

藏灵菇源副干酪乳杆菌KL1对蛋鸡脂质过氧化的研究

聂彦芬¹, 董牧群¹, 张 策², 熊利霞¹, 谢远红¹, 张红星¹, 刘 慧^{1,*}, 连正兴³

(1.北京农学院食品科学与工程学院, 微生态制剂关键技术开发北京市工程实验室, 食品质量与安全北京实验室, 农产品有害微生物及农残安全检测与控制北京市重点实验室, 北京 102206; 2.北京市经济管理学校, 北京 100632; 3.中国农业大学动物科技学院, 北京 100093)

摘 要: 利用筛选自藏灵菇中的产胆盐水解酶的副干酪乳杆菌 (*Lactobacillus paracasei*) KL1, 制备冻干菌粉作为受试物进行蛋鸡动物实验, 探讨其对蛋鸡脂质过氧化的影响。将120只农大3号矮小鸡随机分为低剂量实验组、中剂量实验组、高剂量实验组和对照组, 对照组饲喂基础日粮, 低、中、高实验组在此基础上, 分别摄入活菌剂量为 10^5 、 10^6 、 10^7 CFU/(只·d) KL1活菌制剂, 连续11周, 期间测定血清抗氧化指标, 屠宰后测定肝脏脂肪含量并观察组织切片。结果表明, 中、高剂量实验组与对照组相比, 肝脏组织中粗脂肪含量极显著降低 ($P < 0.01$), 分别降低了32.4%、48.2%; 低剂量实验组与对照组相比降低了9.4%; 肝脏组织切片油红O染色结果显示, 随菌株KL1剂量的增加肝脏脂滴堆积现象逐渐减轻, 其中高剂量实验组抑制脂肪肝的作用最强; 抗氧化指标结果显示, 与对照组相比, 低、中、高实验组血清总抗氧化能力均显著提高 ($P < 0.05$), 分别为16.3%、13.9%、14.8%, 中剂量实验组超氧化物歧化酶活力显著提高19.4% ($P < 0.05$), 低剂量和高剂量实验组分别提高11.3%、16.4%, 丙二醛含量和谷胱甘肽过氧化物酶活力无显著差异 ($P > 0.05$)。说明藏灵菇源副干酪乳杆菌KL1具有较强的抑制脂肪肝形成能力, 并具有较好的脂质抗氧化能力。

关键词: 副干酪乳杆菌; 动物实验; 脂肪肝; 脂质过氧化

Effect of *Lactobacillus paracasei* KL1, Isolated from Tibetan Kefir, on Lipid Peroxidation in Laying Hens

NIE Yanfen¹, DONG Muqun¹, ZHANG Ce², XIONG Lixia¹, XIE Yuanhong¹, ZHANG Hongxing¹, LIU Hui^{1,*}, LIAN Zhengxing³

(1. Beijing Engineering Laboratory of Probiotics Key Technology Development, Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing Key Laboratory of Agricultural Product Detection and Control for Spoilage Organisms and Pesticides, Food Science and Engineering College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Economic Management School, Beijing 100632, China; 3. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100093, China)

Abstract: This work aimed to evaluate the effect of lyophilized cells of *Lactobacillus paracasei* KL1, a strain with good fermentation performance and bile salt hydrolase activity isolated from Tibetan kefir, on lipid peroxidation in laying hens. A total of 120 laying hens were divided into experimental groups with dietary supplementation of low, medium and high doses (10^5 , 10^6 and 10^7 CFU per animal per day) of the freeze-dried culture and control group fed a basal diet alone for 11 weeks. Serum antioxidant parameters were measured during the experimental period, and all the animals were slaughtered for the measurement of liver fat content and liver histological examination by biopsy. Our experimental data demonstrated that liver fat contents in the medium- and high-dose groups were significantly reduced by 32.4% and 48.2% ($P < 0.01$), respectively, while a reduction of only 9.4% was observed for the low-dose group as compared with the control group. Oil red O staining of liver slices showed that *Lactobacillus paracasei* KL1 reduced the deposition of fat droplets in the liver in a dose-dependent manner. The results of antioxidant assays indicated that serum total antioxidant capacity was significantly higher by 16.3%, 13.9% and 14.8% in the three treatment groups than in the control group, respectively. Serum superoxide dismutase (SOD) activity levels in the medium-dose group were increased significantly by 19.4%, and by 11.3% and 16.4%

