

植物乳杆菌 F 的筛选及对大鼠体脂的影响

辛金鸽¹ 倪学勤^{1,2*} 曾东^{1,2} 王鹤松¹ 李涛¹ 沈雪娇¹

(1. 四川农业大学 动物医学院/动物微生态研究中心, 四川 雅安 625014;

2. 动物疫病与人类健康四川省重点实验室, 四川 雅安 625014)

摘要 为分离具有降胆固醇功能的菌株,并研究其对大鼠脂肪沉积的影响,通过模拟胃肠道环境以及降胆固醇试验,分离得到一株植物乳杆菌 F(*Lactobacillus plantarum* F),在培养液中的胆固醇脱除率为 55.03%。用不同浓度的该菌液饲喂 SD 大鼠((130±2)g) 8 周(F I 组、F II 组和 F III 组:分别灌胃 2×10⁶、2×10⁸ 和 2×10¹⁰ CFU/mL 菌液)并饲喂高脂饲料。结果表明:试验 I、II 组体脂指数(腹部脂肪、肾周脂肪垫和附睾脂肪垫)、体重、肝脏体指数、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、谷丙转氨酶(ALT)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)相比高脂组均显著降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$);同时,高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)均增加,且试验 I 组变化极显著($P<0.01$)。另外,试验组盲肠内乳酸菌和双歧杆菌属数量均显著升高($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。结果显示,植物乳杆菌 F 对于高脂饲料引起的大鼠肥胖具有明显的抑制作用,并与肠道菌群的变化有一定关系。

关键词 植物乳杆菌 F; 降胆固醇; 脂肪沉积; 抑制作用

中图分类号 Q 939.11⁺7

文章编号 1007-4333(2014)01-0137-06

文献标志码 A

Screening of the hypocholesterolemic effect and body fat control ability of *Lactobacillus plantarum* F

XIN Jin-ge¹, NI Xue-qin^{1,2*}, ZENG Dong^{1,2}, WANG He-song¹, LI Tao¹, SHEN Xue-jiao¹

(1. College of Veterinary Medicine/Animal Microecology Institute, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

2. Key Laboratory of Animal Disease and Human Health of Sichuan Province, Ya'an 625014, China)

Abstract The strain F with hypocholesterolemic activity was screened by imitating the gut conditions and reducing the cholesterol level in vitro, and its ability of reducing body fat accumulation in mice was investigated. Strain F was identified as *Lactobacillus plantarum* and could reduce 55.03% of cholesterol in the medium. Male SD rats with an average weight of (130±2)g were administered with different concentrations of strain F at 2×10⁶, 2×10⁸ or 2×10¹⁰ CFU/mL (group I, II and III) for 8 weeks respectively, and were fed with high-fat feed. Compared with the high-fat group, the adipose tissue mass (abdominal fat, perirenal fat pad and epididymal fat pad), body weight, growth indexes of liver, TG, TC, ALT and LDL-C in group I and II significantly reduced ($P<0.05$ or $P<0.01$), meanwhile, HDL-C was improved in the three F groups, especially in group I ($P<0.01$). In addition, the number of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* significantly increased in the three F groups ($P<0.05$ or $P<0.01$). *L. plantarum* F with cholesterol-reducing function could reduce fat accumulation and enrich gut microbiota.

Key words *L. plantarum* F; cholesterol-reducing; fatty deposition; depressant effect

