

# $\alpha$ -亚麻酸的生理功能及其在动物生产中的应用

苏家宜<sup>1,2</sup>, 孔祥峰<sup>1\*</sup>, 王占彬<sup>2</sup><sup>1</sup>中国科学院亚热带农业生态研究所 中国科学院亚热带农业生态工程重点实验室, 长沙 410125;<sup>2</sup>河南科技大学动物科技学院 河南省饲草饲料资源开发与畜禽健康养殖院士工作站, 洛阳 471003

**摘要:**  $\alpha$ -亚麻酸是从植物及其果实中提取出来的一种多不饱和脂肪酸, 在体内代谢可生成 EPA、DHA、PG 等生物活性物质, 具有调节脂代谢、抗炎、抗癌和保护神经系统等生物学功能。近年来,  $\alpha$ -亚麻酸作为一种绿色饲料添加剂用于平衡机体脂肪酸比例、改善动物产品质量, 引起了人们的广泛关注。本文综述了  $\alpha$ -亚麻酸的代谢途径、生理功能及其对动物健康和产品品质的调控作用, 以期为其在动物生产中的科学合理应用提供依据。

**关键词:**  $\alpha$ -亚麻酸; 不饱和脂肪酸; 代谢途径; 生理功能; 动物生产

中图分类号: R151

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2016.S.038

## Physiological Function and Application of Alpha Linolenic Acid in Animal Production

SU Jia-yi<sup>1,2</sup>, KONG Xiang-feng<sup>1\*</sup>, WANG Zhan-bin<sup>2</sup><sup>1</sup> Key Laboratory for Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; <sup>2</sup> Henan University of Science and Technology,

College of animal science and technology, the Academician workstation of development of forage feed resources and healthy breeding of livestock and poultry in Henan Province, Luoyang 471003, China;

**Abstract:** Alpha linolenic acid extracted from plants and their fruits is a kind of polyunsaturated fatty acids with a variety of biological functions, such as regulating lipid metabolism, anti-inflammatory, anti-cancer, protecting nerve system and so on. It can generate EPA, DHA, PG, and other bioactive substances by metabolism in vivo. In recent years, alpha linolenic acid, as a kind of natural feed additive, gained wide concern, because it can balance the body ratio of fatty acids and improve the quality of animal products. This paper reviews the metabolic pathway and physiological function of alpha linolenic acid, as well as its effects on animal health and product quality, to provide the scientific and reasonable reference for its application in animal production.

**Key words:** alpha linolenic acid; unsaturated fatty acids; metabolic pathway; physiological function; animal production

$\alpha$ -亚麻酸(alpha linolenic acid, ALA), 学名为 9, 12, 15-十八碳三烯酸, 分子式为  $C_{18}H_{30}O_2$ 。由于其分子中存在三个共轭双键, 所以具有非常强的还原性。高温、空气、紫外线和一些重金属离子均可将其氧化; 在碱性条件下易发生构型和双键位置的异构化反应, 形成共轭多烯酸。ALA 不能人工合成, 可从紫苏籽、胡麻籽等多种油脂植物中提取获得<sup>[1]</sup>。另外, 喜树、接骨木、花椒籽和猕猴桃种籽等木本植物中也富含 ALA (见表 1)。因此, 富含 ALA 的饲料

应避免光、密封保存, 加工过程中也要尽量避免高温处理。研究表明, ALA 具有降血压、降血脂、抗血栓、抗过敏、延缓衰老和抑制癌症等保健作用。本文对 ALA 的代谢途径、生理功能及其对动物健康和产品品质的调控作用进行综述, 为其在动物生产中的科学合理应用提供依据。

### 1 ALA 的代谢途径

ALA 是 n-3 多不饱和脂肪酸(PUFA)的前体, 所有的 n-3 PUFA 都是由它分支形成的<sup>[3]</sup>。饲料中的 ALA 主要经肠道直接吸收, 在肝脏贮存, 经血液运送至机体各部位, 直接成为细胞膜的结构物质。在  $\Delta$ -6 去饱和酶作用下, ALA 在肝脏内质网中降低饱

收稿日期: 2016-05-03 接受日期: 2016-07-22

基金项目: 国家自然科学基金(31270044); 中科院“西部之光”人才培养计划重点项目; 湖南省战略性新兴产业科技攻关项目(2014GK1007)