收稿日期: 2016-10-01

基金项目: 农业部转基因生物新品种培育科技重大专项 (2014ZX08008-005);

北京市属高等学校高层次人才引进与培养项目 (CIT&TCD20140315); 北京市自然科学基金面上项目 (5092008)

作者简介: 聂彦芬 (1990—), 女, 硕士, 研究方向为食品加工与安全。E-mail: 251924083@qq.com

*通信作者: 刘慧 (1963—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为食品微生物与发酵。E-mail: mxdlh1963@163.com

in the low- and high-dose groups, respectively in comparison with the control group. However, malondialdehyde (MDA) content and glutathione peroxidase (GSH-Px) activity had no significant change ($P > 0.05$). The above results suggested that *Lactobacillus paracasei* KL1 has the ability to strongly inhibit lipid peroxidation in the liver of laying hens.

Key words: *Lactobacillus paracasei*; animal experiment; fatty liver; lipid oxidation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201707035

中图分类号: Q93-337

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 07-0219-05

引文格式:

聂彦芬, 董牧群, 张策, 等. 藏灵菇源副干酪乳杆菌KL1对蛋鸡脂质过氧化的研究[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 219-223.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201707035. <http://www.spkx.net.cn>

NIE Yanfen, DONG Muqun, ZHANG Ce, et al. Effect of *Lactobacillus paracasei* KL1, isolated from Tibetan kefir, on lipid peroxidation in laying hens[J]. Food Science, 2017, 38(7): 219-223. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201707035. <http://www.spkx.net.cn>

近年来随着人们膳食营养的丰富、运动量的不足, 导致患高血脂、脂肪肝、冠心病、动脉粥样硬化等疾病的发病率不断提高。研究表明机体脂质抗氧化能力与高血脂症、脂肪肝的发生、发展关系十分密切^[1-2]。世界卫生组织预测, 至2020年, 在所有因病死亡的人数中约有40%死于高胆固醇引起的疾病^[3]。生产实践中发现在饲养蛋鸡过程中, 其肝脏脂质代谢紊乱发生率较高, 脂肪在肝细胞内过分堆积, 造成肝脏功能异常, 严重的会引起肝细胞破裂, 最终导致蛋鸡肝内出血而死亡。此外, 高生产性能的蛋鸡能量代谢旺盛, 易产生氧化应激, 且在产蛋后期更为严重^[4]。刘慧等^[5]研究证明藏灵菇源酸奶复合菌发酵剂中耐胃肠道逆环境的副干酪乳杆菌能明显降低血清胆固醇水平、提高机体脂质抗氧化能力。在此基础上, 本研究以蛋鸡为实验动物, 进一步通过在蛋鸡日粮中添加副干酪乳杆菌KL1冻干菌粉, 较系统的研究其对蛋鸡的脂质过氧化特征指标丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和抗脂质过氧化特征指标超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活力和总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)的影响, 并通过观察蛋鸡肝脏组织形态、油红O染色切片和测定肝脏组织脂肪含量, 研究副干酪乳杆菌KL1的保肝护肝、抗氧化作用。进一步为副干酪乳杆菌抗氧化功能提供科学理论依据, 为副干酪乳杆菌KL1应用于功能性食品生产中提供实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株与动物

