

亚麻仁饼(粕)在畜禽饲料应用中的研究进展

金鑫燕^{1,2} 荆秀芳³ 吴海玥^{1,2} 郝力壮^{1,2*} 常禧^{1,2} 赵婷静^{1,2}

(1. 青海大学 省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 西宁 810016;

2. 青海省畜牧兽医科学院, 西宁 810016;

3. 民和荆兴特色养殖有限公司, 青海 民和 810806)

摘要 为系统了解亚麻仁饼(粕)在国内外畜禽饲料中的研究现状以及今后亚麻仁饼(粕)及其他亚麻副产品在畜禽饲料中的有效利用,对我国亚麻分型及产地、亚麻仁饼(粕)的饲料成分、营养价值、有毒有害物质以及在国内外反刍动物、猪和家禽饲料中的研究进展进行综述。亚麻仁饼(粕)是营养丰富的畜禽蛋白饲料原料,其粗蛋白质及赖氨酸含量相对大豆粕、棉籽粕、菜籽粕、花生仁粕较低,适合与其他含赖氨酸高的蛋白质饲料混合搭配饲喂;但因氢氰酸毒性限制了其饲料中用量,猪日粮中最高适宜用量8%~10%,反刍动物日粮中可增加至20%,家禽饲料中的适宜饲喂量还有待继续研究。亚麻仁饼(粕)毒性的降低及与其他饼粕的搭配比例是今后其作为畜禽饲料研究的重点;另外,亚麻仁饼(粕)含有丰富的亚麻酸C18:3,可针对性地提高动物产品附加值。

关键词 亚麻仁饼(粕); 畜禽; 蛋白饲料; 亚麻酸

中图分类号 S816.43

文章编号 1007-4333(2017)11-0094-07

文献标志码 A

Research progress on application of linseed cake (meal) in livestock and poultry feed

JIN Xinyan^{1,2}, JING Xiufang³, WU Haiyue^{1,2}, HAO Lizhuang^{1,2*}, CHANG Xi^{1,2}, ZHAO Tingjing^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Plateau Ecology and Agriculture, Qinghai University, Xining 810016, China;

2. Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining 810016, China;

3. Minhe Jingxing Special Cultivation Co. Ltd., Minhe 810806, China)

Abstract In order to systematically understand the research status of linseed cake (meal) as animal feed at home and abroad, as well as investigate effective utilization of linseed cake (meal) and other by-products of linseed as animal feed in the future, research progress of linseed cake (meal) as animal feed is reviewed based on classification and origin of Chinese linseed, ingredients and nutritional value of linseed cake (meal), toxic and harmful substances, and linseed cake research progress of ruminant animals, pigs, poultry at home and abroad. Linseed cake (meal) is rich in protein. Its crude protein and lysine content are relatively less than soybean meal, peanut meal and cottonseed meal. It is better feed when it is mixed with other high lysine protein feed. Because of its hydrocyanic acid toxicity, its proportion in feed is limited. Therefore, the maximal proportion in pig and ruminant diet are 8% - 10% and 20%, respectively. Its optimal proportion in poultry feed is remained to be investigated. Decreasing hydrocyanic acid toxicity in linseed cake (meal) and collocation ratio of cake are research emphasis in the future. Linseed cake (meal), which is rich in linolenic acid, can be applied to improve the value of animal product.

Keywords linseed cake (meal); livestock and poultry; protein feed; linolenic acid

收稿日期: 2016-11-30

基金项目: 青海省科技厅星火计划项目(2015-NK-307)

第一作者: 金鑫燕, 硕士, 助理研究员, 主要从事动物遗传育种及生态养殖研究, E-mail: 396192441@qq.com

通讯作者: 郝力壮, 副研究员, 主要从事动物营养学研究, E-mail: lizhuanghao1122@foxmail.com

亚麻(Linseed),属于一年生或多年生草本植物,是一种韧皮纤维及油料作物,起源于地中海沿岸及近中东地区。不同国家区分亚麻类型有不同标准。我国将栽培种划分为纤维用亚麻、油用亚麻、油纤两用亚麻 3 个类型。中国于 1906 年从日本引入纤维型亚麻,主要种植于吉林、黑龙江两省,作为世界十大油料作物之一的油用亚麻,在中国有 1 000 多年种植历史。我国目前种植的亚麻多为兼(两)用型(即胡麻,植物学名为 *Linum usitatissimum* L.),主要分布在西北地区,约占国内总播种面积的 90%^[1]。