\* 通讯作者 E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

表1 富含 $\alpha$ -亚麻酸的植物<sup>[2]</sup>

Table 1 The plants containing alpha linolenic acid

序号 No.	植物名称 Plant name	产油部位 Oil-producing part	含油量 Oil content(%)	ALA 含量 ALA content(%)	序号 No.	植物名称 Plant name	产油部位 Oil-producing part	含油量 Oil content(%)	ALA 含量 ALA content(%)
1	软枣猕猴桃	种子	27.9	66	28	檀梨	种仁	62.5	33.3
2	轮叶戟	种子	59.3	64.7	29	独子藤	种子	11.5	33.2
3	紫苏	种子	34~45	51~63	30	乌柏	种子	54.7	30.1
4	猕猴桃	种子	32~35	62.9	31	青江藤	种子	58.4	28.8
5	亚麻	种子	29~43	42~60	32	过山枫	种子	35.9	28.8
6	喜光花	种子	24.3	56.8	33	瑞木	种仁	51.5	26.5
7	风箱果	种子	19.9	55.6	34	硕苞蔷薇	种子	14	25.1
8	叶底珠	种子	15	55.5	35	冻绿	种子	29.7	24.6
9	黄杞	种子	24.8	50.3	36	浆果楝	种子	18.3	23.7
10	黄桐	种子	32.5	48.9	37	石栗	种仁	65.4	23.5
11	喜树	种子	36.7	45.8	38	接骨木	果	36.7	22
12	秋枫	种子	25.9	45.8	39	香椿	种子	31.2	21.9
13	硬核	种仁	66.4	45.6	40	臭牡丹	种子	17.6	21.6
14	枫杨	种子	9.7	45.5	41	橡胶树	种仁	40.9	20.9
15	柏树	种子	10~14.2	25.3~43.9	42	黑面神	种子	29.1	20.4
16	黄皮树	种子	24.6	42.6	43	水柳	种子	22.3	20.1
17	杜仲	种子	32.3	41.9	44	灯油藤	种子	53.5	19.9
18	金花小檗	种子	15.5	41.1	45	尖水丝梨	种子	17.8	19
19	臭檀	种子	24.1	40	46	牛鼻栓	种子	15.5	18.1
20	牡丹	种子	25.9	39.7	47	壳菜果	种仁	37.5	16.5
21	黄檗	种子	18.1	44	48	楝叶吴茱萸	种子	24.4	15
22	新樟	种仁	62.8	38.1	49	紫树	种子	11	14.1
23	陆均松	种子	17.5	38.1	50	核桃	种仁	80	13.5
24	花椒	种子	27~35.1	36.2	51	臭辣树	种子	35.7	11.9
25	乌苏里鼠李	种子	38.6	36	52	华南厚皮香	种子	32.5	11.6
26	毛麻楝	种子	35.9	34	53	垂珠花	种子	26.3	11.2
27	重阳木	球果	35.1	33.6					

注:ALA 含量是指 ALA 在油中的含量。

Note:ALA content indicated the content of ALA in oil.

和度转化为 18:3n-6,随后在  $\Delta$ -5 去饱和酶作用下转化为二十碳五烯酸(EPA)。EPA 可在碳链延长酶催化下生成 22:5n-3 和 24:5n-3。24:5n-3 在  $\Delta$ -6 去饱和酶作用下生成 24:6n-3,24:6n-3 可部分转化为过氧化物酶体(Peroxisome),然后通过  $\beta$ -氧化生成二十二碳六烯酸(DHA)。ALA 的代谢过程如图 1 所示。

相关研究证实,8%~20%的 ALA 可在动物体内转化为 EPA,而 0.5%~9.8%的 ALA 可转化为

DHA<sup>[4]</sup>。EPA 是三系前列腺素的前体物质,在脂氧化酶和环氧化酶作用下生成调控机体大部分生化反应的前列腺素(PG)、血栓素(TX)和白三烯(LT)等活性物质。DHA 是视网膜、神经和大脑等组织器官的主要结构物质。

