

燕麦中减肥降脂的功能成分研究进展

石振兴, 朱莹莹, 任贵兴*

(中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 近年来, 肥胖症作为一种慢性疾病对人们的身心健康的威胁越来越大。饮食干预对肥胖症的治疗越来越受到肥胖症患者的重视。燕麦是世界八大作物之一, 营养价值高并具有保健功效。研究发现, 日常饮食摄入燕麦产品可以有效预防肥胖症及其并发症的发生。本文主要从 β -葡聚糖、蛋白质、油脂和生物碱、抗性淀粉等几方面的减肥降脂功效展开论述。燕麦膳食纤维中的 β -葡聚糖的主要通过增强饱腹感、减少消化酶的分泌以及降低消化酶对食物的可及性等手段而达到减肥作用, 目前对其作用机制还有待深入研究。燕麦中的蛋白质、油脂和生物碱主要是通过改善脂代谢以达到降脂作用, 但目前对这3种成分的作用机制尚未研究清楚。关于抗性淀粉的减肥降脂作用已经得到证实, 燕麦也富含抗性淀粉, 但目前还未见燕麦中抗性淀粉减肥降脂的研究报道, 因而以后研究人员可以从这方面入手, 对其进行深入研究。

关键词: 燕麦; 减肥; 降脂; 功效成分

Research on the anti-obesity functional components of oat

SHI Zhen-Xing, ZHU Ying-Ying, REN Gui-Xing*

(Institute of Crop Science of CAAS, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: In the recent years, obesity, as a chronic disease, increasingly threaten people's physical and mental health. Dietary interventions are becoming increasingly important to the treatment of obesity. Oats are one of the 8 important crops in the world, with high nutritional value and health benefits. It is found that eating oat products can effectively prevent obesity and its complications on a daily basis. This article mainly discussed the weight loss and lipid lowering effects of β -glucan, protein, fat and alkaloids, resistant starch and so on. β -glucan in oat dietary fiber is mainly achieved by increasing satiety, reducing the secretion of digestive enzymes and lowering digestive enzyme method, while the mechanism remains to be further research. The reducing excess activity of fat oat protein, oil and alkaloid were achieved by improving the lipid metabolism in order to achieve lipid-lowering effect, but at present, further research about mechanisms of 3 components was necessary. The reducing excess activity of resistant starch has been confirmed, and oats also contain resistant starch. but he research reports of anti starch and fat reducing in oats are rare, so later researchers can make in-depth research from this aspect.

KEY WORDS: oat; losing weight; lipid-lowering; functional component

基金项目: 现代农业创新工程项目(F17R02)、中国农业科学院科技创新工程“中式食品工程化技术”协同创新任务(CAAS-XTX2016005)

Fund: Supported by the Project of Modern Agricultural Innovation (F17R02) and the Science and Technology Innovation Project of CAAS "Chinese Food Engineering Technology" Collaborative Innovation Mission (CAAS-XTX2016005)

*通讯作者: 任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。E-mail: renguixing@caas.cn

*Corresponding author: REN Gui-Xing, Ph.D, Professor, Institute of Crop Sciences of CAAS, No.80, Xueyuan South Street, Haidian District, Beijing, China. E-mail: Renguixing@caas.cn

1 引言

肥胖症是一种慢性代谢类疾病,肥胖症的发生大多伴随着糖尿病、冠心病、高血压、高血脂和非酒精新脂肪肝等并发症^[1]。在20世纪八九十年代,肥胖症已经成为危害发达国家国民健康的主要问题。然而随着经济的发展和人们饮食习惯的改变,肥胖症开始在全球范围内普遍流行,且增长率逐年升高^[2]。据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)预测,截至2020年,肥胖症及其并发症造成的死亡人数将占全球总死亡人数中的2/3^[3]。因此,找到安全有效地预防治疗肥胖症发生的办法显得尤为重要。临床研究表明,膳食干预是一条有效的预防肥胖症发生的途径^[4]。

