

辣木在生长猪上的营养价值评定

庞家满¹ 韩丹丹¹ 谈苏贞² 杨富裕³ 赵应堂² 张 帅¹刘 岭¹ 臧建军¹ 王军军^{1*}

(1.中国农业大学动物科技学院,动物营养学国家重点实验室,北京 100193;2.贵州木辣达康养科技有限公司,晴隆 561401;3.中国农业大学草业科学与技术学院,北京 100193)

摘 要: 本试验通过在生长猪上测定辣木叶和辣木枝的消化能、代谢能和氨基酸标准回肠消化率,旨在评定辣木在生长猪上的营养价值。选择 24 头回肠末端安装 T 型瘘管的“杜×长×大”去势公猪,平均体重为(39.80±1.06) kg,随机分为 4 个组,分别饲喂无氮饲料、玉米-豆粕型基础饲料、辣木叶饲料和辣木枝饲料,每组 6 个重复。预饲 7 d 后,进行 4 d 消化代谢试验,收集全部粪尿,用于测定消化能和代谢能。消化代谢试验结束后,继续 2 d 收集回肠食糜用于测定氨基酸表观回肠消化率和标准回肠消化率。结果表明:与辣木枝相比,辣木叶含有较高含量的营养成分,尤其是粗蛋白质、粗脂肪和钙,含量分别为 26.29%、6.25%和 2.70%。辣木叶的消化能、代谢能和总能表观消化率分别为 9.35、8.24 MJ/kg 和 49.26%,辣木枝的消化能、代谢能和总能表观消化率分别为 7.51、6.03 MJ/kg 和 40.81%,辣木叶的有效能值和总能表观消化率显著高于辣木枝($P<0.05$)。辣木叶总必需氨基酸、总非必需氨基酸和粗蛋白质标准回肠消化率分别为 42.05%、42.59%和 49.03%,而辣木枝总必需氨基酸、总非必需氨基酸和粗蛋白质标准回肠消化率分别为 35.13%、37.31%和 40.15%,辣木叶的总必需氨基酸、总非必需氨基酸和粗蛋白质标准回肠消化率显著高于辣木枝($P<0.05$)。综上所述,辣木叶的消化能、代谢能和总必需氨基酸标准回肠消化率分别为 9.35、8.24 MJ/kg 和 42.05%,而辣木枝的消化能、代谢能和总必需氨基酸标准回肠消化率分别为辣木叶的 80.3%、73.3%和 83.5%。因此,辣木叶具有更高的营养价值,更适合作为生长猪的蛋白质饲料原料。

关键词: 辣木;消化能;代谢能;氨基酸标准回肠消化率;生长猪

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)01-0199-09

畜牧业快速发展使得我国饲料资源短缺,尤其是蛋白质饲料资源的短缺制约着我国畜牧业的生产,同时出现了人畜争粮的现象。因此,开发非常规原料成为缓解饲料资源短缺的重要手段之一。辣木(*Moringa oleifera* Lam.)为辣木科(Moringaceae)辣木属(*Moringa*)多年生植物,起源于印度,现广泛种植亚洲、非洲等热带地区^[1],在我国主要种植地区有云南、福建、广东等地。辣木叶不仅含有丰富的维生素和矿物质^[2-4],还有较高的

蛋白质和丰富的氨基酸,因而具有作为蛋白质饲料原料的潜力,弥补蛋白质饲料原料的不足^[3,5-7]。研究发现,添加 5%左右的辣木叶粉能够提高生长猪和育肥猪的生长性能,还能改善猪肉品质^[8-11]。另外,辣木中的黄酮含量高达 4%~7%^[12-13],且有很好的抗氧化功能^[13-14],添加辣木叶或提取物增强了育肥猪、蛋鸡和肉鸡的抗氧化能力,降低死淘率^[11,15-17]。目前,对辣木的营养价值评定还未见报道。因此,对辣木的营养价值评定有助于更好

收稿日期:2020-06-08

基金项目:国家生猪产业技术体系建设专项(CARS-35);农业财政项目(16190299)

作者简介:庞家满(1990—),男,重庆黔江人,博士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: pangjm@cau.edu.cn

* 通信作者:王军军,教授,博士生导师,E-mail: wangjj@cau.edu.cn

地利用辣木资源。本试验旨在研究辣木不同部位在生长猪中的营养价值评定,为辣木的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

辣木叶和辣木枝由贵州某生物科技有限公司提供,辣木叶和辣木枝采用 65 °C 烘干的方式获得,其营养成分见表 1。

表 1 辣木叶和辣木枝营养成分(干物质基础)