亚麻含有 34% 的油脂,富含亚麻酸、油酸、亚油酸等物质,其籽实脱脂后的副产品称为“亚(胡)麻仁饼(粕)”^[2],除可用作肥料外^[3],也是具有丰富营养的牲畜蛋白源饲料,能促进胃肠蠕动并改善被毛。因为赖氨酸(Lys)含量低,饲喂时需配比其他 Lys 含量高的蛋白质饲料^[4]。全国亚麻仁饼(粕)年产量大约 30 多万吨^[5],西北地区为主产区,甘肃、新疆产量最高,其次是青海、陕西。然而,亚麻仁饼(粕)因地域限制,作为畜禽饲料的研究报道相对较少,利用率较低,但是经过科学的加工处理,可循环利用。

鉴于此,本研究通过查阅近 20 年国内外在该领域的研究资料,对亚麻饼(粕)在畜禽饲料中的研究进展进行阐述,探讨其营养价值和毒性,并对其应用前景进行展望,以期为今后亚麻饼(粕)在畜禽饲料中的合理利用提供依据。

1 亚麻仁饼(粕)饲料成分与营养价值

亚麻仁饼(粕)(Linseed cake, LSC),因加工方式不同而命名,通过物理方式机榨叫饼,通过化学方式浸提或预压叫粕。亚麻仁饼(粕)的营养成分受壳仁比率、残油率、原料质地、加工方式等因素的影响。亚麻仁饼及亚麻仁粕中粗蛋白质及各种氨基酸含量与棉、菜籽饼(粕)近似,含 16.9~18.4 MJ/kg 总能,1.16% 赖氨酸,0.47% 色氨酸,0.56% 半胱氨酸,0.47% 蛋氨酸,0.3 mg/kg 胡萝卜素,2.6 mg/kg 硫胺素,4.1 mg/kg 核黄素,39.4 mg/kg 烟酸,16.5 mg/kg 泛酸,1672 mg/kg 胆碱^[6]。中国亚麻仁粕与其他蛋白源饲料成分及营养价值对比表见表 1^[7]。亚麻仁粕粗蛋白质及赖氨酸含量相对较低,而亚麻酸 C18:3(十八碳三烯酸)含量最高(表 1)。

表 1 中国蛋白源饲料成分表

Table 1 Composition of protein source feed ingredient in China

成分 Ingredient	%				
	大豆粕 Soybean meal 5-10-0102	棉籽粕 Cotton seed meal 5-10-0117	菜籽粕 Rapeseed meal 5-10-0121	花生仁粕 Peanut meal 5-10-0115	亚麻仁粕 Linseed meal 5-10-0120
干物质 DM	89	90	88	88	88
粗蛋白 CP	44.2	43.5	38.6	47.8	34.8
赖氨酸 Lys	2.68	1.97	1.30	1.40	1.16
粗纤维 CF	5.9	10.5	11.8	6.2	8.2
粗灰分 Ash	6.1	6.6	7.3	5.4	6.6
钙 Ca	0.33	0.28	0.65	0.27	0.42
总磷 P	0.62	1.04	1.02	0.56	0.95
粗脂肪 EE	1.9	0.5	1.4	1.4	1.8
总脂肪酸 TFA	76.0	74.9	79.4	74.9	74.5
亚麻酸 C18:3 TFA	7.4	0.2	9.8	0.2	54.2

注:数据引用自参考文献[7]。

Note: Data is adapted from reference [7].

2 亚麻仁饼(粕)有毒有害物质及适宜饲喂量

2.1 亚麻仁饼(粕)中主要有毒有害物质

亚麻仁饼粕中的抗营养因子有生氰糖苷、抗维生素 B6、亚麻籽胶等。生氰糖苷存在于亚麻籽的壳、仁和茎叶中,其本身没有毒性,在自身所含亚麻酶作用下生成氢氰酸而有毒,因此限制了其在动物饲料中的使用量。一般亚麻仁饼(粕)可生成的氢氰酸量约为 12 mg/kg,少量的氢氰酸在动物体内可自行解毒,但当亚麻仁饼(粕)用量过大时,可引起中毒^[8]。亚麻籽胶主要成分是乙醛糖酸,单胃动物无法消化利用,饲喂过多会影响畜禽食欲^[9]。鉴于上述主要抗营养因子及毒性,要严格控制亚麻仁饼粕在动物饲料中的使用量。