燕麦是全世界范围内种植最为广泛的作物之一,在八大粮食作物中总产量排第5位^[5]。与其他谷类作物相比,燕麦的特殊之处在于它被认为一种药食同源作物^[6]。大量研究表明在日常饮食中添加燕麦产品可以有效预防肥胖症的发生或一定程度治疗肥胖症及其并发症。Ripsin等^[7]通过大数据分析验证每天在饮食中添加燕麦产品能够达到降低体重和改善血脂水平的效果。Dong等^[8]研究报道在饮食诱导肥胖大鼠的饲料中添加燕麦麸皮,燕麦片和燕麦面粉等产品均可以通过调节肠道菌群而达到减肥降脂效果。许阳等^[9]开发燕麦米加工工艺同时发现在肥胖小鼠饮食中添加20%该燕麦米产品可以明显降低小鼠血脂肝脂水平。美国食品和药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)于1997年就发表声明建议人群在日常饮食中摄入一定量的燕麦食品以预防心血管疾病的发生^[10]。目前文献报道的燕麦中具有减肥降脂作用的成分主要是燕麦 β -葡聚糖,然而,郭丽娜等^[11]评价不同燕麦品种降脂效果,发现不同燕麦品种降脂效果与其中 β -葡聚糖含量并无显著线性正相关关系,暗示燕麦中其他组份也可参与脂代谢调节。本文主要从燕麦膳食纤维、 β -葡聚糖、蛋白质、抗性淀粉、油脂和生物碱这6个方面阐述其减肥降脂作用及其机制研究进展,以期后续研究提供参考。

2 燕麦中具有减肥作用的成分

燕麦含有较多的生物活性成分,目前研究较多的是燕麦 β -葡聚糖,其减肥降脂作用已得到证实。燕麦中其他具有减肥降脂作用的活性成分包括燕麦蛋白、油脂和生物碱;燕麦中的抗性淀粉的减肥降脂作用还有待研究。

2.1 燕麦膳食纤维减肥降脂作用及机制

膳食纤维是指不能被人体消化酶所分解的碳水化合物。燕麦中的膳食纤维具有热量低、饱腹感强同时还可以影响体内消化酶等特点,进而产生减肥降脂的作用。Babio等^[12]研究发现人群平均体重的增加与其每天饮食中总膳

食纤维含量成反比。谷物膳食纤维是人体日常饮食中膳食纤维的良好来源。燕麦中的膳食纤维主要存在于燕麦麸皮中,包括水溶性膳食纤维和水不溶性膳食纤维,其中水溶性膳食纤维占总含量的1/3,而水不溶性膳食纤维占总含量的2/3^[13]。然而,董吉林等^[14]从燕麦麸皮中分别提取2种膳食纤维并添加到肥胖小鼠饲料中,发现水溶性膳食纤维减肥效果优于水不溶膳食纤维。因此,目前对燕麦膳食纤维减肥降脂作用的研究大多集中在水溶性膳食纤维。

β -葡聚糖是燕麦中存在的最主要的一种水溶性膳食纤维,也是一种天然的功能性多糖,由混和的(1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)键连接呈线性结构,其中 β -(1 \rightarrow 3)键占58%~72%, β -(1 \rightarrow 4)键占20%~34%^[15]。 β -葡聚糖是目前国内外研究报道最多的燕麦减肥作用功能因子,Hu等^[16]向菌群人源化肥胖小鼠的高脂饮食中添加5%燕麦 β -葡聚糖,结果表明燕麦 β -葡聚糖可以显著小鼠体重及血脂水平;李文全^[17]给予高脂血症大鼠不同剂量燕麦 β -葡聚糖,发现其减肥降脂效果呈剂量依赖性,且实验周期越长效果越好;Beck等^[18]的研究发现 β -葡聚糖可以通过调节降低胰岛素的分泌进而使受试者产生饱腹感,进而达到减少饮食的目的。此外,临床研究证据表明,正常成年人(体重按60 kg计算)每天至少摄入3 g燕麦 β -葡聚糖才能达到减肥降脂效果^[19]。燕麦 β -葡聚糖具有可溶、高黏、凝胶形成等多种特性。关于其减肥降脂机制,最初发现是其进入人体胃肠道后可以增加食糜黏度,从而延缓胃排空,增加饱腹感^[20]。同时李文全等发现燕麦 β -葡聚糖可以通过影响相关酶活性,增加胆汁酸的合成和排出,从而影响机体脂代谢^[17]。此外,燕麦 β -葡聚糖能提高激素敏感性脂肪酶和胰脂酶活性,从而有效预防高脂饮食性肥胖小鼠的脂肪囤积^[21]。Hogvard^[22]的研究表明,受试者在食用一定剂量的 β -葡聚糖后,其体内的一种具有抑制食欲的胰腺多肽(pancreatic polypeptide-YY, PYY)含量明显增加,进而减少受试者的食欲,从而达到预防肥胖的作用。

