

营养平衡调和油的配制及营养成分的测定

王胜男, 张娜宁, 杨皓瑜, 何丽霞, 云少君, 冯翠萍

(山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801)

摘要:为解决单一食用油中营养成分缺陷问题,以大豆油、橄榄油、鱼油和亚麻籽油为基料油,测定其酸值、过氧化值、水分及挥发物含量和脂肪酸组成,然后按照中国营养学会关于脂肪酸推荐摄入量的要求,依据不同基料油的脂肪酸组成计算其配比并配制调和油,最后测定调和油的营养成分。结果表明:大豆油、橄榄油、亚麻籽油、鱼油的酸值、过氧化值、水分及挥发物含量均符合相关国家标准,4种油脂配制调和油的最适配比为45%、45%、8%、2%;调和油中主要微量营养成分及其含量为角鲨烯2.18 mg/kg、 β -胡萝卜素0.474 mg/kg、 α -生育酚73.6 mg/kg、 β -生育酚0.6 mg/kg、 γ -生育酚132.0 mg/kg、 δ -生育酚20.4 mg/kg、总甾醇5700 mg/kg。所得调和油符合中国营养学会关于脂肪酸推荐摄入量的要求,是一种营养平衡调和油。

关键词:调和油;营养平衡;大豆油;橄榄油;鱼油;亚麻籽油

中图分类号:TS225;TS227

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2024)03-0062-05

Preparation of blend oil with balanced nutrition and its nutritional components determination

WANG Shengnan, ZHANG Naning, YANG Haoyu, HE Lixia, YUN Shaojun, FENG Cuiping

(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China)

Abstract: In order to address the problem of nutritional component deficiencies in single edible oil, soybean oil, olive oil, fish oil and flaxseed oil were used as base oils, and their acid value, peroxide value, moisture and volatile matter content, and fatty acid composition were determined. After that, according to the requirements of the Chinese Nutrition Society for recommended intake of fatty acids, the ratio of different base oils was calculated based on their fatty acid compositions, and the blend oil was prepared. Finally, the nutritional composition of the blend oil was determined. The results showed that the acid value, peroxide value, moisture and volatile matter content of soybean oil, olive oil, flaxseed oil and fish oil all met the relevant national standards, and the optimal ratio of the four oils for the preparation of blend oil was 45%, 45%, 8% and 2%. The main trace nutritional components and content in blend oil were as follows: squalene 2.18 mg/kg, β -carotene 0.474 mg/kg, α -tocopherol 73.6 mg/kg, β -tocopherol 0.6 mg/kg, γ -tocopherol 132.0 mg/kg, δ -tocopherol 20.4 mg/kg, and

total sterol 5700 mg/kg. The obtained blend oil meets the requirements of the Chinese Nutrition Society for recommended intake of fatty acids, and is a nutrient balanced blend oil.

Key words: blend oil; nutrition balance; soybean oil; olive oil; fish oil; flaxseed oil

收稿日期:2022-06-17;修回日期:2023-11-20

基金项目:北京食品营养与人类健康高精尖创新中心开放基金(20161021);山西省应用基础研究计划青年科技研究基金(201901D211378)

作者简介:王胜男(1997),女,硕士研究生,研究方向为食品营养与安全(E-mail)929006116@qq.com;张娜宁(1996),女,硕士研究生,研究方向为食品营养与安全(E-mail)1153647109@qq.com。王胜男与张娜宁同为第一作者。