Table 1 Nutrient composition of *Moringa* leaf and *Moringa* twig (DM basis) %

项目 Items	辣木叶 <i>Moringa</i> leaf	辣木枝 <i>Moringa</i> twig
干物质 DM	93.62	93.25
钙 Ca	2.70	1.58
磷 P	0.34	0.28
粗蛋白质 CP	26.29	11.99
粗脂肪 EE	6.25	1.68
粗灰分 Ash	12.22	8.56
中性洗涤纤维 NDF	23.69	48.15
酸性洗涤纤维 ADF	12.16	34.39
总能 GE/(MJ/kg)	18.88	18.01
必需氨基酸 EAA		
精氨酸 Arg	1.38	0.53
组氨酸 His	0.58	0.25
异亮氨酸 Ile	1.12	0.50
亮氨酸 Leu	1.98	0.84
赖氨酸 Lys	1.42	0.62
蛋氨酸 Met	0.45	0.18
苯丙氨酸 Phe	1.47	0.54
苏氨酸 Thr	1.10	0.48
色氨酸 Trp	0.40	0.15
缬氨酸 Val	1.41	0.66
总必需氨基酸 TEAA	11.33	4.73
非必需氨基酸 NEAA		
丙氨酸 Ala	1.50	0.64
天冬氨酸 Asp	2.72	1.11
半胱氨酸 Cys	0.32	0.13
谷氨酸 Glu	3.47	1.64
甘氨酸 Gly	1.16	0.50
脯氨酸 Pro	1.14	0.48
丝氨酸 Ser	1.16	0.55
酪氨酸 Try	0.76	0.24
总非必需氨基酸 TNEAA	12.23	5.29
总氨基酸 TAA	23.56	10.02

1.2 试验设计和饲养管理

选择 24 头回肠末端安装有 T 型瘘管体重为 (39.80±1.06) kg 的“杜×长×大”生长去势公猪,随机分为 4 个组,分别饲喂无氮饲料、基础饲料、辣木叶饲料和辣木枝饲料,每个组 6 头猪。试验期预饲 7 d 后,进行 4 d 消化代谢试验,收集全部粪尿。消化代谢试验结束后继续 2 d 收集回肠食糜。按照体重的 4% 进行饲喂,试验期间每天饲喂 2 次,于 08:00 和 15:00 投喂,自由饮水,猪舍温度维持在 22 °C。

1.3 试验饲料

饲料参照 NRC(2012) 20~50 kg 生长猪营养需要配制。无氮饲料主要由玉米淀粉配制,基础饲料为玉米-豆粕型,试验饲料替代基础饲料中 15.5% 的玉米和豆粕,添加 0.4% 三氧化二铬 (Cr₂O₃) 作为外源指示剂。饲料组成及营养水平见表 2。

1.4 样品收集及处理

1.4.1 粪样和尿样的收集及处理

准确收集整个消化代谢试验期 4 d 所排出的粪尿,粪样按照全收粪法进行,随排随收,将样品收集后放入密封袋,-20 °C 保存,整个试验期结束后将样品充分混匀,加入 6 mol/L 盐酸 (HCl, 每 100 g 鲜粪加入 5 mL) 固氮,65 °C 烘箱中烘干至恒重,粉碎过 40 目筛,回潮 24 h 制成风干样,保存,待测。每天向收集尿样中加入 5%、6 mol/L HCl,充分混匀再按 1/20 取样,放入-20 °C 冰箱中保存备用,试验结束后将收集的尿样解冻并充分混匀,装入 50 mL 离心管,-20 °C 保存待检。取 5 mL 尿样滴加在定量滤纸上在 65 °C 干燥 8 h 用于能量测定^[18]。

1.4.2 食糜的收集及处理

食糜收集时间为 08:00—18:00,使用橡胶袋固定瘘管末端,连续收集 10 h,每次收集的食糜样品立即置于-20 °C 冰箱中保存。试验期结束后,取出食糜解冻,将每头猪的食糜样品混合均匀,分别取 500 g 样品在冻干机中冻干,室温下回潮 24 h,制成风干样,过 40 目筛。经超微粉碎机粉碎后,测定 Cr₂O₃ 含量^[18]。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 测定指标

干物质含量采用烘箱干燥法测定;粗脂肪含量采用索氏提取法测定;粗蛋白质含量采用凯氏

定氮法测定;钙、总磷和粗灰分含量参照 AOAC (2006) 方法测定;酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量采用 ANKOM-200 纤维分析仪测定;能量采用 PARR-1281 氧弹氏能量测定仪测定。食糜氨基酸含量:食糜在 6 mol/L HCl 110 °C 水解 24 h, 使用氨基酸自动分析仪(日立 L-8900, 日本)测定。含硫氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)含量:在