2.2 亚麻仁饼粕减毒处理及适宜饲喂量

亚麻仁饼(粕)作饲料时,应提前实施减毒处理。较常用的方法是:先粉碎亚麻仁饼(粕),再加入 4~5 倍温水,浸泡 8~12 h 后沥干水,重新加入适量清水煮沸约 1 h。在煮时敞开锅盖不断搅拌,并加入食醋,以尽量挥发氢氰酸^[10]。猪饲喂量应控制在日粮总量的 10%,反刍动物的饲喂量可控制在 20%左右^[11]。截止目前,科研人员建立了各种生氰糖苷脱毒方法,有高压蒸煮、烘烤、挤压、水煮、溶剂脱毒^[12]、微生物发酵和酶法^[13]。

3 亚麻仁饼(粕)在国内外动物饲料中的应用进展

3.1 在反刍动物饲料中的应用进展

亚麻仁饼粕因适口性好,在牛羊饲料中广泛使用,能显著提高奶牛产奶量及牛羊育肥效果,是反刍动物较好的蛋白质饲料,可作为单一蛋白质饲料饲喂,若配合其他蛋白质饲料可有效预防脂肪变软^[14]。在奶牛日粮中以全油籽、油籽副产品如饼或粕以及液体油的形式加入植物油,会降低饲料消耗率,降低产奶量以及乳脂含量^[15]。Benchar 等^[16]研究表明在奶牛日粮中添加 4% 的亚麻籽油对瘤胃发生进程、消化率或产奶量没有负面影响,日产奶量随着亚麻籽油的增加而呈直线增长趋势。在动物饲料中补充油料作物来改善牛奶脂肪中脂肪酸结构已得到普遍认同^[17-18]:有研究表明添加亚麻籽组所产牛奶比未添加组所产牛奶中多不饱和脂肪酸和低饱和脂肪酸浓度增加,一方面油籽中的不饱和脂肪酸减

弱了牛奶中饱和脂肪酸的浓度^[19],另一方面增加了诸如 n-3 FA、cis-9、tran-11、C18:2^[20]、C18:3 以及共轭亚油酸等的份额比例^[21],减少了 C16:0^[22]。而牛奶脂肪酸浓度的改变降低了牛奶的营养价值,因此适当平衡的饮食对奶牛瘤胃是非常重要的^[23]。对以玉米-饲草青贮为基础的荷斯坦奶牛日粮中添加菜籽饼和亚麻仁饼对比饲喂 70 d 后结果表明,饲喂菜籽饼和亚麻仁饼在乳脂肪、乳蛋白、乳糖及产奶量方面没有明显的差异,除此之外,母牛血清中的生化指标并没有表现出对动物健康的负面影响。菜籽饼和亚麻仁饼具有相似的饲喂价值,饲喂亚麻仁饼的奶牛乳脂肪中脂肪酸结构有轻微的改善,并认为这对欧洲并没有实际的意义,菜籽饼因为更容易获得且价格低廉,更受欢迎^[24]。Tafa 等^[25]对 Arsi-Bale 绵羊日粮中添加亚麻仁饼和小麦麸来研究饲料消化率和屠宰性能,发现仅饲喂干草的对照组绵羊体重每天减轻 1.5 g,而补饲组每头每天增重 69.0~104.1 g,补饲组的粗蛋白质消化率和吸收率更高,补饲亚麻仁饼或亚麻仁饼与小麦麸混合物比单纯补饲小麦麸日增重高,说明补饲不同比例的混合饲料效果更好,而单纯饲喂干草经济效益减少。对 Sidama 山羊补饲棉籽饼、亚麻仁饼研究表明,补饲组日增重和最终体重都比仅饲喂天然牧草的对照组高,补饲亚麻仁饼组的有机质和粗蛋白质消化率高于补饲棉籽饼组,两补饲组在粗蛋白质吸收、日增重以及胴体品质方面具有相似的效果^[26]。

3.2 在猪饲料中的应用进展

亚麻仁饼(粕)在国内外猪饲料中的应用报道均较少见。苗静平^[27]对妊娠后期和泌乳期母猪饲料中添加亚麻仁粕和亚麻籽油来研究其对母猪乳成分及初生仔猪生产性能的影响,添加组母猪乳中蛋白质含量高于对照组母猪,添加组仔猪死亡率显著低于对照组,说明日粮添加亚麻副产品对母猪和初生仔猪的生产性能都有积极影响,且亚麻仁粕更能显著提高断奶仔猪的生产性能。但因其 Lys 含量低,应与其他含 Lys 高的蛋白质饲料搭配混合饲喂,育肥猪饲料中最高用量可控制到 8%,不影响饲料效率和增重,使用过多则会降低食欲、采食量下降从而减少其他营养的吸收。亚麻籽副产品对肠道健康和仔猪生长有有益影响^[28],对妊娠后期和泌乳期母猪饲喂亚麻籽、亚麻仁饼(粕)、亚麻籽油能提高仔猪的免疫反应及成活率,对仔猪初生重没有影响,饲喂亚麻仁饼粕组的仔猪比饲喂亚麻籽及亚麻籽油的仔