菌株: 副干酪乳杆菌KL1 (*Lactobacillus paracasei* KL1), 从藏灵菇中筛选与鉴定, 并确定为高产胆盐水解酶和胞外多糖的菌株。

动物: 体质量相近、健康无病的120只30周龄的农大3号矮小鸡, 由中国农业大学动物科技学院选育提供。基础日粮(玉米62.3%、豆粕19.3%、粗蛋白质15.5%、石粉8.6%、棉粕5.0%、钙3.8%、预混料3.0%、麸皮1.8%、磷0.45%)由北京中农盛达科技有限公司提供。

1.1.2 培养基

MRS改良配方及制法参考文献[6]。

1.2 仪器与设备

SZF-06A粗脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司; 202-001电热恒温干燥箱 北京科伟永兴仪器有限公司; BT2202S电子天平 德国塞利多斯集团; GL-21M-高速冷冻离心机 上海卢湘仪离心机仪器有限公司; 真空冷冻干燥机 美国LABCONCO公司。

1.3 方法

1.3.1 饲养条件

采用3层阶梯式单鸡笼养鸡舍, 高床平养。日光照16 h, 控温风机纵向负压通风, 乳头式饮水器, 人工喂料和捡蛋, 自由采食、饮水。

1.3.2 菌株处理与分组

取甘油保藏的副干酪乳杆菌KL1于液体改良MRS培养基中活化培养, 经传代、扩大培养、高密度发酵、离心浓缩、加入冻干保护剂、预冻和真空冷冻干燥后^[7]以改良MRS琼脂培养基倾注平板培养法测定冻干菌粉的活菌数量, 取 10^{-7} 、 10^{-8} 、 10^{-9} 3个稀释度设2次重复, 37℃恒温培养24~36 h, 计数, 得到活菌数 5.4×10^{10} CFU/g, 以此进行倍数稀释至实验所需剂量。

实验蛋鸡适应饲养7 d后, 将其分为低剂量实验组、中剂量实验组、高剂量实验组和对照组, 每组设3个重复。对照组只饲喂基础日粮, 实验组在基础日粮中相应添加低、中、高剂量KL1菌剂, 各实验组摄入活菌数分别为 10^5 、 10^6 、 10^7 CFU/(只·d)。

每天将禁食后的蛋鸡于早9时饲喂, 确保其尽快将含菌饲料摄入, 避免菌体在饲料中繁殖, 以保证每日菌剂摄入量一致, 连续饲喂11周。

1.3.3 样品的采集与制备

1.3.3.1 血清采集

第10周,用一次性注射器分别对4只接近全组平均体质量的蛋鸡进行翅下静脉采血,每只采血1.5 mL,室温条件下静置凝固后取上层血清于干净离心管中,6 000 r/min离心15 min后4℃冷藏保存备用。

1.3.3.2 肝脏组织

第11周,宰杀6只接近全组蛋鸡平均体质量的蛋鸡,摘取肝脏,用解剖剪切取1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm的肝脏组织,浸泡于4%多聚甲醛溶液中固定。

1.3.4 测定指标及方法

1.3.4.1 肝脏组织形态测定

直接观察鸡的肝脏外观形态。

1.3.4.2 肝脏组织显微镜观察

肝脏组织油红O染色切片,显微镜下观察。

1.3.4.3 肝脏组织粗脂肪含量测定

分别称取肝脏组织10 g于冷冻干燥管中,冷冻干燥48 h后将组织粉碎,称取约2.00 g移入滤纸筒内,依据GB/T 14772—2008《索氏抽提法》^[8]测定其粗脂肪含量。

1.3.4.4 血清抗氧化指标测定

取1.3.3.1节冷藏血清样品,送至北京中同蓝博临床检验有限公司测定MDA含量、SOD活力、GSH-Px活力、T-AOC。

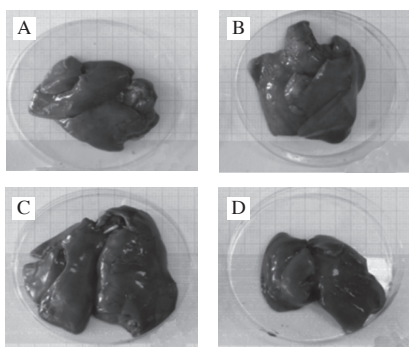
1.4 数据处理

数据处理采用SPSS 19.0软件,实验结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 肝脏组织形态