0 °C 下过氧乙酸氧化 16 h, 再经 6 mol/L HCl 110 °C 水解 24 h, 使用氨基酸自动分析仪(日立 L-8900, 日本)测定。色氨酸含量:经 4 mol/L 氢氧化锂 110 °C 水解后, 使用高效液相色谱(安捷伦-1200, 美国)测定。铬含量参照 GB/T 13088—2006 方法, 使用原子吸收光谱仪(日立 Z-2000, 日本)测定^[18-19]。

表 2 饲料组成及营养水平(饲喂基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of diets (as-fed basis)

%

项目 Items	无氮饲料 N-free diet	基础饲料 Basal diet	辣木叶饲料 <i>Moringa</i> leaf diet	辣木枝饲料 <i>Moringa</i> twig diet
原料 Ingredients				
玉米 Corn		74.95	63.33	63.33
辣木叶 <i>Moringa</i> leaf			15.03	
辣木枝 <i>Moringa</i> twig				15.03
豆粕 Soybean meal		22.00	18.59	18.59
玉米淀粉 Corn starch	74.30			
豆油 Soybean oil	3.00			
纤维素 Cellulose	4.00			
蔗糖 Sucrose	15.00			
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	0.40	0.40	0.40	0.40
碳酸钙 CaCO ₃	0.30	1.05	1.05	1.05
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸氢钙 CaHPO ₄	2.20	0.80	0.80	0.80
预混料 Premix ¹⁾	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
粗蛋白质 CP	1.17	14.86	16.89	14.59
粗灰分 Ash	3.17	4.62	5.75	5.31
干物质 DM	91.40	88.53	89.37	89.22
总能 GE/(MJ/kg)		16.24	16.44	16.27

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 5 512 IU, VD₃ 2 200 IU, VE 30 IU, VK₃ 2.2 mg, VB₁ 1.5 mg, VB₂ 27.6 mg, VB₅ 14 mg, VB₆ 3 mg, VB₁₂ 27.6 μg, 烟酸 niacin 30 mg, 氯化胆碱 choline chloride 400 mg, 叶酸 folacin 0.7 mg, 生物素 biotin 44 μg, Mn (as MnO) 40 mg, Fe (as FeSO₄ · H₂O) 75 mg, Zn (as ZnO) 75 mg, Cu (as CuSO₄ · 5H₂O) 100 mg, I (as KI) 0.3 mg, Se (as Na₂SeO₃) 0.3 mg。

2) 营养水平为测定值。Nutrient levels were measured values.

1.5.2 待测养分消化率^[18,20]

饲料消化能和代谢能计算公式如下:

饲料表观消化能 (MJ/kg) = (摄入的总能 - 排粪总能) / 摄入的饲料质量;

饲料表观代谢能 (MJ/kg) = (摄入的总能 - 排粪总能 - 排尿总能) / 摄入的饲料质量。

待测原料能值使用套算法, 计算公式如下:

能值 (MJ/kg) = [试验饲料能值 (1-X) ×

基础饲料能值] / X。

式中: X 为待测原料养分占混合饲料该养分比例(%), 能值可为消化能或代谢能。

氨基酸标准回肠消化率计算公式如下:

氨基酸表观回肠消化率 (%) = 100 × [1 - (待测饲料铬含量 × 食糜中氨基酸含量) / (食糜中铬含量 × 待测饲料氨基酸含量)] ;

回肠内源氨基酸损失 (%) = 食糜中氨基酸含量 ×

饲粮铬含量/食糜铬含量;

氨基酸标准回肠消化率(%) = 氨基酸表观回肠
消化率 + 100 × (回肠内源氨基酸损失/
待测饲粮氨基酸含量)。

饲粮及原料养分表观消化率计算公式如下:

饲粮养分表观消化率(%) = (摄入的养分量 -
粪中该养分量) / 摄入的养分量;

原料养分表观消化率(%) = [饲粮养分表观消化
率 - (1 - X) × 基础饲粮中该养分表观消化率] / X。

式中: X 为待测原料养分占混合饲粮该养分
比例(%)。

1.6 数据统计

数据采用 SAS 8.1 进行 *t* 检验, $P < 0.05$ 为差
异显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 为有显著差异趋势, 结果用
“平均值 ± 标准误”表示。