## 2 ALA 的生理功能

### 2.1 保护心脑血管

ALA 具有显著的防治高脂血症的作用。林非

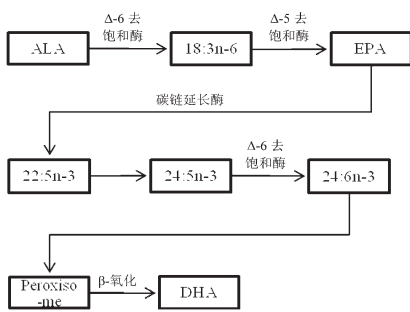


图1  $\alpha$ -亚麻酸的代谢过程

Fig. 1 The metabolic process of alpha linolenic acid

凡等<sup>[5]</sup>研究证明,ALA能有效降低高血脂小鼠血清中总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白-胆固醇的水平,提高高密度脂蛋白-胆固醇的水平,并对小鼠的高血脂症、动脉硬化具有明显的抑制作用。啜文婷等<sup>[6]</sup>也报道,ALA能够较好地调节小鼠的血脂代谢,明显降低摄食高脂饲料小鼠的血脂水平。Danielle等<sup>[7]</sup>研究发现,ALA可以改变由饮食诱发的肥胖小鼠肝脏中磷脂脂肪酸的含量。Eun等<sup>[8]</sup>给360名肥胖患者每天口服1.8 g的ALA为期2周,患者体重均有适度下降。

ALA还具有抗心血管疾病、抗血栓作用<sup>[3]</sup>。众多动物实验和临床试验结果均提示,ALA可通过多种途径降低心血管疾病的发生率,包括改善血小板功能、调节炎症介质、保护内皮细胞功能、维持动脉顺应性和抗心律失常等<sup>[9]</sup>,且ALA的含量与颈动脉和股动脉粥样硬化斑块呈反比。ALA具有抗血栓作用,能够通过抑制花生四烯酸转化为血栓素而减少心肌梗死的发生率。Raffaele等<sup>[10]</sup>证实,ALA可抑制粘附分子和细胞因子等炎症和动脉硬化的前体基因。幼年时期长期摄入膳食ALA,可以改善早产儿的血管健康<sup>[11]</sup>。

## 2.2 神经保护作用

ALA可以增加大脑皮层和海马中n-3PUFA的含量,防止认知能力的下降,治疗大脑皮层和海马区环磷腺苷效应元件结合蛋白的功能障碍<sup>[12]</sup>,减少 $\beta$ -淀粉样蛋白在大脑和血液中的沉积,预防老年痴呆。啮齿类动物上的研究也表明,DHA和EPA等n-3PUFA及其前体ALA对大脑发育和认知功能具有重要作用<sup>[13]</sup>。作为一种神经保护剂,ALA可以保护由甲氟磷酸异己酯引起的神经损伤等。Orr等<sup>[14]</sup>研究表明,具有生物活性的ALA代谢产物,可能为治疗神经系统疾病提供新的靶点。

## 2.3 抗炎作用

PGE<sub>2</sub>、TXA<sub>2</sub>和LTB<sub>4</sub>等二十碳物质是炎症反

应的主要介质。由ALA转化的EPA可以生成PGE<sub>3</sub>、TXA<sub>3</sub>和LTB<sub>5</sub>等类花生酸类物质,从而减少花生四烯酸(AA)向PGE<sub>2</sub>、TXA<sub>2</sub>和LTB<sub>4</sub>等的代谢<sup>[15]</sup>,进而降低炎症发生的几率。Katrangi等<sup>[16]</sup>报道,在膀胱纤维化细胞中ALA可发挥抗炎作用,且富含ALA的饲料可以明显改善肠炎。Yamaguchi等<sup>[17]</sup>研究发现,ALA可以减轻脂氧合酶异常和肾结核病。

## 2.4 肾脏保护作用

ALA可促进胰岛 $\beta$ 细胞分泌胰岛素,维持血液胰岛素的稳定,降低靶细胞对胰岛素的抵抗。目前,有很多研究将ALA应用于糖尿病并发症的干预治疗,均取得了明显效果。ALA能增加尿肌酐、尿钙等物质的排出,提示ALA具有肾脏保护功能。经不同剂量的ALA治疗后,实验型糖尿病大鼠的尿微量蛋白尤其是转铁蛋白减少,血液尿素氮含量降低,肾小球的滤过率提高,肾功能得到明显改善。可见,ALA有可能成为治疗糖尿病肾病的新靶点。

## 2.5 其他作用

ALA还可以保护视力、增强智力和抑制老化等。以DHA、ALA和EPA等不饱和脂肪酸为主要原料的药物,还可改善睡眠功能。ALA可保护有机汞引起的小鼠肾脏和肝脏氧化损伤。ALA还可在围产期改变仔鼠基因表达的表现遗传和全脑MECP2基因的DNA甲基化<sup>[18]</sup>,可能通过介导PGF<sub>2</sub> $\alpha$ 和PGE<sub>2</sub>合成提高小鼠的排卵。