2.1.1 外观形态



A.对照组; B.低剂量实验组; C.中剂量实验组; D.高剂量实验组。下同。

图1 肝脏组织形态图

Fig. 1 Morphology of livers from different groups of laying hens

肝脏是人体脂质代谢的主要器官,脂肪的合成与释放、脂肪酸的分解、胆固醇与磷脂的合成等都在肝脏组织中进行^[9]。其颜色深浅也可直观表明肝脏脂肪堆积情

况。由图1可知,对照组肝脏与实验组相比颜色发浅,触摸易碎,弹性较弱,有明显脂肪肝表征;低剂量、中剂量、高剂量实验组随副干酪乳杆菌KL1菌剂的剂量增加,肝脏组织颜色趋于健康的红褐色,触摸有弹性,肥大程度减轻。说明副干酪乳杆菌KL1可改善蛋鸡脂肪肝现象,高剂量实验组效果最好。

2.1.2 肝脏组织油红O染色切片

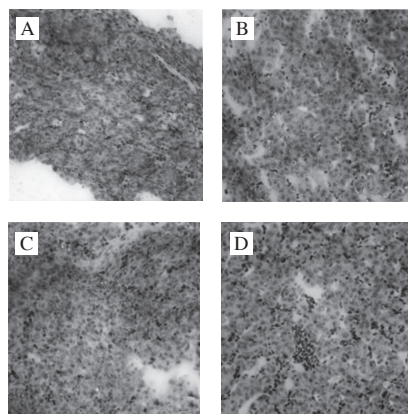
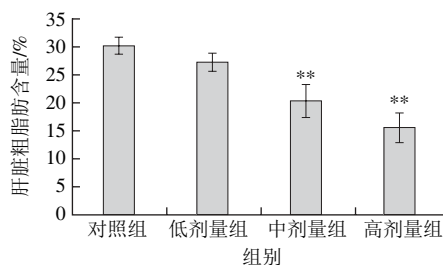


图2 肝脏油红O染色切片(×400)

Fig. 2 Liver tissue sections with oil red O staining (×400)

经油红O染色肝细胞内的脂肪滴呈红色或鲜红色^[10],显微镜下观察肝脏油红O染色切片(图2),对照组和低剂量实验组中有大量明显的红染脂肪液滴,且对照组稍多于低剂量实验组,中剂量实验组可见多数大小不一的红染脂肪滴(图中未能显示),但明显少于对照组,而高剂量实验组几乎不可见。实验组的脂肪堆积现象均有所改观,说明副干酪乳杆菌KL1具有一定抑制脂肪肝作用,其中高剂量实验组效果最优,中剂量实验组次之,低剂量实验组效果最差。

2.2 肝脏粗脂肪含量



**.与对照组比较差异极显著($P < 0.01$)。

图3 副干酪乳杆菌KL1在第11周对肝脏粗脂肪含量的影响($n=6$)

Fig. 3 Effect of *Lactobacillus paracasei* KL1 on crude fat contents in liver tissues at Week 11 ($n=6$)

由图3可知,中、高剂量实验组与对照组相比,肝脏组织中粗脂肪含量极显著降低($P < 0.01$),分别降低了32.4%、48.2%;低剂量实验组与对照组相比降低了9.4%。进一步说明副干酪乳杆菌KL1具有较强抑制脂肪

肝作用,其中高剂量实验组效果最优,中剂量实验组次之,低剂量实验组效果最差,此量化结果与油红O染色切片结果一致。

2.3 血清抗氧化指标

表1 副干酪乳杆菌KL1对血清MDA含量、SOD、GSH-Px活力及T-AOC的影响 (n=4)

Table 1 Effect of *Lactobacillus paracasei* KL1 on serum MDA, SOD, GSH-Px and T-AOC (n=4)