通信作者:云少君,教授(E-mail)yunshaojun@163.com;冯翠萍,教授(E-mail)ndfcp@163.com。

油脂是膳食中必不可少的一部分,影响油脂营养功能的主要因素是其摄入量和脂肪酸组成^[1]。

不同油脂的脂肪酸组成不同,饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)的比例各异,所含微量营养成分也不同^[2]。研究表明,大豆油中含有丰富的不饱和脂肪酸及植物甾醇,具有降低血脂、胆固醇,预防心脑血管疾病的作用,但大豆油中 MUFA 含量不足导致其营养组成存在缺陷^[3-4]。橄榄油以富含油酸著称,可以弥补大豆油中 MUFA 含量不足的缺陷,并且橄榄油富含维生素 E、多酚、胡萝卜素、角鲨烯等多种微量营养成分,以及多种香气活性成分^[5-7]。特级初榨橄榄油中含有的多酚类化合物在调节树突状细胞炎症方面具有协同作用,可降低慢性炎症发生的风险^[8]。鱼油中含有丰富的二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)等 $n-3$ PUFA,在大脑的神经保护方面发挥着重要作用,但其特有的鱼腥味导致口感不好^[9-10]。亚麻籽油富含 $n-3$ PUFA α -亚麻酸以及维生素 E,具有抗氧化、抗炎和抗癌等作用,并且在预防心血管疾病、治疗糖尿病和神经系统性疾病等方面具有较大的潜力^[11-12]。张晓霞等^[13]研究表明,亚麻籽油可以抑制炎症和调节肠道菌群,进而缓解大鼠的 2 型糖尿病。

食用调和油将各种油脂按照一定的比例进行调配,解决了单一油脂中营养成分缺少的弊端,既满足了人们对营养的需求,也增添了油脂的风味^[14]。目前已有研究得到多种调和油,如:以菜籽油、亚麻籽油、青藏高原牦牛酥油为原料,制备得到功能性调和菜籽油^[15];以分提牛油、玉米油、亚麻籽油及芝麻油为基料油制备得到营养均衡动植物调和油^[16];以 5% 葡萄籽油、95% 亚麻籽油所制得的葡萄籽-亚麻籽调和油^[17]。但是如何以常见的大豆油、橄榄油、鱼油和亚麻籽油调配出脂肪酸配比合理的营养均衡调和油,还未见报道。

基于此,本研究以大豆油、橄榄油、鱼油和亚麻籽油为基料油,按照中国营养学会关于脂肪酸推荐摄入量的要求配制营养平衡的调和油,并对其功能性成分进行测定,以期对调和油的实际生产应用提供一定的理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

福临门一级大豆油,中粮福临门食品营销有限公司;蓓琳娜特级初榨橄榄油,西班牙巴埃纳产区庄园;红井源有机冷榨亚麻籽油,内蒙古锡林郭勒盟红井源油脂有限公司;鸿洋神海沃斯牌鱼油软胶囊,威海百合生物技术有限公司。

35 种脂肪酸混合标准品,美国 Sigma 公司;角鲨烯标准品、 β -胡萝卜素标准品,坛墨质检科技股份有限公司;维生素 E 标准品,上海安谱实验科技股份有限公司;甾醇标准品、异丙醇、香草醛,上海源叶生物有限公司。其他试剂均为国产分析纯。

1.1.2 仪器与设备

7890A 型气相色谱仪、1260 型高效液相色谱仪、8453 紫外可见分光光度仪,安捷伦科技有限公司;AR224CN 电子天平,奥豪斯仪器(常州)有限公司;BR4I 离心机,赛默飞世尔科技中国有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 理化指标的测定

酸值参照 GB 5009. 229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》测定;过氧化值参照 GB 5009. 227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》测定;水分及挥发物参照 GB 5009. 236—2016《食品安全国家标准 动植物油脂水分及挥发物的测定》测定。

1.2.2 脂肪酸组成的测定

参照 GB 5009. 168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》,采用气相色谱法分析基料油及调和油的脂肪酸组成及含量。试样经过水解、脂肪提取、脂肪皂化及脂肪酸甲酯化后,以 0.45 μm 滤膜过滤后上机测定。

气相色谱条件:CD-2560 色谱柱(100 m \times 0.25 mm \times 0.20 μm);升温程序为 130 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 240 $^{\circ}\text{C}$,保持 30 min;进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;载气流速 0.5 mL/min;分流进样,分流比 10:1;FID 检测器,检测器温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.3 调和油的配制

根据大豆油、橄榄油、鱼油、亚麻籽油的脂肪酸组成,按照中国营养学会关于脂肪酸推荐摄入量的要求^[18-19],在膳食总脂肪供能 20%~30% 前提下,根据 SFA 摄入量占总能量的比例小于 10%,MUFA 和 PUFA 均为 10%,其中 $n-6$ PUFA 占 2.5%~9.0%, $n-3$ PUFA 占 0.5%~2.0%, $n-6$ PUFA 与 $n-3$ PUFA 比例为(4~6):1,计算各基料油的配比并配制调和油。