另外,ALA可在一定程度上降低肿瘤细胞的活性,从而抑制癌症的发生和转移。Moon等<sup>[19]</sup>报道,ALA可作为治疗食道癌的化学性药物。Mason等<sup>[20]</sup>研究表明,肿瘤细胞膜特别是脂筏微结构处的脂肪酸可以通过改变细胞膜内的受体定位影响信号传递,从而抑制癌症的转移。

## 3 ALA对动物健康和产品品质的调控作用

近年来,随着人们对抗生素副作用认识的加深以及对畜产品品质要求的提高,天然植物提取物作为其替代品应用于动物生产的研究变得十分必要和紧迫。作为动物机体的一种必需脂肪酸,天然来源的ALA作为功能性饲料添加剂已逐步被用于畜禽生产中。

### 3.1 ALA对家禽的调控作用

杨蕊等<sup>[21]</sup>在蛋鸡饲料中添加ALA后,蛋黄中PUFA含量显著增加,n-3PUFA含量增加,n-6/n-3

比值降低;蛋黄中二十二碳六烯酸含量增加,总胆固醇和总三酰甘油含量降低。李志琼等<sup>[22]</sup>的试验也表明,在海兰褐产蛋鸡饲料中添加不同剂量的ALA,饲喂4周后鸡蛋中PUFA的含量增加,胆固醇含量降低,原因可能与ALA对HMGR酶活和基因表达的抑制作用有关。在饲料中添加ALA,还可增加鸡蛋的重量,并降低料蛋比。

Kartikasari等<sup>[23]</sup>在肉鸡饲料中添加ALA,可提高胸肌、腿肌等组织中n-3PUFA的含量。孙会松等<sup>[24]</sup>在饲料中添加花椒籽粉后,肉鸡的免疫器官指数显著增加,抗体效价也相应增加,机体的免疫功能有所增强。原因可能是花椒籽中所含的ALA具有清除自由基作用,机体的免疫功能与自由基的关系非常密切,从而增强了肉鸡的免疫功能。

### 3.2 ALA对猪的调控作用

ALA可提高生长肥育猪的生长性能,改善脂肪代谢和胴体品质。富含ALA的饲料添加剂可明显提高生长育肥猪血清中胰岛素和生长激素的水平,促进肌肉组织蛋白质的合成,在降低胴体脂肪率的同时增加日增重。富含ALA的饲料添加剂,可通过抑制肝脏胆固醇合成关键酶——HMGR的活性,明显降低肝脏胆固醇的合成。富含ALA的饲料添加剂可明显提高红细胞膜中PUFA的含量,增强红细胞的柔韧性和流动性,并增加血液流速和红细胞的携氧能力,从而促进各组织的血液循环和营养物质的运转,以向肌肉和骨骼组织输送更多的养分来满足动物生长发育的需要<sup>[25]</sup>。

### 3.3 ALA对反刍动物的调控作用

ALA可快速改善和提高牛乳的品质,提高牛的生产性能,增加牛肉中ALA的含量。在饲料中添加亚麻籽,可提高牛奶中n-3脂肪酸含量,降低n-6PUFA/n-3PUFA比率,这是由于亚麻籽中含有50%左右的ALA。通过十二指肠灌注ALA,可以提高泌乳奶牛乳腺的脂肪酸代谢。在体外培养条件下,添加ALA后牛瘤胃发酵物中丙酸浓度提高,CH<sub>4</sub>生成量降低,瘤胃微生物的生物加氢作用增强,从而在降低CH<sub>4</sub>的同时减少了代谢氢的释放<sup>[26]</sup>。

双金等<sup>[27]</sup>在基础饲料中添加亚麻籽后,发现饲料中的ALA可被羯羊血液大量吸收,从而抑制了血清中脂肪酸合成酶、乙酰辅酶A羧化酶和HMGR的活性,还可促进脂肪组织脂解、提高血清胰岛素浓度。体外培养条件下在山羊瘤胃液中添加不同的脂肪酸,发现添加3%的ALA对蛋白质含量和瘤胃微生物活力均具有很好的调控作用,并且效果好于其