组别	MDA含量/ (nmol/mL)	SOD活力/ (U/mL)	GSH-Px活力/ (U/mL)	T-AOC/ (U/mL)
对照组	7.39±1.00	79.32±12.68	419.25±53.80	7.29±0.76
低剂量实验组	7.30±1.45	88.28±10.52	423.00±65.37	8.48±1.04*
中剂量实验组	7.26±0.79	94.69±17.70*	400.00±60.08	8.30±0.91*
高剂量实验组	7.27±1.39	92.31±14.93	419.63±49.28	8.37±1.44*

注:*.与对照组比较差异显著 ($P<0.05$)。

由表1可知,低、中、高剂量实验组与对照组相比,T-AOC均显著提高 ($P<0.05$),分别为16.3%、13.9%、14.8%;与对照组相比,中剂量实验组SOD活力显著提高了19.4% ($P<0.05$),低剂量和高剂量实验组分别提高11.3%、16.4%;MDA含量、GSH-Px活力整体水平无显著性差异 ($P>0.05$)。表明副干酪乳杆菌KL1具有较好的脂质抗氧化能力,综合分析中、低剂量实验组效果较佳。

3 讨论与结论

鸡蛋具有很高的营养价值,对人体而言,鸡蛋的蛋白质品质最佳,仅次于母乳,其甚至被誉为天然界最完美的食物^[11-12]。但鸡蛋中胆固醇是动物性食品中含量较高的一种,平均每100 g含有1 000 mg^[13],而胆固醇合成与脂肪代谢密切相关。蛋鸡由于其生理特点,体内脂质含量相对较高,易发生脂质过氧化反应,产生对机体有害的过氧化产物^[14]。胆盐水解酶是微生物生长、繁殖过程中产生的一种代谢产物。该酶主要由乳酸菌产生,能水解结合态牛磺酸胆盐和甘氨酸胆盐,将其转变成氨基酸和游离胆酸^[15]。在人体内,胆盐的排泄是体内消除胆固醇的主要途径,也是胆固醇代谢的重要方式。胆盐水解酶在肝肠循环中可将结合胆酸盐降解为游离胆酸,而游离胆酸在体内溶解性很低,与胆固醇结合形成沉淀复合物,从而促进了胆盐的排泄^[16-17]。为了弥补胆盐的损失,维持正常的肝肠循环就必须有部分胆固醇合成新的胆盐来补充排泄掉的那部分(胆固醇是胆盐的前体物质),从而起到降低血液胆固醇的作用^[15-16]。血液中胆固醇含量降低,肝脏可堆积的脂肪来源减少,进而起到保肝护肝的作用。

本实验选取蛋鸡为实验动物,通过对肝脏外观形态和油红O染色的切片观察,证实副干酪乳杆菌KL1活菌制剂可明显改善蛋鸡肝脏脂肪堆积现象,其中高剂量实验

组效果最优,中剂量实验组次之,这与刘慧等^[5]研究的大鼠实验结果一致。通过索氏提取法测定肝脏粗脂肪含量,随着副干酪乳杆菌KL1剂量的增加,肝脏组织中粗脂肪含量呈降低趋势,且中、高剂量实验组极显著降低 ($P<0.01$),其结果与肝脏组织形态表征一致。说明副干酪乳杆菌KL1能有效抑制蛋鸡脂肪肝的形成。

目前脂肪肝已成为仅次于病毒性肝炎的第二大肝病,其与高血脂症、动脉粥样硬化等形成密切相关^[18-19]。正常状况下,机体某些正常物质代谢过程及某些药物或毒物代谢变化过程中会产生一些自由基,自由基攻击生物膜中的不饱和脂肪酸,发生脂质过氧化反应产生MDA,因此MDA水平可反映机体脂质过氧化物的生成速度,亦能间接反映组织氧化损伤程度^[20-21]。SOD和GSH-Px是机体内重要的抗氧化物催化酶^[22-23],能共同清除超氧阴离子和自由基,SOD先将超氧化物分解为过氧化氢,随后在GSH-Px和过氧化氢酶作用下催化生成水,此两种酶的活力高低又间接反映了机体清除自由基的能力^[24]。T-AOC是衡量机体抗氧化能力的指标之一,其水平代表和反映机体抗氧化酶系统和非酶系统对自由基代谢的总抗氧化能力。

