

多菌株发酵型蜂蜜醋饮料的 减肥降脂功能性研究

徐伟¹, 杜娇¹, 杜鹃¹, 徐春华², 孟庆生², 付大伟¹, 王薇¹

(1. 哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江哈尔滨 150076;

2. 大兴安岭绿源蜂业有限公司, 黑龙江加格达奇 165000)

摘要:利用酿酒酵母、葡糖醋杆菌与嗜酸乳杆菌多菌株共生发酵制得的蜂蜜醋饮料作为供试饮料, 研究其对小鼠减肥降脂作用。设置空白对照(CK)、高脂营养对照(HF)、蜜醋预防肥胖(HVO)、高血脂模型(HM)、蜜醋降血脂(HVP)5个剂量组, 连续灌胃30 d, 每隔5 d称1次体重。以体重、体脂(小鼠生殖器周围重量)、血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL-C)为检测指标。实验显示: 蜜醋发酵型饮料能够显著降低小鼠体重($p < 0.05$)、脂肪系数($p < 0.05$)、小鼠血清甘油三酯(TG)($p < 0.05$)、总胆固醇(TC)($p < 0.05$)、降低动脉硬化指数(AI); 对肥胖小鼠血清中高密度脂蛋白(HDL-C)($p < 0.05$)有明显的升高作用。结果表明: 多菌株发酵型蜂蜜醋饮料具有减肥、预防动脉硬化及降血脂作用。

关键词:多菌株, 蜜醋饮料, 减肥作用, 降脂作用

Effect of multi strain symbiotic fermentation of honey vinegar beverage on weight reduction and lipid-lowering function

XU Wei¹, DU Jiao¹, DU Juan¹, XU Chun-hua², MENG Qing-sheng², FU Da-wei¹, WANG Wei¹

(1. School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China;

2. Lvyuan Bee Limited Corporation of Daxinganling, Jagedaqui 165000, China)

Abstract: A new kind of beverage was prepared through linden tree honey as materials, and *Saccharomyces ludwigii*, *Gluconacetobacter* and *Lactobacillus acidophilus* were used to carry on symbiotic fermentation of multiple strains. Mice were divided randomly into 5 groups: control group, high fat nutritional control group, honey vinegar prevention of overweight, hyperglycemia model, and honey vinegar antilipemic group. Each group except the control group was dosed once a day for 30 days and was weighed once every 5 days. The body weight, body fat, serum total cholesterol (TC), triglyceride (TG) and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) of the mice were determined. The results of test showed that the honey fermented beverage could obviously all reduce the weight of adiposity mice ($p < 0.05$), fat index number ($p < 0.05$), TG ($p < 0.05$), TC ($p < 0.05$), debasing AI. Yet improve their HDL in blood serum, so the honey fermented beverage possesses great functions in reducing weight, fat and preventing arteriosclerosis.

Key words: multiple-strains; honey vinegar beverage; anti-obesity; lipid-lowering

中图分类号: TS275.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)24-0334-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.24.064

椴树蜜呈浅琥珀色、微甜、易结晶^[1-3], 主要成分为果糖和葡萄糖, 占蜂蜜总糖的85%以上, 椴树蜜中含有少量蛋白质、氨基酸、维生素、黄酮、激素、多酚类化合物及酯类等成分, 具有润肺止咳、排毒养颜等多种疗效^[4-5], 蜂蜜中含糖量高致使中老年及肥胖人群饮用受限^[6], 因此, 开发符合需求的低热量饮料、特殊用途饮料是饮料发展的趋势^[7]。醋酸饮料则属低热量饮料, 目前, 发酵型蜂蜜醋酸饮料多采用酿造食

醋菌株和传统工艺酿造, 发酵周期长, 酸味刺激欠柔和。

研究以椴树蜜为原料, 利用酿酒酵母、葡糖醋杆菌与嗜酸乳杆菌三种微生物的共生关系及其发酵作用, 酵母菌分解糖类物质产生乙醇^[8], 葡糖醋杆菌进一步将乙醇转化为乙酸^[9], 共生作用可将葡萄糖转化为乳酸、醋酸、葡萄糖酸、柠檬酸等多种有机酸^[10], 发酵作用还可将蜂蜜中的少量蛋白质转化成易于吸收