他脂肪酸<sup>[28]</sup>。伊日瑰<sup>[29]</sup>在肉羊饲料中添加富含ALA的油料籽发现,体脂和肌肉的n-6/n-3降低,脑组织中油酸、硬脂酸和棕榈酸含量很高,其次是EPA、DHA和ALA,而其它脂肪酸含量均很低。

## 4 结论

根据WHO和FAO的建议,人类膳食中n-6 PUFA/n-3 PUFA的合适比例为(5-10):1。但目前人们饮食中n-6 PUFA/n-3 PUFA已经超过最适比例并呈现逐年上升趋势。在动物的规模化养殖中,饲料中n-3 PUFA的含量在减少,n-6PUFA的含量却在增加。而动物饲料脂肪酸的组成和含量直接影响着动物产品的脂肪酸组成及含量,这就导致了消费者心脑血管疾病的发病率大幅度提高。国内外研究表明,饲喂ALA可以明显改善畜禽的生产性能和产品质量。但是,关于ALA在畜禽饲料中的添加比例尚没有定论。这就需要畜牧科技工作者进行深入系统地研究,以确定其最佳添加剂量,并探讨其具体的作用机制。ALA不可以人工合成,从紫苏、亚麻和杜仲等富含ALA的植物中提取ALA的工艺复杂、成本较高,还需要除去其中的有毒有害成分。如果能将富含ALA的植物原料应用在饲料中,不仅可以增加动物产品中不饱和脂肪酸的含量,降低n-6 PUFA/n-3 PUFA的比值,提升动物产品的品质,还可以使人们直接从动物产品中获取ALA,预防心脑血管疾病、糖尿病、老年痴呆和癌症等的发生,达到人们追求健康高效生活的目的。

### 参考文献

- 1 Surette ME. Dietary omega-3 PUFA and health: stearidonic acid-containing seed oils as effective and sustainable alternatives to traditional marine oils. *Mol Nutr Food Res*, 2013, 57: 748-759.
- 2 Li PH(李佩洪), Wu YM(吴银明), Zeng P(曾攀). Advances in researches on woody plant resources containing plenty of  $\alpha$ -linolenic acid. *J Sichuan Fore Sci Tech* (四川林业科技), 2010, 5: 55-59.
- 3 Kim KB, Nam YA, Kim HS, et al. Alpha-Linolenic acid: nutraceutical, pharmacological and toxicological evaluation. *Food Chem Toxicol*, 2014, 70: 163-178.
- 4 Domenichiello AF, Kitson AP, Bazinet RP. Is docosahexaenoic acid synthesis from  $\alpha$ -linolenic acid sufficient to supply the adult brain? *Prog Lipid Res*, 2015, 59: 54-66.
- 5 Lin FF(林非凡), Tan ZJ(谭竹钧). Lipid-lowering function of  $\alpha$ -linolenic acid in linseed oil. *China Oil Fat* (油脂化学), 2012, 37(9): 44-47.