猪在泌乳后期和断奶后体重更重,说明对妊娠后期和泌乳期母猪饲喂亚麻仁饼(粕)能改善断奶仔猪的生长发育情况^[29],而只有对母猪以亚麻仁饼(粕)形式饲喂后仔猪的生长率才能得到改善,仔猪中大量尸体糖原可能是第 28 天和第 56 天体重增加的一个重要因素,该结果与 Gabler 等^[30]对妊娠期和泌乳期母猪饲喂 n-3 多不饱和脂肪酸增加仔猪肌肉糖原并改善营养吸收的研究结果一致,多不饱和脂肪酸的增加维持了断奶仔猪体内的糖原浓度。n-3 多不饱和脂肪酸不仅具有调节免疫功能的作用,也许能影响仔猪小肠吸收功能^[31]。但是也有饲喂亚麻仁饼(粕)并不改善断奶仔猪营养消化率或生产性能的研究报道^[32]。Magdalena 等^[33]研究了有机养殖的火麻仁饼、菜籽饼、亚麻仁饼饲喂约克夏生长育肥猪对粗蛋白质和氨基酸的表观回肠消化率和标准回肠消化率结果表明,饲喂菜籽饼的消化率明显最低,全部的消化率总体上与传统蛋白饲料成分具有可比性,甚至高于哪些传统的豌豆^[34]、大豆^[35]及大豆饼粕^[36-37]、双低菜籽油^[38]以及热压榨菜籽油^[39],因此在有机生猪养殖中这些有机的蛋白饲料成分与传统饲料具有同样的应用潜力。脱粒后的碎果皮(亚麻糠)含有 20 g/kg 消化蛋白,也是优质的猪饲料^[40]。

3.3 在家禽饲料中的应用进展

亚麻仁饼粕在家禽饲料中的应用也有报道,大多数研究表明亚麻仁饼粕不适宜用于鸡饲料中,没有改善肉用仔鸡的营养消化率或生产性能^[41]。在肉用仔鸡中,增加亚麻仁饼的饲喂量,会增加胃粘度而降低营养的吸收,从而导致体重的降低^[42]。饲喂冷压榨的饼粕类^[43],添加在家禽饲料中也会导致同样的结果^[44]。饲喂亚麻仁饼的鸡比饲喂菜籽饼的鸡产每公斤鸡蛋所需要的饲料多,虽然其在产蛋率方面有负面影响,但蛋黄脂肪中不饱和脂肪酸含量有所增加^[45]。未添加亚麻仁饼(粕)的对照组母鸡比添加组消耗更多的饲料,体重和产蛋率增加,10% 添加组比 30% 添加组体重及产蛋率减少较少,添加组蛋黄中 α -亚麻酸和 C22:6(二十二碳六烯酸)明显增加,并伴随花生四烯酸减少,添加组鸡蛋感官评分明显高于对照组,而添加比例的持续增加会降低鸡蛋所有的感官性状^[46]。对四川不同家禽品种对不同产地亚麻仁饼粕的营养利用率研究结果表明,不同产地亚麻仁饼粕营养成分差异大,粗蛋白质含量变化较大为 34.72%~41.47%;钙含量较低为 0.33%~0.56%;总磷含量高,最高可达到 1.02%;

粗脂肪含量为 2.60%~14.12%;生氰糖苷(HCN)含量为 53.61~394.99 mg/kg。亚麻仁饼粕总磷和粗蛋白质含量高,同时磷利用率较高,是较好的磷源和蛋白质饲料原料^[47]。