收稿日期: 2015-06-15

作者简介: 徐伟(1963-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 微生物学与发酵工程, E-mail: xuwei@hrbcu.edu.cn。

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发项目(GC13B205)。

的氨基酸^[11],由于酵母菌的发酵作用增加酯类物质,使蜂蜜醋饮料具有酸甜适口、风味柔和、蜜香清雅等特点。

脂肪细胞是机体内部的能量储备器官^[12],当脂肪组织较多时,会导致许多疾病的发生,肥胖患者一般都伴随高血脂症,高血脂症是导致动脉粥样硬化的重要因素,是造成冠心病、高血压疾病的主要原因^[13]。本研究以课题组研究开发的多菌株发酵蜜醋为供试饮料,通过建立高脂营养肥胖模型,对小鼠灌胃给药,探讨了多菌株发酵蜜醋饮料的减肥、降血脂的功能,为开发多菌株发酵蜜醋饮料产品及其功能性的研究提供参考。

1 材料与方法

实验动物 封闭群,生长30 d的IRC小鼠,许可证号:SCXK(吉)-2011-0004,SPF级,雌雄各半,体重(20±2) g,总数50只,由长春市亿斯实验动物技术有限责任公司提供;椴树蜜 黑龙江省加格达奇市大兴安岭绿源蜂业有限公司;蜜醋发酵型饮料 多菌株共生发酵蜂蜜制得;基础饲料 吉林省长春市亿斯实验动物技术有限责任公司提供;高脂营养饲料^[14] 每100 g基础饲料中添加浓鱼肝油10滴,猪油10 g,全脂奶粉10 g,鸡蛋1枚,混和均匀,制成高脂肪营养饲料;高脂、高胆固醇饲料^[14] 将胆盐0.5 g、猪油5 g、蛋黄粉10 g,与基础饲料85 g混合均匀,制成高脂、高胆固醇饲料;总胆固醇(TC)试剂盒、甘油三酯(TG)试剂盒和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)试剂盒 南京建成生物工程研究所。

DHG-9203A电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科技有限公司;SynergyH1酶标仪 北京博仪恒业科技发展有限公司;SY-2-4电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司;ALC-110-4电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;LG10-2.4A离心分离机 北京京立离心机有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蜜醋发酵型饮料的制备 以椴树蜜为原料,采用酿酒酵母、葡糖醋杆菌与嗜酸乳杆菌混合多菌株共生发酵,共生发酵温度32℃,发酵时间6 d,混合接种量4%,接种比例1:2:1(酵母菌:葡糖醋杆菌:嗜酸乳杆菌)^[15]。

1.2.2 蜜醋发酵型饮料减肥模型和降血脂模型的建立 将50只小鼠用基础饲料喂养1周后,随机分成空白对照组(CK)、高脂营养对照组(HF)、蜜醋预防肥胖组(HVO)、高脂模型组(HM)、蜜醋降血脂组(HVP)5个小组,每组10只鼠(分两盒饲养)。

CK组供给基础饲料,自由饮食,HF组和HVO组

1次性定量饲喂15 g高脂营养饲料,其余时间供给基础饲料。HM组和HVP组1次性定量饲喂15 g高脂、高胆固醇饲料,其余时间供给基础饲料,连续喂养30 d^[16]。

HVO组和HVP组每日灌胃蜜醋饮料2次,每只小鼠每次0.25 mL。CK组、HF组和HM组以等剂量的纯净水代替,连续灌胃30 d。

每5 d称1次各组小鼠体重。最后1日禁食12 h,眼球取血,37℃恒温水浴静置30 min后,3000 r/min离心15 min,取上清液制得血清。小鼠取血后处死,摘取生殖器周围的脂肪称重,计算各小鼠脂肪系数。