- 6 Chuo WT(啜文婷), Wang SX(王世富), Du XF(都兴范). Effect on mice blood-fat metabolism of α-linolenic from male silk moth. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 2013, 44: 92-94.
- 7 Danielle H, Peter Z, Suresh KM, et al. A diet high in α-linolenic acid and monounsaturated fatty acid attenuates hepatic steatosis and alters hepatic phospholipid fatty acid profile in diet-induced obese rats. *Prostag Leukotr Ess*, 2013, 89: 391-401.
- 8 Eun HK, Woo JL, Sang AL, et al. Effects of alpha-lipoic acid on bodyweight in obese subjects. *Am J Med*, 2011, 124(1): 85 e1-e8.
- 9 Han SF(韩淑芳), Li XY(李晓燕), Zhang W(张薇), et al. Effects of alpha-linolenic acid on protection of endothelial cells in experimental animal model of diabetes. *Chin J Clinicians* (中华临床医师杂志), 2013, 7: 668-671.
- 10 Raffaele DC, Antonella Z, Serena DT, et al. Nutritional mechanisms that influence cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*, 2006, 83: 421S-426S.
- 11 Skilton MR, Pahkala K, Viikari JS, et al. The association of dietary alpha-linolenic acid with blood pressure and subclinical atherosclerosis in people born small for gestational age: the special turku coronary risk factor intervention project study. *J Pediatr*, 2015, 166: 1252-1257.
- 12 Gao H, Yan P, Zhang S, et al. Chronic alpha-linolenic acid treatment alleviates age-associated neuropathology: roles of PERK/eIF2alpha signaling pathway. *Brain Behav Immun*, 2015, 09: 012.
- 13 Janssen CI, Zerbi V, Mutsaers MP, et al. Impact of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on cognition, motor skills and hippocampal neurogenesis in developing C57BL/6J mice. *J Nutr Biochem*, 2015, 26: 24-35.
- 14 Orr SK, Trepanier MO, Bazinet RP. N-3 polyunsaturated fatty acids in animal models with neuroinflammation. *Prostag Leukotr Ess*, 2013, 88(1): 97.
- 15 Reifen R, Karlinsky A, Stark AH, et al. Alpha-Linolenic acid is an anti-inflammatory agent in inflammatory bowel disease. *J Nutr Biochem*, 2015, 26: 1632-1640.
- 16 Katrangi W, Lawrenz J, Seegmiller AC, et al. Interactions of linoleic and alpha-linolenic acids in the development of fatty acid alterations in cystic fibrosis. *Lipids*, 2013, 48: 333-342.
- 17 Yamaguchi T, Devassy JG, Gabbs M, et al. Dietary flax oil rich in alpha-linolenic acid reduces renal disease and oxylipin abnormalities, including formation of docosahexaenoic acid derived oxylipins in the CD1-*pcy/pcy* mouse model of nephronophthisis. *Prostag Leukotr Ess*, 2015, 94: 83-92.
- 18 He FL, Lupu DS, Niculescu MD. Perinatal alpha-linolenic acid availability alters the expression of genes related to memory and to epigenetic machinery, and the Mecp2 DNA methylation in the whole brain of mouse offspring. *Int J Dev Neurosci*, 2014, 36: 38-44.
- 19 Moon HS, Batirel S, Mantzoros CS. Alpha linolenic acid and oleic acid additively down-regulate malignant potential and positively cross-regulate AMPK/S6 axis in OE19 and OE33 esophageal cancer cells. *Metabolism*, 2014, 63: 1447-1454.
- 20 Mason JK, Fu MH, Chen JM, et al. Flaxseed oil enhances the effectiveness of trastuzumab in reducing the growth of HER2-overexpressing human breast tumors (BT-474). *J Nutr Biochem*, 2015, 26: 16-23.
- 21 Yang R(杨蕊), Shin JS, Liu YH(刘玉海), et al. Effect of diet adding DHA and ALA microalgae on the composition of fatty acid and cholesterol, triacylglycerol in egg yolk. *Feed Res* (饲料研究), 2014, 21(3): 11-14.
- 22 Li ZQ(李志琼), Chen DW(陈代文), Zhang KY(张克英). Effects of α-linolenic acid on hormone and hepatic HMGR in laying Hen. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2007, 19: 588-592.
- 23 Kartikasari LR, Hughes RJ, Geier MS, et al. Dietary alpha-linolenic acid enhances omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid levels in chicken tissues. *Prostag Leukotr Ess*, 2012, 87: 103-109.
- 24 Sun HS(孙会松), Liang N(梁娜), Zeng M(曾敏), et al. Effects of pepper seed on immune organ index and antibody titer in broiler chickens. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med* (黑龙江畜牧兽医), 2014, 3: 141-143.
- 25 Shuang J(双金), Hou XZ(侯先志), Ao L(敖力格日玛). Effect of feed additive containing alpha linolenic acid on growth of fattening pig fat metabolism. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med* (黑龙江畜牧兽医), 2011, 11: 67-70.
- 26 Wang H(王华), Yan CG(严昌国), Zhou W(周薇). Effect of nisin and linolenic acid on Yanbian cattle rumen microbial fermentation characteristics in vitro and methane production. *Feed Res* (饲料研究), 2013, 11: 54-60.
- 27 Shuang J(双金), Li M(黎明), Ao L(敖力格日玛). Effects of flaxseed on serum biochemical indices related to lipoprotein and fat metabolism of meat sheep. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2014, 26: 918-929.
- 28 Pi Y(皮宇), Jing YJ(经语佳), Wang MZ(王梦芝), et al. Effects of different fatty acids on *in vitro* rumen microbial activity and protein content. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2014, 26: 260-269.
- 29 Yi RG(伊日瑰). Effects of high levels α-linolenic acids oil-seeds on the formation of fatty acid of sheep. Huhehaote: Inner Mongolia Agricultural University (内蒙古农业大学), MSc. 2013.