4 结 语

4.1 亚麻仁饼(粕)今后研究的方向

综上所述,亚麻仁饼(粕)相比其他形式的亚麻籽副产品作为畜禽饲料更为经济、有效。亚麻仁饼(粕)是不被人利用或利用率低的生产 and 消费的最终产品,科学加工处理后,可以再循环利用。亚麻仁饼(粕)质量低、体积大、粗纤维含量高,营养浓度低,超量添加不仅具有毒性而且适口性降低,从而影响畜禽其他饲料和营养的摄入,因此,在猪日粮中最高适宜用量仅 10%,反刍动物日粮中可增加至 20%,在家禽饲料中的适宜饲喂量还有待继续研究,必须经过科学研究明确其营养素和抗营养因子的浓度并加以利用。在饲料配方设计时一定要兼具地域性、价格及可获得性,并严格限制饲喂量。仅用单一饼粕饲喂家畜饲养效果差,而几种饼粕搭配利用饲养效果很好^[48]。尤其针对非豆粕产区,发挥亚麻产区优势,开发其他本土非常规饼粕类生态饲料,代替部分或全部鱼粉、转基因豆粕,降低饲养成本及养殖风险的同时,增加经济效益及畜产品安全性。而亚麻仁饼(粕)毒性的降低及与其他饼粕的搭配比例是其作为畜禽饲料研究重点^[49]。另外,亚麻仁饼(粕)含有丰富的亚麻酸 C18:3,可有针对性地提高动物产品附加值^[50]。

4.2 亚麻籽及其加工副产品的保健应用前景

亚麻籽中主要成分为不饱和脂肪酸,占 85%~90%,其中油酸和亚油酸各占 50%, α -亚麻酸含量在植物油中最高,是深海鱼油中 α -亚麻酸含量的 2.5 倍,同时因亚麻酸的天然抗氧化性而具有较强稳定性和易保存性。亚麻油中含有各类最基本的 ω -3 脂肪酸(一种保护心脏的脂肪)。科学证实,亚油酸和亚麻酸比例为 4:1 时(如橄榄油)人体是最健康状态,大多数食用油如大豆油、花生油、菜籽油、葵花籽油等所含的多不饱和脂肪酸为亚油酸(ω -6)^[51],我国人群日常摄入的亚油酸和亚麻酸比例为 25~35:1,缺乏亚麻酸(ω -3),而亚油酸过多、亚麻酸过少导致各种“富贵病”高发。近年来亚麻籽油的营养价值和保健功能获得广泛关注。 α -亚麻酸具有预防心脑血管病、降低血脂、降低临界性高血

压、抑制癌症的发生和转移、抑制过敏反应及抗炎作用、抗衰老、增强智力、保护视力的功能^[52]。早在1993年,鉴于 α -亚麻酸的重要性和人类普遍摄入不足,联合国卫生组织和世界粮食组织倡导补充 α -亚麻酸,美国、日本、法国等国规定在特定食品中添加 α -亚麻酸及代谢产物才能销售,许多国家将亚麻籽或油直接加入保健食品或动物饲料中,提高食品及动物产品营养价值。目前,我国人群膳食中普遍缺乏 α -亚麻酸,每日摄入量远低于世界卫生组织推荐用量。由于亚麻籽的地域性、产量低和价格高而并未被广泛推广,但随着人们生活水平的改善和保健意识的加强,亚麻籽油的功效会得到更多重视,亚麻籽及其加工副产品在人类食品和动物饲料中的应用前景广阔^[53]。