1.2.3 测定指标及方法 体重:小鼠体重每5 d称量1次,观察各组之间差异。

脂肪系数:小鼠生殖器周围脂肪的质量和脂肪系数越低,说明减肥效果越好。喂养30 d的小鼠,测定其体重后处死,将生殖器周围的脂肪进行分离,称量其重量^[17],按下式计算脂肪系数:

$$\text{脂肪系数}(\%) = \frac{\text{脂肪质量}}{\text{小鼠质量}} \times 100$$

血清生化指标的测定:小鼠喂养到30 d,禁食16 h,摘眼球取血,血液静置30 min后,3000 r/min离心15 min,吸取上清液^[18-19],用试剂盒测定血清总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL-C)和甘油三酯(TG),通过下式计算动脉硬化指数(AD):

$$\text{动脉硬化指数} = \frac{\text{TC} - \text{HDL-C}}{\text{HDL-C}}$$

1.3 数据统计处理

所得数据采用IBM公司的SPSS 17.0进行处理,实验结果以平均值±标准差(s)表示,组间差异采用t检验。

2 结果与分析

2.1 蜜醋发酵型饮料预防高脂饮食引起的肥胖作用

2.1.1 蜜醋发酵型饮料对实验小鼠体重的影响 长时间吃高脂饲料会使体重增加,在30 d小鼠喂养实验中,每5 d称一次小鼠体重,蜜醋发酵型饮料对实验小鼠体重的影响,结果见表1所示。

由表1可知,三组小鼠的体重都随着饲养时间的增长而增加,说明三组小鼠都在正常生长。5 d前HF组与CK组无显著差异,5 d后HF组的体重增长速度高于CK组,有显著差异($p < 0.05$),说明高脂营养饲料有增肥作用,进一步说明肥胖实验模型建立成功。HVO组增长速度低于HF组,15 d后有显著差异($p < 0.05$),说明蜜醋发酵型饮料具有控制体重的作用。

2.1.2 蜜醋发酵型饮料对小鼠生殖器周围脂肪总量和脂肪系数的影响 小鼠的超重和肥胖常采用生殖

表1 蜜醋发酵饮料对实验小鼠体重的影响(g, $\bar{x} \pm s$)

Table 1 Effect of fermentation of honey vinegar beverage on body weight of mice(g, $\bar{x} \pm s$)

组别	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
CK组	19.39±1.30	24.82±2.14	25.89±3.27	26.51±3.24	27.23±2.69	29.91±3.39	30.02±2.72
HF组	19.79±0.86	25.39±2.33	28.62±3.60*	32.66±3.23*	36.00±3.27*	41.80±2.44*	44.84±2.82*
HVO组	19.40±0.78	25.12±3.14	26.65±2.99	27.84±2.47#	28.33±1.53#	29.37±2.24#	29.96±2.84#

注:同列数据中标注*表示HF组与CK组比较有显著性差异($p < 0.05$);标注#表示HVO组与HF组相比有显著差异($p < 0.05$);表2~表5同。

器周围的脂肪重量和脂肪系数来评价, 蜜醋发酵型饮料对减肥作用的影响, 结果见表2。

表2 蜜醋发酵型饮料对小鼠生殖器周围脂肪总重和脂肪系数的影响

Table 2 Effect of fermentation of honey vinegar beverage on the weight of total fat tissues around the gonads, fat coefficient of mice

组别	生殖器周围脂肪总重(g)	脂肪系数(%)
CK组	0.61±0.14	1.67±0.35
HF组	1.75±0.25*	3.55±0.24*
HVO组	1.25±0.15#	2.45±0.37#

由表2可知, HF组小鼠生殖器周围的脂肪总重和脂肪系数高脂营养组均高于CK组 ($p < 0.05$), 说明高脂营养肥胖模型建模成功。HVO组与HF组对比生殖器周围脂肪总重和脂肪系数显著降低 ($p < 0.05$), 说明蜜醋发酵型饮料具有抑制多余脂肪的积累, 减肥的作用。