随着人们生活水平的提高,肥胖也逐渐成为困扰社会的热点问题之一,调查显示,截止到 2008 年全球有 15 亿成年人超重,5.02 亿为肥胖患者^[1]。

伴随着肥胖患者的增加,肥胖及其与肥胖相关的代谢综合征已经成为全球性的公共卫生问题。调查显示高脂食物的大量摄入是造成当今社会肥胖的重要

收稿日期: 2013-06-02

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(200835-1); 四川省学术带头人培养基金项目

第一作者: 辛金鸽, 硕士研究生, E-mail: xinjing@foxmail.com

通讯作者: 倪学勤, 教授, 主要从事动物微生态研究, E-mail: xueqinni@yahoo.com

因素^[2],因此,低脂肉类的生产已成为畜牧业生产的重要课题。益生菌是一类公认的对机体有益的微生物,摄入后会对机体产生有利的影响^[3]。乳酸菌是益生菌中的一大类,是目前研究和应用较多的一类微生物。有研究发现,乳酸菌具有促进畜禽生长,抑制幼畜腹泻以及增强机体免疫等多种功效^[4]。Delzanne等^[5]指出,益生菌在促进禽畜生长的同时减少了脂肪在畜禽体内的沉积,对于提升瘦肉率和肉类品质有帮助。严玉婷等^[6]在对具有降胆固醇能力发酵乳杆菌 SM-7 研究过程中,发现试验组小鼠体重较对照组低。近年来也相继有报道指出,乳酸杆菌等益生菌对于机体脂肪的沉积具有抑制作用。Kondo等^[7]研究表明,双歧杆菌 B-3 能上调肠道及附睾脂肪垫内脂肪代谢和胰岛素敏感性相关基因来抑制肥胖发生。Kadooka等^[8]研究发现,加氏乳酸杆菌 SBT2500 能有效抑制肥胖机体内炎症的发生从而抑制脂肪细胞体积的增长。此外,Tims等^[9]在对体质指数(BMI)差异显著的同卵双胞胎的研究中发现,胃肠道内微生物的结构变化是导致肥胖的主要原因。以上述乳酸菌抑制脂肪沉积的报道成果为基础,通过乳酸菌调整畜禽体内脂肪的沉积从而提升肉类品质,并以此减少人类对脂肪的摄入将成为人类抗肥胖的一个新突破点。本试验拟分离筛选能有效降低胆固醇并能抑制体内脂肪沉积作用的乳酸菌,旨在为低脂畜禽产品的生产提供候选菌株。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂及仪器

6株乳酸杆菌编号为 K1、K2、K3、F、SBZ5 和 JJB3,前3株分离自口服液,后3株分别分离自发酵饲料、猪十二指肠壁和猪结肠壁降段,由四川农业大学微生物实验室保存。

MRS 液体培养基(购自上海源叶生物科技有限公司);MRS-CHOL 培养基(含 100 mg/L 胆固醇和 0.3 g/100 mL 牛胆盐的 MRS 液体培养基);SD 大鼠,大鼠基础料(购自成都科硕生物技术有限公司)。

JY92-II 超声波细胞粉碎机(宁波新芝生物科技股份有限公司);高速冷冻离心机(赛特湘仪离心机仪器有限公司);全自动生化分析仪 GS200(深圳天才电子有限公司)。

1.2 菌株筛选方法

1.2.1 耐酸耐胆盐能力测定

将活化 3 代的菌液分别按 2%(体积分数)接种

于 pH3.0 和 6.4 的 MRS 液体培养基,37℃ 培养 12 h 后观察生长情况并记录。同时分别按 2%(体积分数)接种于含 0.3 g/100 mL 牛胆盐的 MRS 液体培养基,37℃ 培养 12 h 后对各菌株进行活菌计数。试验重复 3 次取平均值。

1.2.2 降胆固醇能力的测定

将活化 3 代的菌液按 2%(体积分数)接种于 MRS-CHOL 培养基中,37℃ 培养 24 h 后用邻苯二甲醛法^[10]测定菌液上清液、洗涤液、菌体破碎液中胆固醇的质量分数,以未接种乳酸菌的 MRS-CHOL 培养基作为空白,并根据上清液中胆固醇的质量分数计算培养基中胆固醇的脱除率,试验重复 3 次取平均值。

上清液:菌株在 MRS-CHOL 培养基中培养 24 h 后于 5 000 r/min 离心 20 min 后的液相部分;

洗涤液:在倾出上清液的菌体细胞中加入 PBS 缓冲液(0.1 mol/L, pH7.0) 10 mL,洗涤 2 次后 5 000 r/min 离心 20 min 所得的液体;