参考文献 References

- [1] 吴灵英. 亚麻籽及其饼粕在鸡饲料中的应用[J]. 饲料工业, 2002, 23(3): 32-34
Wu L Y. Application on linseed and cake of chicken feed[J]. *Feed Industry*, 2002, 23(3): 32-34 (in Chinese)
- [2] 朱爱国译. 亚麻[J]. 中国麻业, 2002, 24(5): 46-49
Zhu A G, translated. Linseed[J]. *Plant Fibers and Products*, 2002, 24(5): 46-49 (in Chinese)
- [3] 刘瑞生. 亚麻饼在养鸡业中的应用[J]. 中国饲料, 2001, 17(15): 28-30
Liu R S. Application on linseed cake in chicken industry[J]. *China Feed*, 2001, 17(15): 28-30 (in Chinese)
- [4] 赵向利, 张英杰, 刘月琴. 亚麻籽在羊生产中的利用研究[C]// 全国养羊生产与学术研讨会议论文集. 兰州: 中国草食动物杂志社, 2014(S1): 65-68
Zhao X L, Zhang Y J, Liu Y Q. Utilization of linseed in sheep production[C]. In: *Proceedings of Breeding, Production of Domestic Sheep and Goat*. Lanzhou: China Herbivores, 2014 (S1), 65-68 (in Chinese)
- [5] 吉红, 方程, 张荣斌. 西部地区饲料资源及其在水产饲料中的应用[J]. 饲料工业, 2012, 33(16): 1-5
Ji H, Fang C, Zhang R B. Feed resources in western region and its application in aquatic feed[J]. *Feed Industry*, 2012, 33(16): 1-5 (in Chinese)
- [6] 周明. 饲料学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2007
Zhou M. *Feed Science* [M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2007 (in Chinese)
- [7] 中国饲料数据库. 中国饲料成分及营养价值表 2004 年第 15 版(续)[J]. 中国饲料, 2004(22): 30-37
Tables of feed composition and nutritive values in China 2004 fifteenth edition Chinese feed database[J]. *China Feed*, 2004 (22): 30-37 (in Chinese)
- [8] 孙兰萍, 许晖. 亚麻籽生氰糖苷的研究进展[J]. 中国油脂, 2007, 32(10): 24-27
SUN L P, XU H. Research progress on flaxseed cyanogenetic glycoside[J]. *China Oils and Fats*, 2007, 32(10): 24-27 (in Chinese)
- [9] 陈海华, 许时婴, 王璋. 亚麻籽胶化学组成和结构的研究[J]. 食品工业科技, 2004(1): 103-105
Chen H H, Xu S Y, Wang Z. Study on the chemical components and structure of flaxseed gum[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2004(1): 103-105 (in Chinese)
- [10] 孟昭宁. 畜禽常用五种饼粕类饲料的处理方法[J]. 湖南饲料, 2004, 9(4): 37-38
Meng Z N. Processing methods of five commonly used feed of cakes in cultivation of livestock and poultry[J]. *Hunan Feed*, 2004, 9(4): 37-38 (in Chinese)
- [11] 王作洲, 杨培培. 畜禽养殖饼粕类和糟渣类饲料的合理利用[J]. 科学种养, 2015, 10(9): 47-48
Wang Z Z, Yang P P. Rational utilization on cake and dregs feed in cultivation of livestock and poultry[J]. *Scientific Farming*, 2015, 10(9): 47-48 (in Chinese)
- [12] 苗露, 唐书泽, 汪勇. 亚麻籽饼粕利用研究进展[C]// 广东省食品学会年会论文集. 广州: 广东食品学会, 2015: 81-87
Miao L, Tang S Z, Wang Y. Research progress on utilization of linseed cake and meal [C]. In: *Food Association Annual Meeting in Guangdong*. Guangzhou: Guangdong Food Institute, 2015, 81-87 (in Chinese)
- [13] 梅莺, 黄庆德, 邓乾春, 杨金娥, 赵春. 亚麻饼粕微生物脱毒工艺[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 111-114
Mei Y, Huang Q D, Deng Q C, Yang J E, Zhao C. Microorganisms detoxification process on linseed cake and meal [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39(3): 111-114 (in Chinese)
- [14] 纪银福, 石来凤. 亚麻仁饼粕的合理使用[J]. 农村科技, 2007(8): 83
Ji Y F, Shi L F. Rational utilization on linseed cake and meal [J]. *Rural Science and Technology*, 2007(8): 83 (in Chinese)
- [15] Lerch S, Ferlay A, Shingfield K J, Martin B, Pomies D, Chilliard Y. Rapeseed or linseed supplements in grass-based diets: Effects on milk fatty acid composition of Holstein cows over two consecutive lactations[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012b, 95(9): 5221-5241
- [16] Benchaar C, Romero-Perez G A, Chouinard P Y, Hassant F, Eugenne M, Petith V V. Supplementation of increasing amounts of linseed oil to dairy cows fed total mixed rations: Effects on digestion, ruminal fermentation characteristics on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(8): 4578-4590
- [17] Chilliard Y, Ferlay A. Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties [J]. *Reproduction, Nutrition, Development*, 2004, 44(5): 467-