2 结果

2.1 辣木叶和辣木枝营养成分

辣木叶和辣木枝营养成分见表 1, 辣木叶中含
有丰富的钙, 钙含量高达 2.70%, 高于辣木枝。相
似的是, 辣木叶粗蛋白质含量高达 26.29%, 高
于辣木枝。另外, 辣木叶还含有较高含量的粗脂肪
和粗灰分, 但辣木枝的中性洗涤纤维和酸性洗涤
纤维含量高于辣木叶。辣木叶必需氨基酸中精氨
酸、赖氨酸、苯丙氨酸和苏氨酸含量较高, 含量分
别为 1.38%、1.42%、1.47% 和 1.10%, 支链氨基酸
含量也较高, 其中异亮氨酸含量为 1.12%、亮氨酸
含量为 1.98%、缬氨酸含量为 1.41%; 辣木叶非必

需氨基酸中天冬氨酸和谷氨酸含量最高, 分别为
2.72% 和 3.47%。辣木枝也有相似的结果, 但含量
均低于辣木叶。因此, 辣木叶更适合作为蛋白质
饲料原料。

2.2 辣木叶和辣木枝营养成分有效能值

由表 3 可知, 辣木叶的消化能、代谢能和总能
表观消化率分别为 9.35、8.24 MJ/kg 和 49.26%,
均显著高于辣木枝 ($P < 0.05$)。

2.3 辣木叶和辣木枝氨基酸表观回肠消化率和 标准回肠消化率

由表 4 可知, 辣木叶粗蛋白质表观回肠消化
率和标准回肠消化率显著高于辣木枝 ($P < 0.05$)。
辣木叶中的必需氨基酸异亮氨酸、赖氨酸、蛋氨
酸、苯丙氨酸、色氨酸和缬氨酸表观回肠消化率
和标准回肠消化率显著高于辣木枝 ($P < 0.05$), 组
氨酸表观回肠消化率和标准回肠消化率显著低于辣
木枝 ($P < 0.05$), 亮氨酸表观回肠消化率和标准回
肠消化率有高于辣木枝的趋势 ($0.05 \leq P < 0.10$),
而精氨酸和苏氨酸表观回肠消化率和标准回肠消
化率与辣木枝相比差异不显著 ($P > 0.05$); 辣木叶
中的非必需氨基酸天冬氨酸、半胱氨酸和丝氨酸
表观回肠消化率和标准回肠消化率显著高于辣木
枝 ($P < 0.05$), 丙氨酸和酪氨酸表观回肠消化率
和标准回肠消化率显著低于辣木枝 ($P < 0.05$), 而
谷氨酸表观回肠消化率和标准回肠消化率与辣木枝
相比差异不显著 ($P > 0.05$)。辣木叶中的总必需氨
基酸和总非必需氨基酸表观回肠消化率和标准回
肠消化率显著高于辣木枝 ($P < 0.05$)。

表 3 辣木叶和辣木枝有效能值及总能表观消化率(干物质基础)

Table 3 Effective energy value and apparent digestibility of gross energy in
Moringa leaf and *Moringa* twig (DM basis)

项目 Items	辣木叶 <i>Moringa</i> leaf	辣木枝 <i>Moringa</i> twig	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
消化能 DE/(MJ/kg)	9.35±0.51 ^a	7.51±0.42 ^b	0.029
代谢能 ME/(MJ/kg)	8.24±0.61 ^a	6.03±0.32 ^b	0.014
总能表观消化率 Apparent digestibility of gross energy/%	49.26±2.26 ^a	40.81±2.08 ^b	0.024

同行数据肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with no letter super-
scripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

3 讨论

目前, 我国传统蛋白质饲料资源短缺, 已经成

为制约畜牧业发展的重要因素, 因此开发新型的
蛋白质饲料资源是动物营养研究的重要方向之
一。辣木是一种热带、亚热带作物, 在我国的云

南、海南、广东、四川、福建和贵州等省份都有分布^[1]。辣木生长迅速,含有丰富的营养物质,辣木叶的蛋白质含量为 27%左右,可以作为一种新型的蛋白质资源。本试验通过测定辣木叶和辣木枝中的营养成分,结果表明辣木叶粗蛋白质、氨基酸、粗脂肪、钙、磷含量和总能均高于辣木枝,但辣木叶中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量低于辣木枝,因此辣木叶更适合作为猪的蛋白质饲料^[2]。与辣木叶相比,辣木枝含有较高的粗纤维,但研究

发现辣木枝在肉牛瘤胃的有效降解率与羊草相似^[21],因而对于反刍动物是很好的饲料资源。本试验测定的辣木叶氨基酸和粗蛋白质的含量与周丹蓉等^[7]测定的辣木老叶中的含量接近,而辣木枝的营养成分含量与张婷婷等^[21]报道的相似,但本试验辣木叶中的赖氨酸含量偏低,且辣木枝营养成分与已有报道存在一定差异,可能是采集时间和采集部位、不同干燥方式以及生长地区造成的^[3-4,7,22]。