2.1.3 蜜醋发酵型饮料对高脂饮食引起的血清甘油三酯和总胆固醇的影响 小鼠的超重和肥胖常采用血清总胆固醇和甘油三酯浓度来评价, 蜜醋发酵型饮料对高脂饮食引起的血清TC和TG的影响如表3所示。

表3 蜜醋发酵型饮料对减肥模型组小鼠血清TC和TG浓度的影响 ($n=10, \bar{x} \pm s$)

Table 3 Effect of fermentation of honey vinegar beverage on serum total cholesterol and triglyceride concentrations in serum of mice by weight loss model group ($n=10, \bar{x} \pm s$)

分组	TC (mmol/L)	TG (mmol/L)
CK组	4.96±0.95	1.40±0.51
HF组	7.51±0.76*	1.81±0.31*
HVO组	6.06±0.91#	1.60±0.44#

由表3可知, HF组的血清总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)均显著高于CK组 ($p < 0.05$), 蜜醋发酵型饮料HVO组中小鼠血清总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)显著低于HF组 ($p < 0.05$), 表明蜜醋发酵型饮料对小鼠具有减肥作用。当机体长期摄入高脂食物, 机体内过量的能量以脂肪的形式存在, 使得脂肪组织增加, 机体处于肥胖状态, 长期肥胖状会使血清总胆固醇(TC)和肝脏甘油三酯(TG)含量的显著升高^[20], 从而引起高血压、脂肪肝、糖尿病、动脉粥样硬化等疾病^[21]。所以常用血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)为指标评价减肥食品功能性。

2.2 蜜醋发酵型饮料降血脂作用

高脂血症主要是指血清TC、TG高于正常值上限的脂代谢障碍病症。肥胖患者血液粘度增加, 易发生高脂血症、心血管疾病等疾病^[22]。一般认为血浆TC、TG和LDL-C的水平与动脉粥样硬化发生呈正相关, 而血浆HDL-C水平与之发生呈负相关^[23]。LDL是将肝脏合成的胆固醇转运到全身组织的主要形式, 被认为是致动脉粥样硬化因子。而HDL被认为是一种抗动脉粥样硬化的脂蛋白, 能将周围组织及动脉壁上

的胆固醇吸收下来^[24], 并把它运输到肝脏中分解, 从胆汁排出, 因此HDL可防止脂质在动脉壁上沉积, 具有抗动脉硬化的作用。黄酮和多酚类化合物, 通过自身的抗氧化作用清除氧自由基, 抑制胆固醇及不饱和脂肪酸氧化, 减少胆固醇及其氧化物在动脉壁上沉积, 促进不饱和脂肪酸对胆固醇的转运和清除, 从而抑制动脉硬化形成^[25]。

2.2.1 蜜醋发酵型饮料对高脂模型小鼠血清TC和TG的影响 通过对小鼠血清总胆固醇和甘油三酯浓度来研究蜜醋饮料降血脂的功能, 结果如表4所示。

表4 蜜醋发酵型饮料对高脂模型小鼠血清TC和TG浓度的影响 ($n=10, \bar{x} \pm s$)

Table 4 Effect of fermentation of honey vinegar beverage on serum total cholesterol and triglyceride concentrations content in serum of hyperlipidemia mice which induced by high-fat diet ($n=10, \bar{x} \pm s$)

分组	TC (mmol/L)	TG (mmol/L)
CK组	4.96±0.95	1.40±0.51
HM组	6.55±1.22*	1.70±0.60*
HVP组	6.18±1.35#	1.54±0.41#

从表4可知, 高脂、高胆固醇饲料能使小鼠TC及TG含量增加, HM组小鼠与CK组相比TC和TG水平都显著增加 ($p < 0.05$), 说明建立的高脂模型成功; 蜜醋饮料HVP组TC、TG的含量显著低于HM组 ($p < 0.05$), 说明蜜醋发酵型饮料具有降低TC、TG的作用, 可能是因为蜜醋发酵型饮料中的有机酸等物质对TC、TG的升高具有抑制作用。