参考潘开林等^[20]的方法取脂肪酸摄入量占总能量的中位数 25% 计算,即某脂肪酸在总能量的占比为其含量的 25%。

1.2.4 微量营养成分含量测定

参照文献[20],利用高效液相色谱法测定调和油中角鲨烯、 β -胡萝卜素、生育酚、甾醇的含量。

2 结果与分析

2.1 基料油的理化指标

基料油的酸值、过氧化值、水分及挥发物含量见表1。

表1 基料油的酸值、过氧化值、水分及挥发物含量

基料油	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	水分及挥发物/%
大豆油	0.111 9	1.57	0.029
橄榄油	0.080 1	6.32	0.036
鱼油	0.096 0	4.25	0.043
亚麻籽油	0.078 8	3.75	0.032

《食品安全国家标准 植物油》(GB 2716—2018)规定,植物油过氧化值应小于或等于0.25 g/100 g(9.85 mmol/kg),酸值(KOH)小于或等于3 mg/g。《鱼油》(SC/T 3502—2016)规定,二级精制鱼油的水分及挥发物含量小于或等于0.2%,酸值(KOH)小于或等于3 mg/g,过氧化值小于或等于10 meq/kg(5 mmol/kg)。由表1可知,大豆油、橄榄油、鱼油、亚麻籽油的酸值、过氧化值、水分及挥发物含量均符合相关国家标准。

2.2 基料油的脂肪酸组成

基料油的脂肪酸组成及含量见表2。

表2 基料油的脂肪酸组成及含量 g/100 g

脂肪酸	大豆油	橄榄油	亚麻籽油	鱼油
SFA	11.91	11.78	9.92	45.37
MUFA	18.78	67.81	16.94	16.95
PUFA	51.64	5.99	68.78	28.98
<i>n</i> -6 PUFA	46.37	5.21	15.64	6.78
<i>n</i> -3 PUFA	5.22	0.75	53.10	21.72

由表2可知,大豆油中*n*-6 PUFA含量最高,为46.37 g/100 g,鱼油中*n*-3 PUFA含量为21.72 g/100 g,亚麻籽油中*n*-3 PUFA含量高达53.10 g/100 g,远高于大豆油和橄榄油。

2.3 调和油的配制

鱼油富含*n*-3 PUFA,但其添加量过高会影响调和油的口感。研究表明,深海鱼油建议添加量为0.1%~2.0%^[21],因此为了调和油的营养价值及保证其良好的口感,添加亚麻籽油以保证*n*-3 PUFA含量。以大豆油、橄榄油、亚麻籽油与鱼油为基料油,根据其脂肪酸组成,按照1.2.3计算得到调和油中大豆油、橄榄油、亚麻籽油以及鱼油的添加量分别为45%、45%、8%和2%,以此配制调和油。

2.4 调和油的脂肪酸组成

调和油主要脂肪酸组成及含量见表3。根据表3计算的脂肪酸能量占比见表4。

表3 调和油主要脂肪酸组成及含量

脂肪酸	含量/(g/100 g)
C14:0	0.062 8
C16:0	10.760 3
C16:1	0.500 5
C18:0	4.002 3
C18:1 <i>n</i> -9 <i>c</i>	43.620 6
C18:2 <i>n</i> -6 <i>c</i>	29.029 3
C18:3 <i>n</i> -3	6.089 3
C20:2	0.032 0
C20:5 <i>n</i> -3	0.365 8
C22:6 <i>n</i> -3	0.390 6
SFA	14.825 4
MUFA	44.121 1
PUFA	35.907 0
<i>n</i> -6 PUFA	29.029 3
<i>n</i> -3 PUFA	6.845 7

表4 脂肪酸能量占比 %

脂肪酸	能量占比	推荐范围
SFA	3.7	<10
<i>n</i> -6 PUFA	7.3	2.5~9.0
<i>n</i> -3 PUFA	1.7	0.5~2.0
MUFA	11.0	10
PUFA	9.0	10