表 4 辣木叶和辣木枝氨基酸表观回肠消化率和标准回肠消化率(干物质基础)

Table 4 Apparent ileal digestibility and standardized ileal digestibility of amino acids in *Moringa* leaf and *Moringa* twig (DM basis)

项目 Items	表观回肠消化率 Apparent ileal digestibility			标准回肠消化率 Standardized ileal digestibility		
	辣木叶 <i>Moringa</i> leaf	辣木枝 <i>Moringa</i> twig	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	辣木叶 <i>Moringa</i> leaf	辣木枝 <i>Moringa</i> twig	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
粗蛋白质 CP	43.91±0.70 ^a	34.22±0.65 ^b	<0.001	49.03±0.70 ^a	40.15±0.65 ^b	<0.001
必需氨基酸 EAA						
精氨酸 Arg	51.70±1.54	48.78±1.79	0.262	54.42±1.54	51.87±1.79	0.321
组氨酸 His	26.17±0.50 ^b	52.53±0.35 ^a	<0.001	28.91±0.50 ^b	55.47±0.35 ^a	<0.001
异亮氨酸 Ile	34.81±0.73 ^a	28.69±1.72 ^b	0.017	37.60±0.73 ^a	31.79±1.72 ^b	0.021
亮氨酸 Leu	34.84±1.60	28.85±2.40	0.083	37.02±1.60	31.27±2.40	0.093
赖氨酸 Lys	43.04±3.77 ^a	30.64±1.97 ^b	0.027	45.82±3.77 ^a	33.61±3.77 ^b	0.028
蛋氨酸 Met	33.77±2.29 ^a	26.59±0.31 ^b	0.021	35.94±2.29 ^a	28.97±0.31 ^b	0.024
苯丙氨酸 Phe	47.54±1.99 ^a	35.38±1.61 ^b	0.003	50.06±1.99 ^a	38.33±1.61 ^b	0.004
苏氨酸 Thr	34.15±3.61	39.99±0.43	0.159	39.05±3.61	45.52±0.43	0.126
色氨酸 Trp	49.75±1.17 ^a	29.12±0.79 ^b	<0.001	54.73±1.17 ^a	34.79±0.79 ^b	<0.001
缬氨酸 Val	35.03±1.65 ^a	26.04±0.47 ^b	0.002	38.54±1.65 ^a	29.94±0.47 ^b	0.002
总必需氨基酸 TEAA	38.83±1.57 ^a	31.55±0.89 ^b	0.002	42.05±1.57 ^a	35.13±0.89 ^b	0.009
非必需氨基酸 NEAA						
丙氨酸 Ala	39.23±1.86 ^b	60.95±0.98 ^a	<0.001	42.55±1.86 ^b	64.73±0.98 ^a	<0.001
天冬氨酸 Asp	50.32±1.18 ^a	28.00±0.42 ^b	<0.001	53.23±1.18 ^a	31.25±0.42 ^b	<0.001
半胱氨酸 Cys	22.61±0.44 ^a	9.58±0.49 ^b	<0.001	27.39±0.44 ^a	14.90±0.49 ^b	<0.001
谷氨酸 Glu	39.84±3.90	43.35±0.26	0.404	41.86±3.90	45.51±0.26	0.387
丝氨酸 Ser	42.27±3.12 ^a	32.41±1.51 ^b	0.029	45.96±3.12 ^a	36.47±1.51 ^b	0.034
酪氨酸 Try	28.30±1.87 ^b	70.15±2.77 ^a	<0.001	31.24±1.87 ^b	78.73±2.77 ^a	<0.001
总非必需氨基酸 TNEAA	38.09±1.67 ^a	32.34±1.02 ^b	0.026	42.59±1.67 ^a	37.31±1.02 ^b	0.035

目前,辣木叶和辣木枝在生长猪上的营养价值评定还未见报道,本试验测定了生长猪阶段辣木叶和辣木枝的有效能值。辣木叶的消化能和代谢能分别为 9.35 和 8.24 MJ/kg,陆唯^[17]在蛋鸡中测得的辣木叶表观代谢能为 8.51 MJ/kg,本试验与该结果相似。辣木枝的消化能和代谢能分别为

8.24 和 6.03 MJ/kg,均显著低于辣木叶,这可能是辣木枝中纤维含量高造成的,有研究表明,纤维含量增加会降低饲料的消化能^[23-24]。本试验结果发现,辣木叶和辣木枝的消化能较低,一方面与原料中含有较高的纤维有关^[25];另一方面,饲料中的抗营养因子能够降低原料的营养物质的消化率^[26]。辣木叶和辣木枝中还含有许多的抗营养因子,如

