风干燥后样品的氨基酸总量最高，40℃热风干燥氨基酸总量较高，阴干氨基酸总量最低。60℃与40℃热风干燥后样品必需氨基酸含量最高，阴干样品必需氨基酸含量最低。晒干样品氨基酸的SRC最高，60℃热风干燥样品SRC最低。在各种必需氨基酸中，第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸。

综合比较6种干燥方式，阴干与晒干干燥周期较长，色泽品质较差，且受天气影响较大，营养成分低，且无香味。微波干燥与远红外干燥设备造价较高，营养成分与氨基酸含量相对较低。60℃热风干燥速度较快，营养、功能成分与氨基酸含量较高。综合多种因素考虑，60℃热风干燥较适于辣木鲜叶的干燥。

参考文献：

- [1] 刘昌芬, 李国华. 辣木的营养价值[J]. 热带农业科技, 2004, 27(1): 4-7; 29. DOI:10.3969/j.issn.1672-450X.2004.01.002.
- [2] VERMA A R, VIJAYAKUMAR M, MATHELA C S, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(9): 2196-2201.
- [3] TEIXEIRA E M B, CARVALHO M R B, NEVES V A, et al. Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* lam. leaves[J]. Food Chemistry, 2014, 147: 51-54.
- [4] 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.
- [5] AL-OWAISI M, AL-HADIWI N, KHAN S A. GC-MS analysis, determination of total phenolics, flavonoid content and free radical scavenging activities of various crude extracts of *Moringa peregrina* (Forssk.) fiori leaves[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2014, 4(12): 964-970.
- [6] MAKAR H P S, BECKER K. Nutrients and antiquity factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree[J]. Journal of Agricultural Science, 1997, 128(3): 311-322.
- [7] OLIVEIRA J T A, SILVEIRA S B, VASCONCELOS I M, et al. Compositional and nutritional attributes of seeds from the multiple purpose tree *Moringa oleifera* Lamarck[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(6): 815-820.
- [8] 盛军. 现代辣木生物学[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2015: 186.
- [9] 孙鸣燕. 辣木黄酮和多糖提取方法及其含量影响因素的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008: 3. DOI:10.7666/d.y1307523.
- [10] JAYAWARDANA B C, LIYANAGE R, LALANTHA N, et al. Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (*Moringa oleifera*) leaves in herbal chicken sausages[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 1204-1208.
- [11] COPPIN J P, JULIANI H R, WU Q L, et al. Variations in polyphenols and lipid soluble vitamins in *Moringa oleifera*[J]. Processing and Impact on Active Components in Food, 2015, 12: 655-663. DOI:10.1016/B978-0-12-404699-3.00079-2.
- [12] 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. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2014.09.035.
- [13] 马李一, 余建兴, 张重权, 等. 不同干燥方法对辣木叶营养价值的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 331-333. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.09.074.

- [14] 董全, 黄艾祥. 食品干燥加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 56-60.
- [15] 熊瑶. 辣木叶蛋白质提取及其饮品研制[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 9-10.
- [16] 曹连平, 王力民, 李锡军, 等. 色差仪的应用实践[J]. 印染, 2004, 24(6): 33-38. DOI:10.3321/j.issn:1000-4017.2004.24.013.
- [17] 张艺, 张甫生, 宋莹莹, 等. 干燥条件对青花椒色泽的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 23-27. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405005.
- [18] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 49-50; 62-63; 69-71; 105-107.
- [19] 郭刚军, 何美莹, 邹建云, 等. 苦荞黄酮的提取分离及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 373-376. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.12.083.
- [20] 陈瑞娇, 朱必凤, 王玉珍, 等. 辣木叶总黄酮的提取及其降血糖作用[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(4): 42-45. DOI:10.3321/j.issn:1673-1689.2007.04.009.
- [21] 李静, 聂继云, 毋永龙. Folin-Ciocalteus法测定马铃薯中的总多酚[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(1): 27-30. DOI:10.3969/j.issn.1672-3635.2014.01.008.
- [22] QWELE K, HUGO A, OYEDEMI S O, et al. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with *Moringa (Moringa oleifera)* leaves, sunflower cake and grass hay[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 455-462.
- [23] 陈树东, 林晓佳, 吴钟玲, 等. 固相萃取-高效液相色谱法测定植物油中的维生素E[J]. 现代食品科技, 2011, 27(6): 710-712. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2011.06.028.
- [24] 蒲明清, 戴舒春, 张连龙, 等. 超高效液相色谱法测定保健食品中的多种水溶性维生素[J]. 现代食品科技, 2012, 28(7): 886-889.
- [25] 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.
- [26] 郭刚军, 邹建云, 徐荣, 等. 澳洲坚果粕营养成分测定与氨基酸组成评价[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 421-423.
- [27] ERKAN N, ÖZDEN Ö. The changes of fatty acid and amino acid compositions in sea bream (*Sparus aurata*) during irradiation process[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2007, 76(10): 1636-1641.
- [28] 李安林, 熊双丽. 豇豆籽蛋白的氨基酸含量与营养价值评价[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(6): 147-150. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2008.06.042.
- [29] 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201501043.
- [30] 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.