由表3可知,所制备的调和油中*n*-6 PUFA与*n*-3 PUFA比例为4.24:1,符合中国营养学会推荐的*n*-6 PUFA与*n*-3 PUFA比例为(4~6):1的要求。此外,中国营养学会推荐膳食中SFA、MUFA和PUFA比例为1:1:1^[22]。苏畅等^[23]研究发现,近年来我国成年居民摄入动物性食品的比例不断增加,来源于动物性食品的脂肪占膳食脂肪总量的39.0%。由于人们日常饮食中已经摄入较多的动物油脂,因此还应该降低食用油中SFA的比例,而本研究所配制调和油中SFA、MUFA与PUFA比例为1:2.98:2.42,可以平衡人体对脂肪酸的摄入需求。

由表4可知:调和油中SFA的能量占比为3.7%,远小于10%;*n*-6 PUFA的能量占比为7.3%,在推荐的2.5%~9.0%之间;*n*-3 PUFA的能量占比为1.7%,也在0.5%~2.0%的推荐范围内。该调和油的SFA、*n*-6 PUFA及*n*-3 PUFA的能量占比符合《中国居民膳食营养素参考摄入量》中关于脂肪酸平衡的要求。

2.5 调和油的微量营养成分含量

调和油的微量营养成分含量见表5。

表5 调和油的微量营养成分含量

成分	含量/(mg/kg)
角鲨烯	2.18
β -胡萝卜素	0.474
α -生育酚	73.6
β -生育酚	0.6
γ -生育酚	132.0
δ -生育酚	20.4
总甾醇	5 700

食用油中含有多种功能性成分,其中角鲨烯具有改善心脑血管供血、消炎杀菌等功效^[24]。 β -胡萝卜素可以在体内转化为维生素A^[25],可以改善夜盲症,有助于机体免受自由基的伤害^[26]。生育酚是维生素E的重要组成部分,具有抑制细胞增殖、预防动脉粥样硬化及改善肾功能的作用^[27],此外还能调控骨形成和骨吸收,促进骨代谢的正向平衡^[28]。植物甾醇是一种天然抗氧化剂,具有抗氧化、抗炎以及降低胆固醇的作用^[29]。由表5可知,所配制的调和油中角鲨烯含量为2.18 mg/kg、 β -胡萝卜素含量为0.474 mg/kg、生育酚总量为226.6 mg/kg,总甾醇含量为5 700 mg/kg。因此,该调和油在一定程度上具有抗氧化及抗衰老等作用。

3 结论

本研究按照中国营养学会关于脂肪酸推荐摄入量的要求配制了一款营养平衡的调和油,大豆油、橄榄油、亚麻籽油和鱼油的比例分别为45%、45%、8%和2%,该调和油中角鲨烯含量为2.18 mg/kg, β -胡萝卜素含量为0.474 mg/kg, α -生育酚含量为73.6 mg/kg, β -生育酚含量为0.6 mg/kg, γ -生育酚含量为132.0 mg/kg, δ -生育酚含量为20.4 mg/kg,总甾醇含量为5 700 mg/kg。本研究可为营养平衡调和油的开发和应用奠定一定的理论基础。

参考文献:

[1] 黄艳芳,阮海健,李少华. 油脂营养成分及其对肠道健康影响的研究进展[J]. 中国油脂, 2022, 47(8): 97-102.

[2] 景璐璐,马传国,闫亚鹏. 植物油中生物活性物质及其营养特性概述[J]. 中国油脂, 2021, 46(12): 56-61.

[3] SHEN M, ZHAO S, ZHANG F, et al. Characterization and authentication of olive, camellia and other vegetable oils by combination of chromatographic and chemometric techniques: Role of fatty acids, tocopherols, sterols and squalene[J]. Eur Food Res Technol, 2021, 247(2): 411-426.

[4] 徐云,周玉婷,熊婷,等. 常见植物油以及调和油研究进展[J]. 粮油与饲料科技, 2021(5): 8-12.

[5] 赵玉,张玉环,李建科,等. GC-O结合OAV鉴定陝

南初榨橄榄油关键香气成分[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 184-189.

[6] 罗鑫,高盼,胡传荣,等. 进口西班牙和意大利特级初榨商品橄榄油的比较研究[J]. 中国油脂, 2022, 47(6): 46-52.