皂苷、酚类、植酸和单宁等^[25],这可能是降低辣木叶和辣木枝有效能值的另一原因。

本试验中,辣木叶中组氨酸、丙氨酸和酪氨酸表观回肠消化率和标准回肠消化率低于辣木枝,但辣木叶氨基酸消化率总体高于辣木枝。饲料中氨基酸表观回肠消化率和标准回肠消化率的差异与饲料中的纤维含量和抗营养因子含量有关^[26-28]。辣木叶的纤维含量比辣木枝的含量低,这是辣木叶中粗蛋白质和氨基酸消化率总体高于辣木枝的主要原因^[23]。但辣木叶和辣木枝氨基酸消化率较低,这还与辣木中的抗营养因子含量有关。辣木中皂苷、酚类、植酸和单宁含量较高,辣木叶中皂苷含量高达8.1%^[25],皂苷与蛋白质形成复合物抑制蛋白质的消化,降低蛋白质和氨基酸的消化率^[29]。单宁通过降低小肠胰蛋白酶和空肠黏膜的氨基肽酶活性,减少对蛋白质的消化^[30-31],此外单宁还能与饲料中蛋白质相互作用阻碍消化酶的消化作用^[26],同时损伤肠道细胞影响氨基酸的吸收^[32]。植酸也可以与消化酶如羧肽酶或其消化酶辅助矿物质因子相互作用对消化酶活性产生负面影响^[27],降低对蛋白质和氨基酸的消化。一致的是,Falowo等^[2]总结了辣木叶在畜禽最适的添加水平为5%,过高的添加量会降低其生长性能^[8]。相似的是,在14~60 kg生长猪阶段5%辣木叶添加量具有最佳的生长性能^[9]。Serem等^[10]在26~65 kg生长猪阶段添加3%~6%辣木叶粉具有最佳的饲料转化效率。本实验室的研究也发现在生长猪阶段使用辣木叶替代2%~6%豆粕不影响其生长性能,但在4%替代组具有最佳生长性能。以上结果表明过高的辣木叶添加量会影响生长猪的生长性能,这与辣木叶的消化利用率有关,也同本试验测定的有效能值和氨基酸消化率结果相似。

综上所述,在生长猪阶段辣木叶的有效能值和粗蛋白质含量显著高于辣木枝,氨基酸消化率整体高于辣木枝,因此辣木叶更适合作为生长猪阶段的蛋白质饲料原料。

4 结 论

本试验测定了辣木叶和辣木枝的有效能值和氨基酸消化率,其中辣木叶的消化能、代谢能和总必需氨基酸标准回肠消化率分别为9.35、8.24 MJ/kg和42.05%,辣木枝的消化能、代谢能和

总必需氨基酸标准回肠消化率分别为辣木叶的80.3%、73.3%和83.5%,辣木叶具有更高的有效能值和氨基酸消化率,更适合作为生长猪的蛋白质饲料原料。

参考文献:

- [1] 黄丽娜,程世敏,赵增贤,等.我国辣木产业发展的现状与前景[J].贵州农业科学,2016,44(7):104-107.
HUANG L N, CHENG S M, ZHAO Z X, et al. Current situation and prospects of *Moringa oleifera* industry in China[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44(7): 104-107. (in Chinese)
- [2] FALOWO A B, MUKUMBO F E, IDAMOKORO E M, et al. Multi-functional application of *Moringa oleifera* Lam. in nutrition and animal food products; a review [J]. Food Research International, 2018, 106: 317-334.
- [3] 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.
GAO M X, WANG X A, YE X F, et al. Variance analysis for nutritional components in *Moringa oleifera* Lam. leaves picked from different positions of branches [J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(8): 1488-1492. (in Chinese)
- [4] 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.
LIU C F, WU Y, LONG J M. Nutrients of drumstick tree leaf of different varieties and producing area [J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2003, 26(4): 1-2, 14. (in Chinese)
- [5] 段琼芬,陈思多,马李一,等.开拓辣木饲料产业的可行性和必要性分析[J].江苏农业科学,2009(1):10-12.
DUAN Q F, CHEN S D, MA L Y, et al. Possibility and necessity of exploiting the *Moringa oleifera* fodde industry [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2009(1): 10-12. (in Chinese)
- [6] 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.
YANG D S, FAN J L, SHAO J L, et al. Comparative analysis of nutritional components and amino acid composition of different parts of *Moringa oleifera* Lam. [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,