破碎液:在洗涤 2 次后的菌体中加入 5.0 mL PBS 缓冲液,置冰浴中,超声波细胞粉碎机功率为 600 W 下破碎 10 min,4 000 r/min 离心 10 min 所得液体。

邻苯二甲醛法检测上清液、洗涤液、菌体破碎液中胆固醇的量:1)分别取 1 mL 悬液加入 1 mL KOH(质量分数 33%)和 2 mL 无水乙醇振荡 1 min 充分混匀后 37℃ 加热 15 min。2)冷却后加入 2 mL 蒸馏水和 3 mL 正己烷振荡 1 min 充分混匀,静置分层。3)取 1 mL 正己烷层移入玻璃管,将玻璃管放入 60℃ 水浴锅中干燥。4)烘干后将残渣立即溶解在 2 mL 的邻苯二甲醛试剂中,充分混匀后加入 0.5 mL 浓硫酸振荡 1 min 混匀。5)静置 10 min 后在 550 nm 下读取 OD 值。根据标准曲线测定胆固醇含量。

1.2.3 菌株鉴定

单菌落送上海美吉生物医药科技公司测定 16S rDNA 序列,并在 NCBI 上做序列比对,确定菌株种属。

1.3 动物试验

1.3.1 高脂饲料的准备

高脂饲料(体积分数):含大鼠基础料 80%、胆固醇 0.5%、猪油 6.3%、蛋黄粉 13%、胆酸盐 0.2%。混匀后用制粒机制粒,至于通风干燥处风干。

1.3.2 灌胃菌液的制备

将活化 3 代的菌液按 2%(体积分数)的接种量

接种 MRS 培养液, 37 °C 培养 36 h 后活菌计数。用 PBS 缓冲液(磷酸缓冲生理盐水 pH7.4)将菌液稀释成高、中和低浓度, 分别为 2×10^{10} 、 2×10^8 和 2×10^6 CFU/mL, 分装到 15 mL 离心管中并保存在 -20 °C 冰箱中备用, 每周制备一次菌液。灌胃前将保存菌液放置在 25 °C 温水中融化后使用。

1.3.3 动物分组

将 30 只 SD 大鼠(雄性, (130 ± 2) g)随机均分成 5 组: 基础对照组, 肥胖模型组, F I 组(2×10^6 CFU/mL)、F II 组(2×10^8 CFU/mL)、F III 组(2×10^{10} CFU/mL)。每笼饲养 6 只大鼠, 前 7 d 饲喂基础饲料, 使其适应环境。7 d 后, 基础对照组饲喂普通饲料并灌胃 PBS 缓冲液; 肥胖模型组及 F I 组、F II 组和 F III 组饲喂高脂饲料, 并分别灌胃 PBS 缓冲液和不同浓度菌液, 每日灌胃量为 0.5 mL/100 g 体重。自由采食及饮水, 每周称一次体重。

1.4 测定指标及方法

正式试验 8 周后, 大鼠禁食 12 h, 不禁水。用乙醚麻醉大鼠, 眼球取血, 静止 30 min 后, 4 000 r/min 离心 10 min, 分离血清, 用全自动生化分析仪 GS200(深圳天才电子有限公司), 按照操作步骤, 分别测定甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和谷丙转氨酶(ALT)的含量; 摘取肝脏、腹部脂肪、肾周脂肪垫及附睾脂肪垫称重, 计算体指数(组织器官重/体重); 取盲肠内容物混合均匀后分装保存于 -70 °C。

1.5 盲肠微生物检测

用标准平板法检测各组大鼠盲肠内容物中乳酸菌、双歧杆菌属、肠球菌属、大肠杆菌、总厌氧菌和总需氧菌的活菌数。盲肠内容物用 0.85 g/100 mL 的无菌生理盐水依次做 10 倍稀释, 选取合适的稀释梯度取 0.1 mL 菌悬液涂布于选择性培养基, 培养条件及测定分析参照 Giannenas 等^[11]方法。