[7] 肖岚,熊敏,幸勇,等. 橄榄油与菜籽油调和比例对花椒油风味及营养成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(1): 82-91.

[8] DE SANTIS S, LISO M, VERNA G, et al. Extra virgin olive oil extracts modulate the inflammatory ability of murine dendritic cells based on their polyphenols pattern: Correlation between chemical composition and biological function[J/OL]. Antioxidants, 2021, 10(7): 1016[2022-06-17]. <https://doi.org/10.3390/antiox10071016>.

[9] 张德勇,许晓路. EPA、DHA改善神经系统的几种间接机制研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3): 178-184.

[10] 张争全,田少君. 鱼油微胶囊制备工艺优化及其理化性质研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(1): 70-77.

[11] 廖振林,李倩滢,陈俊杰,等. 亚麻籽油组分的功能活性研究进展[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 379-389, 337.

[12] 赖玉萍,姜福全,黄思苑,等. 亚麻籽油的营养成分、功能活性及应用研究进展[J]. 中国油脂, 2022, 47(8): 109-115.

[13] 张晓霞,穆静,杨正飞. 富含 α -亚麻酸的亚麻籽油通过调节肠道菌群和抑制炎症改善大鼠2型糖尿病[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2021, 35(10): 805.

[14] 岳东阳,蒋敏. 食用调和油与人体健康的关系及其标准制定[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(4): 19-20.

[15] 祁佳,罗毅皓,孙万成,等. 功能性调和菜籽油制备及脂肪酸组成分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(17): 16-26.

[16] 于海坤,刘爱成,陈佳丽,等. 营养均衡动植物调和油的研制[J]. 现代食品科技, 2023, 39(1): 160-169.

[17] 李哲,贾有青,吴隆坤,等. 葡萄籽-亚麻籽调和油的制备及理化性质测定[J]. 中国粮油学报, 35(3): 116-120, 126.

[18] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[19] 苏宜香,郭艳. 膳食脂肪酸构成及适宜推荐比值的研究概况[J]. 中国油脂, 2003, 28(1): 31-34.

[20] 潘开林,朱丹丹,杨峻豪,等. 以红棕油为基料油的营养调和油研制[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(11): 99-103.

[21] 邓斌,张毅新,尚刚,等. 一种富含多不饱和脂肪酸的深海鱼油食用调和油: CN102028048A[P]. 2011-04-27.

油。游离形式的 EPA 和 DHA 在其结构中有一个非常活跃的自由电子,非常不稳定^[10]。偏甘酯的极性大,亲水性高,在加热过程中易水解产生 FFA^[11];偏甘酯的结构较甘油三酯更易于与氧结合发生反应,使过氧化物含量迅速增加以及 FFA 快速氧化^[12]。本实验产品稳定性考察结果也证实了这一点,加速氧化过程中,样品 9(TG 含量 64.09%,偏甘酯含量 30.03%,EE 含量 5.87%)制得的产品 2 酸值较样品 8(TG 含量 90.80%,偏甘酯含量 8.40%,EE 含量 0.70%)制得的产品 1 酸值变化明显加快。因此,TG 含量在 90%以上、EE 和游离脂肪酸含量在 5%以内的 rTG 型鱼油制得的产品稳定性可能更好。

3 结论

对国内外鱼油生产厂家天然 TG 型、EE 型和 rTG 型鱼油组成的测定结果显示:天然 TG 型鱼油的 TG 含量在 97%以上;EE 型鱼油的 EE 含量在 99%以上;rTG 型鱼油的 TG 含量在 52.17%~94.80%,偏甘酯含量在 4.96%~38.97%,EE 含量在 0.28%~13.10%,其中只有 4 个批次 rTG 型鱼油样品 TG 含量高于 90%,可见再酯化反应的高转化率具有一定的技术壁垒。与以 TG 含量低(64.09%)的 rTG 型鱼油为原料制成的产品相比,以 TG 含量高(90.80%)的 rTG 型鱼油为原料制成的产品酸值和过氧化值相对原料变化较小,且加速氧化过程中,酸值变化小。因此,rTG 型鱼油产品的稳定性可能与 TG 含量有关,TG 含量高的 rTG 型鱼油的稳定性比 TG 含量低的好。

基于安全性和稳定性的考虑,除《保健食品原料目录 鱼油》技术要求规定的指标外,建议增加 TG、EE、3-氯丙醇酯、缩水甘油酯等指标的监控,制订更全面的鱼油原料质量标准。

参考文献:

[1] 刘玉军. 鱼油廿碳五烯酸和廿二碳六烯酸的生物效应与

作用机理[J]. 生理科学进展,1987(3):230-235.