492

- [18] Jozwik A, Srezalkowska N, Bagnicka E, Lagodzinskiz, Pyzel B, Chylinskiw, Czajkowska A, Grzybek W, Sloniewska D, Krzyzewski J, Horbanczuk J. The effect of feeding linseed cake on milk yield and milk fatty acid profile in goats[J]. *Animal Science Papers and Reports*, 2010a, 28(3): 245-251
- [19] Strzalkowska N, Jozwik A, Bagnicka E, Krzyzewski J, Olavhorbanczuk J. Studies upon genetic and environmental factors affecting the cholesterol content of cow milk. II. Effect of silage type offered[J]. *Animal Science Papers and Reports*, 2009a, 27(3): 199-206
- [20] Resende T, Kraft J, Soder K, Pereira A, Woitschach D, Reis R, Brito A. Incremental amounts of ground flaxseed decrease milk yield but increase n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids in dairy cows fed high-foragediets(1)[J]. *Dairy Science*, 2015, 98(7): 4785-4799
- [21] Trzalkowska N, Jozwik A, Bagnicka E, Krzyzewski J, Horbanczuk K, Pyzel B, Horbanczuk J. Chemical composition, physical traits and fatty acid profile of goat milk as related to the stage of lactation[J]. *Animal Science Paper and Reports*, 2009b, 27(4): 311-320
- [22] Neveu C, Baurhoo B, Mustafa A. Effect of feeding extruded flaxseed with different grain on the performance of dairy cows and milk fatty acid profile[J]. *Dairy Science*, 2014, 97(3): 1541-1551
- [23] Szmatała T, Barłowska J, Litwinczuk Z. Characteristics of goat milk fat and the possibility of modifying the fatty acid composition[J]. *Medycyna Weterynaryjna*, 2013, 69(3): 157-160
- [24] Jozwik A, Strzalkowska N, Markiewicz-Keszycka M, Krzyzewski J, Lipinska P, Rutkowska J, Wroblewska B, Klusek J, Cooper R. Effects of replacing rapeseed cake with linseed cake in a corn-grass silage-based diet for milking cows[J]. *Animal Science Papers and Reports*, 2016, 34(2): 129-142
- [25] Tafa A, Melaku S, Peters K J. Supplementation with linseed (*Linum usitatissimum*) cake and/or wheat bran on feed utilization and carcass characteristics of Arsi-Bale sheep[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2010, 42(4): 677-685
- [26] Alemu W, Melaku S, Tolera A. Supplementation of cottonseed, linseed, and noug seed cakes on feed intake, digestibility, body weight, and carcass parameters of Sidama goats[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2010, 42(4): 623-631
- [27] 苗静平. 亚麻对妊娠母猪和新生仔猪的生产性能的影响研究[J]. *饲料广角*, 2012(21): 21-23
Miao J P. Flax study on production performance of pregnant sows and newborn piglets[J]. *Feed China*, 2012(21): 21-23 (in Chinese)
- [28] Schone F, Kirchheim U, Ochrimenko W, Ludke H. Apparent digestibility of high-fat rapeseeds press cake in growing pigs and effects on feed intake, growth and weight of thyroid and liver[J]. *Animal Feed Science Technology*, 1996a, 62(2-4): 97-110
- [29] Farmer C, Giguere A, Lessard M. Dietary supplementation with different forms of flax in late gestation and lactation: Effects on sow and litter performance, endocrinology, and immune response[J]. *Animal Science*, 2010, 88(1): 225-237
- [30] Gabler N, Spencer J, Webel D, Spurlock M. In utero and postnatal exposure to long chain (n-3) PUFA Enhances intestinal glucose absorption and energy stores in weanling pigs [J]. *Nutrition*, 2007, 137(11): 2351-2358
- [31] Gabler N, Radcliffe J, Spencer J, Webel D, Spurlock M. Feeding long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids during gestation increase intestinal glucose absorption potentially via the acute activation of AMPK[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2009, 20(1): 17-25
- [32] Jansman A, Van Wixselar P, Wagennarrs C. Effects of feeding linseed and linseed expeller meal to newly weaned piglets on growth performance and gut health and function[J]. *Livest Science*, 2007, 108(1-3): 171-174
- [33] Magdalena H, Karin L, Jan E. Digestibility of amino acids in organically cultivated white-flowering faba bean and cake from cold-pressed rapeseed, linseed and hemp seed in growing pigs [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2011, 65(1): 21-23
- [34] Mariscal-Landin G, Lebreton Y, Seve B. Apparent and standardised true ileal digestibility of protein and amino acids from faba bean, lupin and pea, provided as whole seeds, dehulled or extruded in pig diets[J]. *Animal Feed Science Technology*, 2002, 97(3): 183-198
- [35] Furuya S, Kaji Y. Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs [J]. *Animal Feed Science Technology*, 1991, 32(4): 321-331
- [36] Van Leeuwen P, Gdala J, Boisen S, Buraczewski S, van Kempen G, Verstegen M, Schaafsma G. Validation of a mathematical model to explain variation in apparent ileal amino acid digestibility of diets fed to pigs[J]. *Animal Feed Science*, 1996, 5(1996): 303-315
- [37] Woodworth J, Tokach M, Goodband R, Nelssen J, O'Quinn P, Knabe D, Said N. Apparent ileal digestibility of amino acid and the digestible and metabolizable energy content of dry extruded-exelled soybean meal and its effects on growth performance of pigs[J]. *Animal Science*, 2001, 79(5): 1280-1287
- [38] Fan M, Sauer W. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods[J]. *Animal Science*, 1995, 73(8): 2364-2374
- [39] Partanen K, Valaja J, Jalava T, Siljander-Rasi H. Composition, ileal amino acid digestibility and nutritive value of organically grown legume seeds and conventional rapeseed cakes for pigs [J]. *Agriculture Food Science Finland*, 2001, 10(4): 309-322
- [40] 孙中义. 亚麻籽饲用研究进展[J]. *中国麻业科学*, 2010, 32(1):