2.2.2 蜜醋发酵型饮料对血清HDL-C和AI的影响 高脂血症即血清中TC、TG和LDL-C水平是影响动脉粥样硬化和心血管系统疾病的主要因素, 降血脂、降胆固醇是预防和治疗动脉粥样硬化和心血管系统疾病的重要方法, 蜜醋发酵型饮料对血清高密度脂蛋白和动脉粥样硬化指数的影响, 结果如表5所示。

由表5可知, 喂高脂、高胆固醇饲料的HM组小鼠血清HDL-C浓度和AI与CK组比较均有显著差异 ($p < 0.05$), 可知长时间食用高脂、高胆固醇饲料小鼠血清动脉硬化指数会升高, 同时也会引起动脉硬化, 说明本实验成功建立了高脂动物模型。HVP组与HM组相比, 高密度脂蛋白胆固醇的含量(HDL-C)升高 ($p < 0.05$), 动脉硬化指数下降, 说明蜜醋发酵型饮料有减轻动脉硬化, 具有降血脂的作用。

表5 蜜醋发酵型饮料对小鼠血清HDL-C和动脉硬化指数的影响 ($n=10, \bar{x} \pm s$)

Table 5 Effect of fermentation of honey vinegar beverage on high density lipoprotein and atherogenic index in serum of mice ($n=10, \bar{x} \pm s$)

分组	HDL-C (mmol/L)	AI (%)
CK组	2.15±0.35	1.437±0.687
HM组	2.24±0.48*	1.742±0.806*
HVP组	2.59±0.60#	1.558±0.640

3 结论

体重、血清总胆固醇、甘油三酯等指标是评价减肥食品功能性的常用性状指标。体内脂肪量的测定是肥胖病诊断及判断效果最确切的方法。实验组小鼠体重、生殖器周围脂肪质量和脂肪系数、血清总胆固醇、甘油三酯等指标较同等饲养条件的高脂营养对照组有明显下降,表明蜜醋发酵型饮料有显著的减肥作用。

蜜醋发酵型饮料能降低高血脂小鼠的血清TC和TG,提高HDL-C,减小AI,可能是由于蜜醋发酵型饮料中黄酮和多酚类化合物等物质对血清TC、TG的升高具有抑制作用,表明蜜醋发酵型饮料有显著的降脂和预防动脉粥样硬化的作用。

参考文献

- [1] 张金振. 蜂蜜的结晶[J]. 中国蜂业, 2013, 64(13): 52-53.
- [2] 吴珍红, 朱文彬, 杨文超, 等. 温度和水分含量对四种蜂蜜结晶的影响[J]. 中国蜂业, 2010, 61(3): 11-13.
- [3] Elena V, Massimiliano S, Enrico M. Crystallization in "Tarassaco" Italian honey studied by DSC[J]. Food Chemistry, 2010, 122(2): 410.
- [4] Nicolson SW. Composition of honey[J]. South African Journal of Science, 1995, 91(11): 568-569.
- [5] Narva M, Nevala R, Poussa T, et al. The effect of lactobacillus fermented milk on acute changes in calcium metabolism in postmenopausal women[J]. European Journal of Nutrition, 2004, 10(5): 128.
- [6] 朱林海, 胡启明, 胡利军, 等. 蜂蜜果醋发酵饮料生产工艺[J]. 饮料工业, 2003(4): 1-2.
- [7] 工业和信息消费品工业公司. 食品工业发展报告2014[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014: 42-45.
- [8] 罗佳. 蜂蜜酒发酵工艺的研究与展望[J]. 蜜蜂杂志, 2013(10): 1-2.
- [9] 胡丽红. 红枣醋及枣醋饮料生产工艺的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.