- [2] 沈珠军. 鱼油和 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸在冠心病防治中的作用[J]. 中华临床营养杂志,2012,20(6):336-344.
- [3] 王谷亮,赵光胜,宋代军,等. 鱼油对某些心脑血管疾病危险因子的作用[J]. 中华内科杂志,1992,31(4):209-212,254.
- [4] MACKAY D. A comparison of synthetic ethyl ester form fish oil vs. natural triglyceride form[DB/OL]. [2022-11-11]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:26919802>.
- [5] 国家市场监督管理总局 国家卫生健康委员会 国家中医药管理局关于发布辅酶 Q₁₀等五种保健食品原料目录的公告[EB/OL]. (2020-12-01) [2022-11-11]. https://www.samr.gov.cn/tssps/zcwj/art/2023/art_f22954c667fc400abddd0b7ece6155a6.html.
- [6] SCHUCHARDT J P, HAHN A. Bioavailability of long-chain $\omega-3$ fatty acids [J]. Prostag Leukotr Ess, 2013,89(1):1-8.
- [7] YANG L Y, KUKSIS A, MYHER J J. Lipolysis of menhaden oil triacylglycerols and the corresponding fatty acid alkyl esters by pancreatic lipase *in vitro*: A reexamination[J]. J Lipid Res,1990,31(1):137-147.
- [8] DYERBERG J, MADSEN P, MØLLER J M, et al. Bioavailability of marine $n-3$ fatty acid formulations[J]. Prostag Leukotr Ess, 2010,83(3):137-141.
- [9] 晁红娟,吕红萍,叶双明,等. 高效液相色谱-示差折光检测器检测鱼油甘油酯含量[J]. 中国食品添加剂,2021,32(12):170-175.
- [10] 张欢欢,杜芳岭,陈立勇,等. 甘油二酯热氧化稳定性的初步研究[J]. 营养学报,2017,39(3):299-303.
- [11] SULLIVAN RITTER J C, BUDGE S M, JOVICA F, et al. Oxidation rates of triacylglycerol and ethyl ester fish oils[J]. J Am Oil Chem Soc, 2015, 92(4): 561-569.
- [12] 刘春艳,李昌模,若文靓,等. 加热过程甘油二酯油和调和油的氧化稳定性评价[J]. 粮油食品科技,2012,20(2):15-18.

(上接第 65 页)

- [22] 郑淑容. 我国居民油脂摄入现状及对健康的影响[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(9): 84-88.
- [23] 苏畅,张兵,王惠君,等. 2015 年中国十五省(区、市) 18~64 岁居民膳食脂肪摄入状况分析[J]. 营养学报, 2019, 41(2): 118-121.
- [24] YANG L, YANG C Q, LI C Y, et al. Recent advances in biosynthesis of bioactive compounds in traditional Chinese medicinal plants[J]. Sci Bull, 2016, 61(1): 3-17.
- [25] 吕仁龙,丁兰兰,李茂,等. β -胡萝卜素在反刍动物营养中应用的研究进展[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 3936-3943.

- [26] LI L, ZHOU Y F, LI Y L, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidative and hepatoprotective activity of aqueous extract of *Cortex dictamni* [J]. World J Gastroenterol, 2017, 23(16): 2912-2927.
- [27] 段娟,张松波. 维生素 E 在慢性病治疗中的研究进展[J]. 临床合理用药杂志, 2021, 14(28): 178-181.
- [28] 范凯,宋敏,彭斯伟,等. 维生素 E 在骨质疏松症中的影响机制及研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(8): 1218-1222.
- [29] 王恬. 植物甾醇的性质、功能及其在动物生产上的应用[J]. 饲料工业, 2018, 39(20): 1-10.