1.6 统计分析

采用 SPSS 17.0 软件进行显著性分析, 差异显著是采用 Duncan 氏方法对各组间平均数进行多重比较, 数据结果以平均值士标准偏差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 菌株筛选

2.1.1 耐酸耐胆盐试验

由表 1 可知, K2 和 K3 几乎不耐受酸性环境,

K1 和 SBZ5 在酸性环境中生长缓慢, JJB3 对酸性环境有一定耐受性, F 基本不受酸性环境的影响。在添加胆盐的培养液中, K1、K2 和 K3 对胆盐耐受力较弱; 而 F 仍能达到较高的菌数, 对胆盐耐受力较强; SBZ5 和 JJB3 对胆盐液有相对较好的耐受力。选择 F、JJB3 和 SBZ5 进行下一步试验。

表 1 乳酸菌对酸性(pH 0.3)和胆盐(0.3 g/100 mL)环境的耐受力

Table 1 Tolerance capability of LAB to bile salt and acids

菌株 Strains	pH		耐胆盐 Bile Tolerance 菌数/(CFU/mL)
	6.4	3.0	
F	+++	++	1.9×10^7
JJB3	+++	+	8.0×10^5
SBZ5	++	+/-	2.3×10^5
K1	++	+/-	$<1 \times 10^4$
K2	++	-	$<1 \times 10^4$
K3	++	-	$<1 \times 10^4$

注: +++ 为生长优良; ++ 为生长良好; + 为生长一般; +/- 为略有生长; - 为无生长。

Note: +++, significant growth; ++, good growth; +, normal growth; +/-, slight growth; -, no growth.

2.1.2 胆固醇脱除率及菌株鉴定

由图 1 所示, 在 3 株菌中 JJB3 对胆固醇的脱除率最高为 60.25%, F 和 SBZ5 菌株对胆固醇的脱除率分别为 55.03% 和 43.26%。各菌上清液中胆固醇的减少与菌体破碎液和洗涤液中胆固醇含量基本相同, 说明 3 株菌对胆固醇有摄取和吸附作用, 且 JJB3 和 F 对胆固醇的同化作用较强。耐酸耐胆盐试验及胆固醇脱除试验显示, F 菌比 JJB3 有较强的耐酸耐胆盐能力, 且两者对胆固醇均有较强的脱除

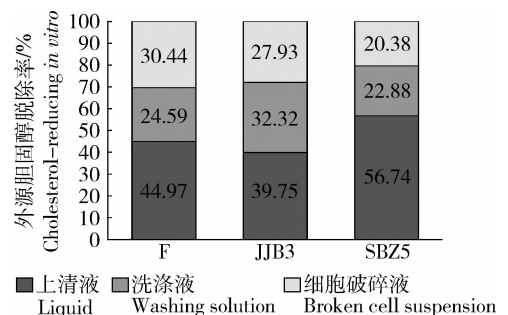


图 1 胆固醇脱除率

Fig. 1 Cholesterol-reducing effect of LAB in vitro

率,综合以上试验结果可以推测 F 菌较 JJB3 更易耐受胃肠环境在肠道内达到一定的定植数量,并发挥良好地降解胆固醇作用。因此选取 F 做下一步试验。

经 16S rDNA 测序和比对,乳酸菌 F 鉴定为植物乳酸杆菌(*Lactobacillus plantarum*)。

2.2 动物试验

2.2.1 大鼠脂肪代谢相关指标

如表 2 所示,饲喂高脂饲料后,高脂组体重和体脂数(腹部脂肪、肾周脂肪垫和附睾脂肪垫)高于对照组,且变化极显著($P < 0.01$);血清中 TG、TC 和 LDL-C 也显著升高($P < 0.01$);对机体心血管有益的 HDL-C 则显著降低($P < 0.01$);ALT 和肝脏体指数极显著升高($P < 0.01$)。以上结果表明肥胖造