- 2015,43(9):1110-1115.(in Chinese)
- [7] 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.
- ZHOU D R, WANG X A, YE X F, et al. Analysis and nutritional value evaluation of amino acids in *Moringa* [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(2): 278-282. (in Chinese)
- [8] MUKUMBO F E, MAPHOSA V, HUGO A, et al. Effect of *Moringa oleifera* leaf meal on finisher pig growth performance, meat quality, shelf life and fatty acid composition of pork[J]. South African Journal of Animal Science, 2014, 44(4):388-400.
- [9] ODURO-OWUSU A D, KAGYA-AGYEMANG J K, ANNOR S Y, et al. Growth performance, carcass characteristics and economic efficiency of using graded levels of *Moringa* leaf meal in feeding weaner pigs [J]. American Journal of Experimental Agriculture, 2015, 7(3):190-196.
- [10] SEREM J K, WAHOME R G, GAKUYA D W, et al. Growth performance, feed conversion efficiency and blood characteristics of growing pigs fed on different levels of *Moringa oleifera* leaf meal [J]. Journal of Veterinary Medicine and Animal Health, 2017, 9(11):327-333.
- [11] 张婷婷,张博,司丙文,等.辣木叶对育肥猪生长性能、屠宰性能、抗氧化功能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):255-261.
- ZHANG T T, ZHANG B, SI B W, et al. Effects of *Moringa* leaf on growth performance, slaughter performance, antioxidant function and meat quality of finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(1):255-261. (in Chinese)
- [12] PAKADE V, CUKROWSKA E, CHIMUKA L. Comparison of antioxidant activity of *Moringa oleifera* and selected vegetables in South Africa[J]. South African Journal of Science, 2013, 109(3/4):1-5.
- [13] 岳秀洁,李超,扶雄.超声提取辣木叶黄酮优化及其抗氧化活性[J].食品工业科技,2016,37(1):226-231.
- YUE X J, LI C, FU X. Optimization of ultrasonic extraction of flavonoids from *Moringa stenopetala* leaves and their antioxidant activities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1):226-231. (in Chinese)
- [14] LUQMAN S, SRIVASTAVA S, KUMAR R, et al. Experimental assessment of *Moringa oleifera* leaf and fruit for its antistress, antioxidant, and scavenging potential using *in vitro* and *in vivo* assays[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2012, 2012(4):519084.
- [15] 刘娇,常文环,陈志敏,等.日粮中添加辣木提取物对AA肉鸡生产性能、屠宰性能、肉品质及血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2019,46(2):414-423.
- LIU J, CHANG W H, CHEN Z M, et al. Effect of *Moringa oleifera* Lam. extract on production performance, slaughter performance, meat quality and serum biochemical indexes in AA broilers[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2019, 46(2):414-423. (in Chinese)
- [16] 刘娇,常文环,陈志敏,等.爱拔益加肉鸡对饲料中添加的辣木提取物的耐受性评价[J].动物营养学报,2019,31(2):839-849.
- LIU J, CHANG W H, CHEN Z M, et al. Tolerance of Arbor Acres broilers to *Moringa oleifera* Lam. extract in Diet [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(2):839-849. (in Chinese)
- [17] 陆唯.辣木叶对产蛋鸡生产性能、蛋品质和抗氧化性能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2017.
- LU W. Effects of dietary supplementation of *Moringa oleifera* leaf on laying performance, egg quality and antioxidant capacity of laying hens[D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017. (in Chinese)
- [18] HUANG B B, HUANG C F, LYU Z Q, et al. Available energy and amino acid digestibility of defatted rice bran fed to growing pigs[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(8):3138-3150.
- [19] 付敏.菜籽饼混菌固态发酵工艺及发酵产品在生长猪上的营养价值评定[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2013.
- FU M. Solid-state fermentation of rapeseed cake with multi-strains and nutritional evaluation of fermented rapeseed cake in growing-pigs[D]. Master's Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [20] 赵明明.肉用绵羊常用粗饲料原料代谢能的预测模型研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.
- ZHAO M M. Prediction models of the metabolizable energy content of roughages commonly fed to mutton sheep[D]. Master's Thesis. Urumchi: Xinjiang Agri-