- [10] 田芬, 陈俊亮, 霍贵成. 嗜酸乳杆菌和双歧杆菌的主代谢产物分析[J]. 中国食品学报, 2013(6): 1-7.
- [11] 董玉新. 蜂蜜发酵醋酸饮料的生产技术[J]. 农牧产品开发, 1997(8): 1-2.
- [12] Pi-Sunyer X. The medical risks of obesity[J]. Postgraduate Medicine, 2009, 121(6): 21-33.
- [13] 卫生部心血管病防治研究中心. 中国心血管病报告2006[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2008: 21.
- [14] 郑健仙. 功能性食品(第四卷)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 400-401, 434-437.
- [15] 徐伟, 杜鹃. 多菌株共生发酵蜂蜜醋饮料的工艺研究[J]. 农产品加工, 2014(10): 26-30.
- [16] 李红蕊, 李志西, 赵晓野, 等. 红枣醋和枳椇醋减肥降血脂作用研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 257-260.
- [17] 张学良, 张莉, 李志西, 等. 绿茶桑椹醋饮料对小白鼠的减肥降血脂作用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(9): 181-184.
- [18] 郭于瑜. 血液的抗凝及血清的分离方法简介[J]. 贵州畜牧兽医, 2002, 26(3): 29-30.
- [19] 陆洁. 一次性塑料试管对血清分离的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2000, 10(11): 105.
- [20] Asai A, Miyazawa T. Dietary curcuminoids prevent high-fat diet-induced lipid accumulation in rat liver and epididymal adipose tissue[J]. Journal of Nutrition, 2001, 131(11): 2932-2935.
- [21] Cuevas AM, Guasch V, Castillo O, et al. A high-fat diet induces and red wine counteracts endothelial dysfunction in human volunteers[J]. Lipids, 2000, 35(2): 143-148.
- [22] 禹海文, 李妍妍, 苏秀榕. 浒苔对营养性肥胖小鼠减肥功能的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 247-250.
- [23] 陈茂彬, 黄琴. 三种植物甾醇酯预防小鼠高脂血症作用的比较[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(2): 80-82.
- [24] 马忠明. 芦笋醋饮料的研制及其降血脂实验研究[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 51-54.
- [25] 吴晶晶, 陈继承, 陈启和, 等. 食醋抗氧化作用和降血脂功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2010(11): 386-388.

(上接第324页)

- [5] 金晶. 淡水鱼鱼糜制品脱腥技术及凝胶特性改良的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2008.
- [6] Yoshikawa Y, Matsumoto K, Nagata K, et al. Extraction of trehalose from Thermally treated Baker's Yeast[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1994, 58(7): 1226-1230.
- [7] 蒙健宗, 赵文报. 海藻糖的性质及其在新型食品开发中的应用[J]. 食品科学, 2005, 26(6): 281-283.
- [8] 李婷婷, 励建荣, 赵巍. 壳聚糖涂膜对冷藏美国红鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 299-303.
- [9] Foss公司. ASN3140鲜鱼和冻鱼中挥发性盐基氮(TVBN)的测定[R]. FOSS应用于子报, 2002: 8-16.
- [10] Goulas A E, Kontominas M G. Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): biochemical and sensory attributes[J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 287-296.
- [11] 张进杰, 阙婷婷, 曹玉敏, 等. 壳聚糖、Nisin涂膜在鲢鱼块

- 冷藏保鲜中的应用[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 132-139.
- [12] 王建辉, 刘永乐, 刘冬敏, 等. 冷藏期间草鱼鱼片脂肪氧化变化规律研究[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 243-246.
- [13] Manju S, Jose L, Gopal T K S, et al. Effects of sodium acetate dip treatment and vacuum-packaging on chemical, microbiological, textural and sensory changes of Pearlsplit (*Eetroplus suratensis*) during chill storage[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 27-35.
- [14] Duan J Y, Jiang Y, Cherian G, et al. Effect of combined chitosan-krill oil coating and modified atmosphere packaging on the storability of cold-stored lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets[J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1035-1042.
- [15] Li T T, Li J R, Hu W Z, et al. Quality enhancement in refrigerated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3): 821-826.