模成功。

与高脂组相比,灌胃乳酸杆菌 F 的 3 个试验组大鼠体重、肝脏体指数和内脏体脂数(腹部脂肪、肾周脂肪和附睾脂肪体指数)均呈现降低趋势,且在 F I 和 F II 组变化显著($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),F III 组除腹脂体指数降低显著($P < 0.05$)外,其他指标差异不显著。乳酸杆菌 F 能有效抑制脂肪在体内和肝脏的沉积且低浓度和中浓度效果显著,高浓度效果不明显。血清中相关血脂指标 TG、TC 和 ALT 在 3 个试验组中均显著降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),LDL-C 在 F I 和 F II 组中显著降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。HDL-C 仅在 F I 组显著升高($P < 0.05$),在 F II、F III 组变化不显著。

表 2 植物乳杆菌 F 对脂肪沉积相关指标的影响

Table 2 Effect of *Lactobacillus plantarum* F administration on indexes of fat reduction in over weight rats

指标 Index	高脂组 High Fat Group	对照组 Control Group	F I	F II	F III
最终体重/g Initial average weight	427.33±14.47	384.75±4.72**	388.67±10.12**	392.00±21.66*	415.25±18.87
肝脏体指数/% Initial average weight	3.840±0.270	3.190±0.070**	3.450±0.160**	3.470±0.200*	3.630±0.130
腹脂体指数/% Growth index of abdominal fat	2.120±0.080	1.200±0.060**	1.520±0.140**	1.630±0.150**	1.740±0.170*
肾周脂肪垫体指数/% Growth index of perirenal fat pad	0.280±0.010	0.220±0.010*	0.220±0.033*	0.230±0.028*	0.260±0.020
附睾脂肪垫体指数/% Growth index of epididymal fat pad	0.670±0.020	0.580±0.030**	0.570±0.048**	0.580±0.047*	0.620±0.024
TG/(mmol/L)	0.820±0.040	0.400±0.020**	0.470±0.032**	0.660±0.070**	0.710±0.078*
TC/(mmol/L)	5.700±0.540	3.490±0.300**	4.580±0.097**	4.690±0.210**	4.820±0.290**
HDL-C/(mmol/L)	0.250±0.020	0.370±0.040**	0.340±0.030**	0.250±0.020	0.260±0.015
LDL-C/(mmol/L)	1.080±0.060	0.560±0.030**	0.520±0.051**	0.810±0.031*	0.940±0.034
ALT/(U/L)	37.000±3.160	25.330±2.520**	28.000±1.000**	29.670±2.000**	30.800±2.490**

注:与高脂组相比,*表示差异显著 $P < 0.05$,**表示差异极显著 $P < 0.01$ 。下同。

Note:Compared with high fat group,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$. The same as below.

2.2.2 植物乳杆菌对盲肠菌群数影响

与对照组相比,高脂饲料引起肠道中除需氧菌外其他细菌数量降低(表 3),且乳酸菌和双歧杆菌降低显著($P < 0.05$),肠道中大肠杆菌和肠球菌比

例升高,需氧菌/厌氧菌相对比例升高。灌胃植物乳杆菌 F 组与高脂组相比,大肠杆菌、肠球菌和需氧总菌数变化不明显,但乳酸杆菌、双歧杆菌和厌氧菌总菌数升高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。有害菌比例及

表 3 植物乳杆菌 F 对大鼠盲肠内容物细菌数量的影响($\bar{x}\pm SD, n=6$)

Table 3 Results of heterotrophic plate counts of bacteria in ceacal digesta obtained at rats of four groups

指 标 Index	lg CFU/g				
	高脂组 High fat group	对照组 Control group	F I	F II	F III
乳酸菌 <i>Lactobacillus</i> spp.	7.48±0.31	8.46±0.36**	8.84±0.14**	8.12±0.05*	7.98±0.54
双歧杆菌 <i>Bifidobacterium</i> spp.	7.49±0.42	8.27±0.28*	8.60±0.36**	8.14±0.40*	7.62±0.17
肠球菌 <i>Enterococcus</i>	6.26±0.29	6.34±0.37	6.57±0.39	6.10±0.03	6.44±0.14
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	5.96±0.12	6.00±0.53	5.88±0.07	5.92±0.80	5.87±0.01
需氧总菌数 Total aerobes	8.45±0.34	8.35±0.45	8.51±0.17	8.18±0.04	7.98±0.57
厌氧总菌数 Total anaerobes	7.93±0.14	8.49±0.37	8.68±0.33*	8.24±0.05	8.38±0.44