LIU Hui^[25]、邢书涵^[26]等已研究证明副干酪乳杆菌KL1为高产胞外多糖的菌株。孟祥升^[27]、刘妍妍^[28]、李景艳^[29]、张玉龙^[30]等经过体外实验证明胞外多糖具有一定的抗氧化活性,能够降低MDA含量,提高T-AOC、GSH-Px、SOD水平,清除自由基,减少脂质过氧化损伤。本研究体内实验表明,与对照组相比,副干酪乳杆菌KL1菌株的低、中、高剂量实验组T-AOC均显著提高 ($P<0.05$),分别为16.3%、13.9%、14.8%;中剂量实验组血清SOD活力显著提高19.4% ($P<0.05$),低剂量和高剂量实验组分别提高11.3%、16.4%。显示高产胞外多糖的副干酪乳杆菌KL1的活菌制剂具有较好的抗氧化作用,为进一步研究副干酪乳杆菌脂质抗氧化机理提供理论依据。

本研究证明产生胆盐产生水解酶和胞外多糖的副干酪乳杆菌KL1具有较强的抑制脂肪肝能力,并具有较好的脂质抗氧化能力,为将副干酪乳杆菌KL1应用于功能性食品生产中提供科学理论依据。

参考文献:

- [1] SPLELLER G. Is atherosclerosis a multifactorial disease or is it induced by a sequence of lipid peroxidation reactions?[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2005, 1043: 355-366. DOI:10.1196/annals.1333.042.
- [2] THOMAS J P, CEIGER P G, GIROTTI A M, et al. Lethal damage to endothelial cell by oxidized low density lipoprotein: role of selenoperoxidases in protection against lipid hydroperoxide and iron-mediated reactions[J]. *Journal of Lipid Research*, 1993, 34(3): 79-82.
- [3] JONES M L, CHEN H M, OUYANG W, et al. Microencapsulated genetically engineered *Lactobacillus plantarum* 80 (pCBHI) for bile acid deconjugation and its implication in lowering cholesterol[J]. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2004(1): 61-69. DOI:10.1155/S1110724304307011.