- cultural University, 2016. (in Chinese)
- [21] 张婷婷, 张博, 李媛, 等. 辣木在肉牛瘤胃中的降解特性研究[J]. 粮食与饲料工业, 2017(8): 43-48.
ZHANG T T, ZHANG B, LI Y, et al. Ruminal degradability characteristics of *Moringa* in the beef cattle[J]. Cereal & Feed Industry, 2017(8): 43-48. (in Chinese)
- [22] 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.
GUO G J, HU X J, XU R, 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)
- [23] NOBLET J, LE GOFF G. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2001, 90(1/2): 35-52.
- [24] WENK C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig[J]. Animal Feed Science and Technology, 2001, 90(1/2): 21-33.
- [25] MAKKAR H P S, BECKER K. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree[J]. The Journal of Agricultural Science, 1997, 128(3): 311-322.
- [26] GILANI G S, COCKELL K A, SEPEHR E. Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods[J]. Journal of AOAC International, 2005, 88(3): 967-987.
- [27] GILANI G S, XIAO C W, COCKELL K A. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality[J]. British Journal of Nutrition, 2012, 108(Suppl.2): S315-S332.
- [28] SOUFFRANT W B. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig[J]. Animal Feed Science and Technology, 2001, 90(1/2): 93-102.
- [29] FRANCIS G, KEREM Z, MAKKAR H P S, et al. The biological action of saponins in animal systems: a review[J]. British Journal of Nutrition, 2002, 88(6): 587-602.
- [30] JANSMAN A, ENTING H, VERSTEGEN M W A, et al. Effect of condensed tannins in hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) on the activities of trypsin (EC 2.4.21.4) and chymotrypsin (EC 2.4.21.1) in digesta collected from the small intestine of pigs[J]. British Journal of Nutrition, 1994, 71(4): 627-641.
- [31] VAN LEEUMEN P, JANSAM A J M, WIEBENGA J, et al. Dietary effects of faba-bean (*Vicia faba* L.) tannins on the morphology and function of the small-intestinal mucosa of weaned pigs[J]. British Journal of Nutrition, 1995, 73(1): 31-39.
- [32] MAKKAR H P S. Antinutritional factors in foods for livestock[J]. BSAP Occasional Publication, 1993, 16: 69-85.

Nutritional Value Evaluation of *Moringa oleifera* Lam. in Growing Pigs

PANG Jiaman¹ HAN Dandan¹ TAN Suzhen² YANG Fuyu³ ZHAO Yingtang² ZHANG Shuai¹
LIU Ling¹ ZANG Jianjun¹ WANG Junjun^{1*}

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Guizhou Mulada Kangyang Technology Company Limited, Qinglong 561401, China; 3. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: This study was conducted to determine the digestible energy (DE), metabolizable energy (ME) and standardized ileal digestibility (SID) of amino acids in *Moringa* leaf and *Moringa* twig in growing pigs, and aimed to evaluate the nutritional value of *Moringa oleifera* Lam. in growing pigs. A total of 24 crossbred (Duroc×Landrace×Large White) barrows of (39.80±1.06) kg fitted with a T-cannula at the distal ileum were divided into 4 groups with 6 replicates per group. Pigs in the 4 groups were fed the N-free diet, corn-soybean type basal diet, *Moringa* leaf diet and *Moringa* twig diet, respectively. The DE and ME of *Moringa* leaf and *Moringa* twig were determined by a 7-day diet adaptation and a 4-day digestion and metabolism experiment with all feces and urine collection. After the digestion and metabolism experiment, the ileal digesta was collected for 2 days to determine the apparent ileal digestibility and standardized ileal digestibility of amino acids. The results showed that, compared with *Moringa* twig, *Moringa* leaf contained higher nutrient content, especially in crude protein, ether extract and calcium, with contents of 26.29%, 6.25% and 2.70%, respectively. The DE, ME and apparent digestibility of gross energy of *Moringa* leaf were 9.35, 8.24 MJ/kg and 49.26%, respectively, which were significantly higher than those of *Moringa* twig (7.51, 6.03 MJ/kg and 40.81%, respectively) ($P<0.05$). Similarly, the standardized ileal digestibility of total essential amino acids, total non-essential amino acids and crude protein of *Moringa* leaf were 42.05%, 42.59% and 49.03%, respectively, which were significantly higher than those of *Moringa* twig (35.13%, 37.31% and 40.15%, respectively) ($P<0.05$). In conclusion, The DE, ME and standardized ileal digestibility of total essential amino acids of *Moringa* leaf are 9.35, 8.24 MJ/kg and 42.05%, respectively, while DE, ME and standardized ileal digestibility of total essential amino acids of *Moringa* twig were 80.3%, 73.3% and 83.5% of those of *Moringa oleifera*, respectively. Therefore, compared with *Moringa* twig, *Moringa* leaf has higher nutritional values and is more suitable as a protein feed source for growing pigs. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(1): 199-207]

Key words: *Moringa oleifera* Lam.; digestible energy; metabolizable energy; standardized ileal digestibility of amino acids; growing pigs