Zhang等^[23]研究发现小鼠食用了含有 β -葡聚糖的淀粉体后与对照组相比其餐后血糖明显降低,通过扫描电镜研究发现, β -葡聚糖可以在消化酶蛋白质和淀粉表明形成一种类似于网状的原生结构,进而降低了消化酶的可及性,最终减少淀粉的消化。Beck等^[24]给予14名实验对象 β -葡聚糖浓缩提取物,4 h后采集血液样品检测血清PYY水平,也发现其显著增高。另外,目前对燕麦 β -葡聚糖减肥作用机制研究热点集中在其益生元作用。申瑞玲研究发现,燕麦 β -葡聚糖不能被人体胃肠道消化酶完全消化,从而可以进入小肠为肠道菌群提供碳源,改变肠道菌群结构^[25]。越来越多研究发现,肠道中优势菌群而变化,尤其是有益菌的增多与肥胖症的发生有密切关系,肥胖小鼠中拟杆菌门/厚壁菌门比例降低,葡萄球菌等有害菌群增加,而双歧杆菌、乳酸杆菌等有益菌群数量减少^[26,27]。菌群结构的变化

又可以影响肠道短链脂肪酸(short chain fatty acid, SCFA)产生及组成, 文献报道 SCFA 能够刺激机体 PYY 水平提高, 影响饱腹感^[28]。另外, 肠道中革兰氏阴性菌群的增多导致, 血清中的脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)水平升高, LPS 进入到机体血液循环系统引发内毒素血症, 并诱发机体炎症因子水平升高, 长期以来就会导致慢性代谢类疾病(冠心病、胰岛素抵抗等)发生, 影响机体健康水平^[29]。而目前针对 β -葡聚糖对人体肠道菌群的调节作用的机制研究, 尤其是对肠道菌群变化过程中的基因组的报道很少。同时, 对于肠道菌群的代谢组学的研究也很少见, 因而无法在代谢水平解释 β -葡聚糖对肠道菌群的调节作用。因而以后再工作中可以采用宏基因组测序以及代谢组学的手段进一步深入研究 β -葡聚糖对人体肠道菌群的影响。

2.2 燕麦蛋白质降脂作用及机制

燕麦蛋白质氨基酸组成均衡, 含有人体所必需的 8 种氨基酸, 其要通过调节机体的脂肪代谢进而起到降低血脂的作用。燕麦蛋白主要集中在燕麦麸皮, 含量可高达 16%~30%^[30]。研究表明, 饮食中添加燕麦蛋白质可以有效改善机体脂代谢: 徐向英从不同燕麦品种中提取蛋白质喂食高脂模型大鼠, 并以相应品种燕麦全粉作对比, 发现 30 d 后, 燕麦蛋白组大鼠血脂及肝脂水平显著改善, 效果明显优于燕麦全粉组^[31]。郭丽娜等^[11]选用 β -葡聚糖含量相同, 蛋白质含量不同的燕麦品种, 评价燕麦降脂功效, 结果显示燕麦品种中蛋白质含量越高, 其降低大鼠血清中的总胆固醇(total cholesterol, TC)和低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)的能力越强, 通过蛋白组成分析推测燕麦蛋白的降脂功效可能归功于其合理的赖氨酸/精氨酸(0.59~0.66)和蛋氨酸/甘氨酸(0.27~0.35)比例。史景熙等^[32]用全燕麦片分级分离得到的不同级分饲喂高脂膳食小鼠, 发现其中不溶性蛋白质具有明显的降脂效果。