- [4] 武书庚, 王晶, 张海军, 等. 蛋鸡饲料营养调控研究进展[J]. 中国家禽, 2013, 35(11): 4-7. DOI:10.16372/j.issn.1004-6364.2013.11.008.
- [5] 刘慧, 王世平, 冉冉, 等. 藏灵菇源酸奶复合菌发酵剂对大鼠脂质过氧化物的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 27-30. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2010.03.004.
- [6] 刘慧, 熊丽霞, 李金锭, 等. 藏灵菇源干酪乳杆菌KL1高产胆盐水解酶发酵条件的优化研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(12): 114-118.
- [7] 刘慧, 谢远红, 张红星, 等. 一种产胆盐水解酶干酪乳杆菌KL1活菌制剂的制备方法: ZL201310068240.0[P]. 2014-12-17. <http://www.google.com/patents/CN103146607A?cl=zh>.
- [8] 国家标准化管理委员会. 食品中粗脂肪的测定: GB/T 14772—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-2.
- [9] 温伟波, 李娅琳, 杨岭. 脂肪肝诊治精要[M]. 北京: 人民军医出版社, 2014: 2-3.
- [10] 雷婕. 油红O和苏丹III染色剂对脂肪样病变肝组织脂质染色效果的比较[J]. 医学信息, 2015(49): 45-46. DOI:10.3969/j.issn.1006-1959.2015.49.058.
- [11] 徐有均. 鸡蛋的营养价值[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(9): 116-117. DOI:10.16003/j.cnki.issn.1672-5190.2012.09.077.
- [12] ARZU A B, TULAY O, LUTFIYE Y E, et al. Impact of processing methods on nutritive value and fatty acid profile of hen eggs[J]. Pakistan Veterinary Journal, 2010, 30(4): 219-222.
- [13] LAMAS A, ANTON X, CEPEDA A, et al. Technological strategies for the development of egg-derived products with reduced content of cholesterol[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(1): 81-90. DOI:10.1007/s11947-015-1599-4.
- [14] 谢全喜, 崔诗法, 徐海燕, 等. 复合微生态制剂与饲用抗生素对肉鸡生长性能、免疫性能和抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(7): 1336-1344. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2012.07.019.
- [15] PATEL A K, SINGHANIA R R, PANDEY A, et al. Probiotic bile salt hydrolase: current developments and perspectives[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2010, 162(1): 166-180.
- [16] OOI L G, LIONG M T. Cholesterol-lowering effects of probiotics and prebiotics: a review of *in vivo* and *in vitro* findings[J]. International Journal of Molecular Science, 2010, 11(6): 2499-2522.
- [17] AHN Y T, KIM G B, LIM K S, et al. Deconjugation of bile salts by *Lactobacillus acidophilus* isolates[J]. International Dairy Journal, 2003, 13(4): 303-311. DOI:10.1016/S0958-6946(02)00174-7.
- [18] 朴香淑, 任香顺. 超声诊断脂肪肝与血脂、血糖、肝功能指标之间的相关性分析[J]. 吉林医学, 2011, 32(19): 3919-3920.
- [19] ZULKHAIRI A, AZRINA A, NORHAIZAN M E, et al. Antiobesity effect of *Tamarindus indica* L. pulp aqueous extract in high-fat diet-induced obese rats[J]. Journal of Natural Medicines, 2012, 66(2): 333-342. DOI:10.1007/s11418-011-0597-8.
- [20] 穆洋. 不同抗菌肽制剂对肉仔鸡营养调控和肠道微生物、免疫功能的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015: 53-54.
- [21] 刘时中, 林壮基, 黄谷送. 血清脂质过氧化产物-丙二醛测定及其意义[J]. 广东医药学院学报, 1985(1): 18-22.
- [22] KINNULA V L, CRAPO J D, RAIVIO K O. Generation and disposal of reactive oxygen metabolites in lung[J]. Laboratory Investigation, 1995, 73(1): 3-19.
- [23] AMES B N, SHIGENAGA M K, HAGEN T M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1993, 90(17): 7915-7922.
- [24] 左兆云, 杨维仁, 杨在宾, 等. 日粮添加黄芪多糖对蛋鸡机体抗氧化能力和鸡蛋品质的影响[J]. 中国兽医学报, 2012, 32(1): 130-134. DOI:10.16303/j.cnki.1005-4545.2012.01.025.
- [25] LIU H. Purification and structure study on exopolysaccharides produced by *Lactobacillus paracasei* KL1 from Tibetan Kefir[C]//2010 First International Conference on Cellular, Molecular Biophysics and Bioengineering. Qiqihar: IEEE, 2010: 219-226.
- [26] 邢书涵, 连正兴, 孙勇, 等. 藏灵菇源干酪乳杆菌KL1胞外多糖抑制人结肠癌细胞增殖的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 284-288.
- [27] 孟祥升, 李博. 副干酪乳杆菌及其胞外多糖的抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2012, 37(9): 48-53. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2012.09.001.
- [28] 刘妍妍. 体外评价副干酪乳杆菌NCU622的益生性能[D]. 南昌: 南昌大学, 2015: 31-37.
- [29] 李景艳. 乳酸菌胞外多糖的抗氧化活性及其结构[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 38-39.
- [30] 张玉龙, 胡萍, 王金龙, 等. 产胞外多糖乳酸菌的筛选及抗氧化特性研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(10): 37-42. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2015.10.009.