- 37-41
Sun Z Y. Research progress on linseed as feed[J]. *Plant Fiber Science in China*, 2010, 32(1): 37-41 (in Chinese)
- [41] Trevino J, Rodriguez M, Ortiz L, Rebole A, Alzueta C. Protein quality of linseed for growing broiler chicks[J]. *Animal Feed Science Technology*, 2000, 84(3): 155-166
- [42] Bhatti R. Further compositional analyses of flax-mucilage, trysin-inhibitors and hydrocyanic acid [J]. *American Oil Chemists Society*, 1993, 70(9): 899-904
- [43] Hullar I, Meleg I, Fekete S, Romvari R. Studies on the energy content of pigeon feeds. I. Determination of digestibility and metabolizable energy content [J]. *Poultry Science*, 1999, 78(12): 1757-1762
- [44] Callaway J. Hemp seed as a nutritional resource: An overview [J]. *Euphytica*, 2004, 140(1): 65-72
- [45] Halle I, Schone F. Influence of rapeseed cake, linseed cake and hemp seed cake on laying performance of hens and fatty acid composition of egg yolk[J]. *Journal for Verbraucherschutz and Lebensmittelsicherheit*, 2013, 8(3): 185-193
- [46] Muhammad I, Faqir M, Muhammad N, Nazir A, Muhammad K, Zarina M, Shahzad H. Production of Bio-omega-3 eggs through the supplementation of extruded flaxseed meal in hen diet[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2015, 14(1): 126-134
- [47] 翟双双, 李孟孟, 冯佩诗, 王永昌, 王参参, 杨琳, 王文策. 四川白鹅、樱桃谷肉鸭对不同产地亚麻饼粕养分利用率的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(7): 2147-2153
Zhai S S, Li M M, Feng P S, Wang Y C, Wang C C, Yang L, Wang W C. Analysis of nutritional components of flaxseed cake of meal from different producing areas and nutrient utilization efficiency by sichuan white geese and cherry valley ducks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(7): 2147-2153 (in Chinese)
- [48] 金鑫燕, 荆秀芳, 吴海玥, 常禧, 盛丽, 赵婷静. 日粮中添加亚麻仁饼对猪日增重影响的试验研究[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2017, 47(1): 24-25
Jin X Y, Jing X F, Wu H Y, Chang X, Sheng L, Zhao T J. Study on daily gain by adding linseed cake in pig diet[J]. *Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2017, 47(1): 24-25 (in Chinese)
- [49] 杨在宾. 非常规饲料资源的特性及应用研究进展[J]. *饲料工业*, 2008, 29(7): 1-4
Yang Z B. Application progress and characteristics of unconventional feed resources[J]. *Feed Industry*, 2008, 29(7): 1-4 (in Chinese)
- [50] 双金, 侯先志, 放力格日玛. 富含 α -亚麻酸的饲料添加剂对生长育肥猪脂肪代谢的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医: 科技版*, 2011, 6(11): 67-70
Shuang J, Hou X Z, Ao L G R M. Affection on fat metabolism of growing finishing pig by adding feed additive riched in alpha-linolenic acid [J]. *Heilongjiang Animal Husbandry Veterinarian: Science and Technology Edition*, 2011, 6(11): 67-70 (in Chinese)
- [51] 张礼凤. 富含多不饱和脂肪酸的新型健康食用油料植物—美藤果[J]. *特种经济动植物*, 2016(4): 35-36
Zhang L F. A new type of healthy edible oil plant which is rich in polyunsaturated fatty acids: The vine[J]. *Special Economic Animal and Plant*, 2016(4): 35-36 (in Chinese)
- [52] 林非凡, 谭竹钧. 亚麻籽油中 α -亚麻酸降血脂功能研究[J]. *中国油脂*, 2012, 37(9): 44-47
Lin F F, Tan Z J. Study on the function of alpha-linolenic acid in flaxseed oil[J]. *China Oils and Fats*, 2012, 37(9): 44-47 (in Chinese)
- [53] 谢欣梅. 亚麻籽在动物饲料中的应用潜力[J]. *内蒙古民族大学学报: 自然科学版*, 2005, 20(5): 530-532
Xie X M. Potential applications of linseed in animal feed[J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities: Natural Science Edition*, 2005, 20(5): 530-532 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东