目前关于燕麦蛋白质降脂机制研究有限, 徐向英^[31]测定喂食前后高脂大鼠粪便中胆固醇含量, 结果表明燕麦蛋白对大鼠胆固醇的代谢途径并非促进胆固醇的排出, 并推测燕麦蛋白质降脂功效与蛋白质中 Arg、含硫氨基酸含量和 Arg/Lys 比值高低有关^[32]。Jodayree 等^[33]从燕麦麸皮中提取燕麦浓缩蛋白质, 并添加到高脂诱导肥胖小鼠饲料中, 3 周后, 小鼠血液及肝脏中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)酶活性显著增强。但究竟是哪种或哪几种蛋白引起的减肥降脂作用, 目前还无从得知。因而关于燕麦蛋白的研究还有很大的需求。首先需要通过物理或化学手段根据不同蛋白质的结构及化学特性对燕麦中的蛋白进行分离, 再经过细胞或动物实验进而确定真正起作用的有效蛋白质; 同时, 目前关于对燕麦蛋白降脂作用的机制研究也很少见, 因而可以从基因或代谢水平对其减肥降脂作

用的机制进行研究探讨。

2.3 燕麦抗性淀粉

1983 年英国生理学家 Hans 首先提出抗性淀粉的定义, 1992 年联合国粮农组织(FAO)将抗性淀粉定义为: “健康者小肠中不吸收的淀粉及其降解产物”^[34]。由于抗性淀粉无法被消化吸收且能降低血脂进而起到预防肥胖的作用。近几十年来, 国内外对抗性淀粉的研究非常活跃, 尤其是其控制体重和调节血脂方面。Cheng 等^[35]试验发现带抗性淀粉能够显著降低高脂饲料喂养大鼠学业总胆固醇和甘油三酯水平。董吉林等^[36]则发现高粱抗性淀粉对高脂饮食诱导肥胖大鼠的体重及体脂分布均有显著影响。燕麦中含有丰富的抗性淀粉, 占总淀粉含量的 1/5 以上。因此燕麦产品的减肥降脂功效除了与其中 β -葡聚糖相关以外, 应该还与其中抗性淀粉功能相关, 但是目前来说, 对于燕麦抗性淀粉功能特性的研究还鲜有报道^[8]。

Chezem 等^[37]研究抗性淀粉可以增加粪固醇的排泄量从而达到降脂目的。另外, 抗性淀粉不能被人体胃肠道酶消化降解, 但是可以在大肠肠道内被微生物发酵, 这对维持肠道正常菌群和机能是非常重要的。Queiroz-Monici 等^[38]研究发现抗性淀粉对小鼠肠内的微生物菌群具有益生保护作用。因此推测抗性淀粉减肥降脂功效与其改善肠道菌群作用密切相关。由于目前还没有文献报道关于燕麦抗性淀粉减肥降脂作用, 因而对可以通过细胞或动物实验首先确定其减肥降脂作用, 再继续深入研究, 从而确定其机制。

2.4 油脂

燕麦中油脂含量为 7%~9%^[39]。郭丽娜等^[11]用超临界 CO₂ 萃取技术提取燕麦油, 研究燕麦油脂的降脂功效, 结果表明摄食燕麦油同样能够显著降低大鼠血清 TC、LDL-C 和 TG 水平; 进一步组分分析表明燕麦油的降脂功效可能主要归功于其所富含的生育三烯酚和植物甾醇。