需氧菌/厌氧菌比例下降。

3 讨 论

1) 肥胖极易引发各种健康问题, 如 II 型糖尿病, 高血压, 冠心病等, 肥胖及肥胖相关代谢性疾病在世界范围内逐渐成为公众瞩目的公共卫生问题^[12-13], 因此人类对于低脂的健康食物需求日益增大。畜禽肉制品是人类日常消费最多的易引发肥胖的高脂食物之一, 低脂肉制品的生产亦将有助于人类摆脱肉制品带来的肥胖及相关疾病的威胁。

2) 大量研究报道, 益生菌在肠道内定植并发挥良好的效果, 主要取决于益生菌对肠道内酸性环境和高胆盐环境的耐受能力, 这 2 个因素是益生菌在体内定植的主要障碍。本试验筛选的 F 菌株对酸性环境和胆盐环境显示了良好的耐受能力, 且对胆固醇的脱除率达到 55.03%, 此外 F I 和 F II 组对高脂饲料诱导的大鼠肥胖模型的体重起到了显著地抑制作用, 与严玉婷等^[6]的研究结果一致。本试验发现, 植物乳杆菌 F 显著降低了肥胖大鼠的体脂数(腹部脂肪, 肾周脂肪垫和附睾脂肪垫), 且 F I 组和 F II 组效果优于 F III 组, 表明低、中浓度的 F 菌液对肥胖大鼠体脂沉积具有显著抑制作用。3 个试验组的肝脏体脂指数均低于高脂组, 且在 F I 和 II 组中变化显著, 说明植物乳杆菌 F 促进了肝脏组织对脂肪的分解代谢作用。血脂指标检测结果与体脂结果一致, 植物乳杆菌 F 能有效降低血液中脂类物质和 ALT 的含量, 具有减脂护肝的作用, 同时低浓度菌剂能升高对心血管有利的 HDL-C 的含量, 降血脂和体脂结果均显示 F I 和 II 组效果较好。本试验中, F I 和 F II 组不仅显著降低了 TG、TC、ALT 和

LDL-C 在血清中的含量, 同时 F I 组的 HDL-C 的含量显著增加, 这一结果与严玉婷等^[6]和 Kang 等^[14]的试验发现有所不同, 说明 HDL-C 也可能受外界因素所影响。

3) 体脂沉积的增加与肠道菌群的变化有重要关系, 通过改善肠道菌群能够达到良好地抑制体脂沉积的效果^[15]。乳酸菌和双歧杆菌是肠道内的主要菌群, 且与肠壁紧密结合, 是肠道的屏障结构, 并能分泌丁酸等为肠道上皮细胞提供营养, 两者数量的增加可减小肠道组织的通透性, 进而抑制肠道对脂肪的吸收。本试验中, 高脂饲料组与对照组相比大鼠体重及体脂沉积显著增加, 且盲肠内乳酸菌和双歧杆菌也显著降低。灌胃植物乳杆菌 F 后, 在 F I 和 F II 组中, 与高脂组相比, 乳酸菌和双歧杆菌的数量均显著增加, 体重和体指数显著降低, 说明植物乳杆菌 F 能够有效改善肠道菌群并达到降脂的效果。革兰氏阴性菌细胞壁脂多糖(LPS)是肠道内重要的内毒素成分, 进入血液后会导致内毒血症, 引发慢性炎症, 促进炎症因子肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、IL-1 和 IL-6 等的升高, 从而破坏胰岛素功能, 导致机体脂肪沉积的增加^[16], 双歧杆菌的增加有助于减少体内 LPS 含量^[17], 这可能是植物乳杆菌 F 抑制体脂沉积的机制之一。