2.5 生物碱的降脂作用及机制

燕麦生物碱(avenanthramides)是燕麦特有的一类酚酸类次生代谢产物, 主要分为生物碱 A、B、C^[40]。任祎等^[41]从燕麦麸皮中提取生物碱给予高脂小鼠, 发现小鼠血脂水平显著降低降低, 血清高密度脂蛋白增加。同时该研究团队发现燕麦生物碱可以显著上调 LPL 的 mRNA 表达水平, LPL 是调节脂蛋白代谢的一种关键酶, 具有水解血浆脂蛋白中甘油三酯的作用, 体内 LPL 减少会导致血甘油三酯增加和高密度脂蛋白胆固醇降低。

3 结 论

燕麦具有显著的减肥降脂功效, 目前可见文献报道的功能因子包括燕麦 β -葡聚糖、蛋白质、抗性淀粉、油脂和生物碱。关于燕麦 β -葡聚糖、蛋白质的减肥降脂作用虽

然已经得到证实,但是其作用机制还缺乏深入研究;关于燕麦中抗性淀粉减肥降脂作用的研究目前还未发现报道,因而这方面需要得到科研人员们的关注,以便确定燕麦抗性淀粉的功能作用。随着经济发展,人们的对生活品质的追求已从温饱转变为健康。面对肥胖症及其并发症的发生,人们更愿意的选择膳食预防而非药物治疗。因此,将燕麦主食化以及开发燕麦功能食品将会迎来广阔的市场。

参考文献

- [1] James PT, Leach R, Kalamara E, *et al.* The worldwide obesity epidemic [J]. *Obes Res*, 2001, 9(S11): 228-233.
- [2] 李立明, 饶克勤, 孔灵芝, 等. 中国居民 2002 年营养与健康状况调查 [J]. *中华流行病学杂志*, 2005, 26(7): 478-484.
Li LM, Rao KQ, Kong LZ, *et al.* A survey on nutrition and health in China in 2002 [J]. *Chin J Epidemiol*, 2005, 26(7): 478-484.
- [3] Abelson P, Kennedy D. The obesity epidemic [J]. *Science*, 2004, 304(5676): 1413-1413.
- [4] Wang CL, Liang L, Fu JF, *et al.* Effect of lifestyle intervention on non-alcoholic fatty liver disease in Chinese obese children [J]. *World J Gastroenterol*, 2008, 14(10): 1598.
- [5] 张丽萍, 翟爱华. 燕麦的营养功能特性及综合加工利用[J]. *食品与机械*, 2004, (2): 55-57.
Zhang LP, Zhai AH. Nutritional features and comprehensive processing and utilization of oats [J]. *Food Mach*, 2004, (2): 55-57.
- [6] 任长忠, 胡新中, 郭来春, 等. 国内外燕麦产业技术发展情况报告[J]. *世界农业*, 2009, (9): 62-64.
Ren CZ, Hu XZ, Guo LC, *et al.* Report on technical development of oat industry at home and abroad [J]. *World Agric*, 2009, (9): 62-64.
- [7] Ripsin CM, Keenan JM, Jacobs DR, *et al.* Oat products and lipid lowering: a meta-analysis [J]. *Jama*, 1992, 267(24): 3317-3325.
- [8] Dong J, Zhu Y, Ma Y, *et al.* Oat products modulate the gut microbiota and produce anti-obesity effects in obese rats [J]. *J Funct Foods*, 2016, 25: 408-420.
- [9] 许阳, 胡新中, 张恒, 等. 燕麦米对肥胖小鼠减肥降脂作用的研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(2): 15-21.
Xu Y, Hu XZ, Zhang H, *et al.* Study on the effect of oat rice on fat loss in obese mice [J]. *J Chin Cereals Oils*, 2013, 28(2): 15-21.
- [10] Food US. Drug Administration, Food labeling: health claims; oats and coronary heart disease (Final rule) [J]. *Federal Regist*, 1997, 62: 3583-3601.
- [11] 郭丽娜. 燕麦品种品质及其降血脂功效研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
Guo LN. Research on the quality of oat varieties and their effect on reducing blood lipids [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [12] Babio N, Balanza R, Basulto J, *et al.* Dietary fibre: Influence on body weight, glycemic control and plasma cholesterol profile [J]. *Nutr Hosp*, 2010, 25(3): 327-340.
- [13] 任顺成, 马瑞萍. 燕麦的功效因子及其保健功能[J]. *粮食科技与经济*, 2013, 38(3): 58-60.
Ren SC, Ma RP. The efficacy factor and health function of oats [J]. *Food Sci Econ*, 2013, 38(3): 58-60.
- [14] 董吉林, 朱莹莹, 李林, 等. 燕麦膳食纤维对食源性肥胖小鼠降脂减肥作用研究[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(9): 24-29.
Dong JL, Zhu YY, Li L, *et al.* Study on the effect of oat dietary fiber on lipid weight loss in obese mice [J]. *J Chin Grain Oil*, 2015, 30(9): 24-29.
- [15] Ryu JH, Lee S, You SG, *et al.* Effects of barley and oat β -glucan structures on their rheological and thermal characteristics [J]. *Carbohydr Polym*, 2012, 89(4): 1238-1243.
- [16] Hu XZ, Sheng XL, Li XP, *et al.* Effect of dietary oat β -glucan on high-fat diet induced obesity in HFA mice [J]. *Bioact Carbohydr Diet Fibre*, 2015, 5(1): 79-85.
- [17] 李文全. 燕麦 β -葡聚糖对高脂血症大鼠脂代谢的影响和机理探讨[D]. 晋中: 山西农业大学, 2007.
Li WQ. Effects and mechanism of oat β -glucan on lipid metabolism in hyperlipidemia rats [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2007.
- [18] Beck EJ, Tosh SM, Batterham MJ, *et al.* Oat β -glucan increases postprandial cholecystokinin levels, decreases insulin response and extends subjective satiety in overweight subjects [J]. *Molecul Nutr Food Res*, 2009, 53(10): 1343-1351.
- [19] Chen J, He J, Wildman RP, *et al.* A randomized controlled trial of dietary fiber intake on serum lipids [J]. *Eur J Clin Nutr*, 2006, 60(1): 62-68.
- [20] 王英. 不同燕麦产品对小鼠胃肠道代谢的影响[D]. 郑州: 郑州轻工业学院, 2011.
Wang Y. Effects of different oat products on gastrointestinal metabolism in mice [D]. Zhengzhou: Zhengzhou Light Industry Hospital, 2011.
- [21] Murphy P, Dal BF, O'Doherty J, *et al.* Analysis of bacterial community shifts in the gastrointestinal tract of pigs fed diets supplemented with β -glucan from *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea* and *Saccharomyces cerevisiae* [J]. *Animal*, 2013, 7(7): 1079-1087.
- [22] Högvard B. Intake of beta-glucan changes satiety and markers of gut microbiota in healthy, normal weight individuals [D]. Norway: Oslo and Akershus University College, 2017.
- [23] Zhang J, Luo K, Zhang G. Impact of native form oat β -glucan on starch digestion and postprandial glycemia [J]. *J Cereal Sci*, 2017, 73: 84-90.
- [24] Beck EJ, Tapsell LC, Batterham MJ, *et al.* Increases in peptide YY levels following oat β -glucan ingestion are dose-dependent in overweight adults [J]. *Nutr Res*, 2009, 29(10): 705-709.
- [25] 申瑞玲. 燕麦 β -葡聚糖的提取纯化及功能特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
Shen RL. Study on the extraction and purification and functional characteristics of oat β -glucan [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.
- [26] Kalliomäki M, Collado MC, Salminen S, *et al.* Early differences in fecal microbiota composition in children may predict overweight [J]. *Am J Clin Nutr*, 2008, 87(3): 534-538.
- [27] Ley RE, Turnbaugh PJ, Klein S, *et al.* Microbial ecology: human gut microbes associated with obesity [J]. *Nature*, 2006, 444(7122): 1022-1023.
- [28] Samuel BS, Shaito A, Motoike T, *et al.* Effects of the gut microbiota on host adiposity are modulated by the short-chain fatty-acid binding G protein-coupled receptor, Gpr41 [J]. *Proceed Nat Acad Sci*, 2008, 105(43): 16767-16772.
- [29] Serino M, Luche E, Chabo C, *et al.* Intestinal microflora and metabolic diseases [J]. *Diab Metabol*, 2009, 35(4): 262-272.
- [30] 张晓平, 冯涛, 赵世锋, 等. 酶法提取燕麦蛋白的研究[J]. *食品科技*,