4 结 论

综上所述, 植物乳杆菌 F 具有较高的降胆固醇的能力, 适宜浓度的 F 菌对饲喂高脂饲料的肥胖大鼠具有显著抑制其脂肪沉积的作用, 同时, 植物乳杆菌 F 能够有效调节肠道菌群, 增加肠道内乳酸菌和双歧杆菌的数量。

参 考 文 献

- [1] Finucane M M, Stevens G A, Cowan M J, et al. National, regional, and global trends in body-mass index since 1980: Systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 960 country-years and 9·1 million participants[J]. *Lancet*, 2011, 377(9765): 557-567
- [2] Chandler P, Viana J, Oswald K, et al. Feeding response to melanocortin agonist predicts preference for and obesity from a high-fat diet[J]. *Physiol Behav*, 2005, 85(2): 221-230
- [3] Schrezenmeir J, de Vrese M. Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition [J]. *Am J Clin Nutr*, 2001, 73(2): 361s-364s
- [4] 刘一尘, 何明清, 倪学勤. 益生菌剂与益生协同剂的协同作用的研究及应用现状[J]. *中国微生态学杂志*, 2001, 13(3): 179-180
- [5] Delzenne N, Reid G. No causal link between obesity and probiotics[J]. *Nat Rev Microbiol*, 2009, 7(12): 901
- [6] 严玉婷, 潘道东. 发酵乳杆菌 SM-7 的筛选及对小鼠降胆固醇作用[J]. *食品科学*, 2010, 31(9): 224-228
- [7] Kondo S, Xiao J Z, Satoh T, et al. Antiobesity effects of *Bifidobacterium breve* strain B-3 supplementation in a mouse model with high-fat diet-induced obesity [J]. *Biosci Biotech Biochem*, 2010, 74: 1656-1661
- [8] Kadooka Y, Ogawa A, Ikuyama K, et al. The probiotic *Lactobacillus gasseri* SBT2055 inhibits enlargement of visceral adipocytes and upregulation of serum soluble adhesion molecule (sICAM-1) in rats[J]. *Int dairy J*, 2011, 21: 623-627
- [9] Tims S, Derom C, Jonkers D M, et al. Microbiota conservation and BMI signatures in adult monozygotic twins[J]. *Isme J*, 2012, 1-11
- [10] Liong M, Shah N. Bile salt deconjugation ability, bile salt hydrolase activity and cholesterol co-precipitation ability of lactobacilli strains[J]. *Int Dairy J*, 2005, 15: 391-398
- [11] Giannenas I, Papadopoulos E, Tsalie E, et al. Assessment of dietary supplementation with probiotics on performance, intestinal morphology and microflora of chickens infected with *Eimeria tenella* [J]. *Vet Parasitol*, 2012, 188: 31-34
- [12] Eckel R H, Grundy S M, Zimmet P Z. The metabolic syndrome [J]. *Lancet*, 2005, 365(9468): 1415-1428
- [13] Van Gaal L F, Mertens I L, Christophe E. Mechanisms linking obesity with cardiovascular disease [J]. *Nature*, 2006, 444 (7121): 875-880
- [14] Kang J H, Yun S I, Park H O. Effects of *Lactobacillus gasseri* BNR17 on body weight and adipose tissue mass in diet-induced overweight rats[J]. *J Microbiol*, 2010, 48(5): 712-714
- [15] Cani P, Delzenne N, Amar J, et al. Role of gut microflora in the development of obesity and insulin resistance following high-fat diet feeding[J]. *Pathol Biol*, 2008, 56: 305-309
- [16] Ley R E, Bäckhed F, Turnbaugh P, et al. Obesity alters gut microbial ecology[J]. *P Natl Acad Sci USA*, 2005, 102(31): 11070-11075
- [17] Cani P D, Hoste S, Guiot Y, et al. Dietary non-digestible carbohydrates promote L-cell differentiation in the proximal colon of rats[J]. *Brit J Nutr*, 2007, 98(1): 32-37

责任编辑: 苏燕