- 2009, 34(5): 170–174.
Zhang XP, Feng T, Zhao SF, *et al.* Study on the extraction of oat protein by enzyme [J]. Food Technol, 2009, 34(5): 170–174.
- [31] 徐向英. 燕麦蛋白提取, 性质以及降血脂活性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
Xu XY. Extraction of oat protein, properties and blood lipid activity [D]. Zhengzhou: Henan Polytechnic University, 2012.
- [32] 史景熙, 杨中汉, 梅慧生, 等. 燕麦降血脂有效成分的探讨[J]. 营养学报, 1988, 10(4): 348–353.
Shi JX, Yang ZH, Mei HS, *et al.* Discussion on the effective components of oat lowering blood lipids [J]. J Nutr, 1988, 10(4): 348–353.
- [33] Jodayree S, Patterson ZR, MacKay H, *et al.* Blood and liver antioxidant capacity of mice fed high fat diet supplemented with digested oat bran proteins [J]. Int J Food Sci Nutr Eng, 2014, 4(1): 9–14.
- [34] 张平, 印遇龙, 李铁军, 等. 几种常见饲料原料中抗性淀粉含量的测定[J]. 饲料工业, 2005, 26(7): 53–54.
Zhang P, Yin YL, Li TJ, *et al.* Determination of resistant starch content in several common feed materials [J]. Feed Ind, 2005, 26(7): 53–54.
- [35] Cheng HH, Lai MH. Fermentation of resistant rice starch produces propionate reducing serum and hepatic cholesterol in rats [J]. J Nutr, 2000, 130(8): 1991–1995.
- [36] 董吉林, 林娟, 申瑞玲, 等. 高粱淀粉及抗性淀粉对高脂饮食诱导大鼠体脂分布研究[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(10): 14–17.
Dong JL, Lin J, Shen RL, *et al.* Research on the distribution of sorghum starch and resistant starch on the lipid distribution of rats with high-fat diet [J]. Food Oil, 2013, 26(10): 14–17.
- [37] Chezem JC, Furumoto E, Story J. Effects of resistant potato starch on cholesterol and bile acid metabolism in the rat [J]. Nutr Res, 1997, 17(11–12): 1671–1682.
- [38] Queiroz-Monici KS, Costa GEA, da-Silva N, *et al.* Bifidogenic effect of dietary fiber and resistant starch from leguminous on the intestinal microbiota of rats [J]. Nutrition, 2005, 21(5): 602–608.
- [39] 魏决, 郭玉蓉, 金小培. 不同溶剂提取燕麦油脂的抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2008, (12): 148–150.
Wei J, Guo YR, Jin XP. Study on antioxidant activity of oat oil from different solvents [J]. Food Technol, 2008, (12): 148–150.
- [40] 武娇. 燕麦生物碱合成的诱导调控研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
Wu J. Study on the induced regulation of oat alkaloid synthesis [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2015.
- [41] 任祎, 马挺军, 牛西午, 等. 燕麦生物碱提取物的抗氧化与降血脂作用研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 103–106.
Ren Y, Ma TJ, Niu XW, *et al.* Study on the antioxidation and blood lipid effect of oat alkaloid extract [J]. J Cere Oils Ass, 2008, 23(6): 103–106.

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



石振兴, 博士研究生, 主要研究方向为农产品质量与食品安全。

E-mail: shizhenxing@caas.cn



任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。

E-mail: renguixing@caas.cn