6 株人源乳酸菌体外抗氧化活性的比较

黄玉军，刘冬，赵兰凤，顾瑞霞

（江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室，扬州大学食品科学与工程学院，江苏扬州 225127）

摘要：本文对分离自江苏如皋长寿村人群肠道的 6 株乳酸菌体外抗氧化活性进行了研究。测定了 6 株菌对过氧化氢耐受能力、不同组分对羟自由基、DPPH 自由基清除能力、还原能力、抗脂质过氧化能力及 T-SOD 和 GSH-Px 活性，结果表明：6 株菌中，发酵乳杆菌 L2、L4，屎肠球菌 E2 对 1.0 mM H_2O_2 耐受能力较强。6 株菌不同组分均具有一定的抗氧化活性，发酵上清液的抗氧化活性总体要优于菌体和胞内提取物。其中，L2 发酵上清液羟自由基清除能力和 T-SOD 活性最强；E2 发酵上清液 DPPH 自由基清除能力和 GSH-Px 活性最高；发酵乳杆菌 L1 发酵上清液还原能力最高；干酪乳杆菌 L3 发酵上清液抗脂质过氧化能力最强。测定结果表明这 6 株菌总体抗氧化能力较好，具有潜在的应用价值。

关键词：乳酸菌；发酵上清液；自由基；氧化应激；抗氧化剂

文章篇号：1673-9078(2013)7-1518-1522

In Vitro Antioxidant Activities of Six *Lactic Acid Bacteria* Isolated from Human Intestinal Tract

HUANG Yu-jun, LIU Dong, ZHAO Lan-feng, GU Rui-xia

(Jiangsu Province Key Lab of Dairy Biotechnology and Safety Control College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: The antioxidant activities of 6 *lactic acid bacteria* isolated from the intestinal tract of the longevity village people of Jiangsu Rugao were studied by hydrogen peroxide tolerance assay, hydroxyl radical and DPPH radical scavenging assays, reducing activity assay, anti-lipid peroxidation assay, T-SOD and GSH-Px activity assays in this study. The results showed that *L. fermentum* L2, *L. fermentum* L4 and *E. faecium* E2 had higher resistant capability against 1.0 mM hydrogen peroxide than the others. Different constituents of 6 *lactic acid bacteria* had different antioxidant activities, among which the antioxidant activity of fermentation supernatant was superior to bacterial cell and intracellular extract. The fermentation supernatants of *L. fermentum* L2 showed the highest hydroxyl radical scavenging activity and T-SOD activity, while the fermentation supematants of *E. faecium* E2 demonstrated the highest DPPH radical scavenging activity and GSH-Px activity. In addition, the fermentation supernatants of *L. fermentum L1* had the highest reducing power; while the fermentation supernatants of *L. casei* L3 had the highest lipid peroxidation-inhibitory activity. Six *lactic acid bacteria* had good antioxidant capacity and could be used in future as potential probiotics.

Key words: *lactic acid bacteria*; fermentation supernatant; free radicals; oxidative stress; antioxidants

生物氧化是机体新陈代谢的重要生理过程，但此过程中会产生自由基等各种活性氧分子(ROS)[1]。尽管正常情况下，机体存在着自由基清除系统，但如果机体受到某些因素影响，自由基清除系统出现故障导致体内自由基过度产生，则会作用于机体内的蛋白质、核酸等分子，造成细胞损伤，给机体健康带来很大威胁[2]。通过膳食中补充抗氧化物质可以增强机体的抗氧化能力，但许多化学合成的抗氧化剂存在安全问题[3]。乳酸菌（*lactic acid bacteria*，LAB）作为肠道常驻菌群，可以直接在机体氧化损伤的重点部位-肠道发挥抗氧化作用，维持肠道处于氧化还原平衡状态。并且乳酸菌在肠道定植后还能不断增殖，产生更多能够发挥抗氧化作用的乳酸菌，源源不断地在肠道扮演 ROS 清道夫的角色。因此乳酸菌的抗氧化作用与传统的抗氧化剂相比有更多的优势[4]。近些年许多体外和体内实验已证明一些乳酸菌具有良好的抗氧化活性，如 Li 等[5]对分离自中国传统发酵食物中的 11 株植物乳杆菌体内外抗氧化能力进行了研究，发现植物乳杆菌 C88

收稿日期：2013-04-01

基金项目：江苏高校优势学科建设工程资助项目；国家科技支撑计划项目（2013BAD18B12）；江苏省科技支撑项目（BE2011383）；江苏省高校自然科学研究重大项目(12KJA550003)

作者简介：黄玉军（1972-），男，博士，讲师，研究方向为乳酸菌功能和安全性分析

通讯作者：顾瑞霞（1963-），男，博士，教授，研究方向为乳酸菌及其发酵制品

能较好地缓解 D-半乳糖诱导的小鼠氧化应激；Kullisaar 等[6]利用人体实验表明发酵乳杆菌 ME-3 具有抗氧化活性。

但目前研究抗氧化活性所选用的乳酸菌多从发酵食物或自然环境中分离获得，鲜有对分离自人群肠道的乳酸菌进行研究。而且体内外实验已证明乳酸菌具抗氧化活性，但对其作用机理和不同组分抗氧化能力的研究还不是很透彻。

本研究对本实验室分离自江苏如皋长寿村人群肠道的 6 株乳酸菌的不同组分的抗氧化能力进行了研究，并分析了其抗氧化机理，为将乳酸菌的抗氧化作用应用于功能性食品打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株

6 株乳酸菌，由本实验室分离自如皋长寿村人群肠道。经生理生化实验、16S rDNA 测序确定 3 株为发酵乳杆菌，编号分别为 L1、L2、L4；1 株为干酪乳杆菌，编号为 L3；2 株为屎肠球菌，编号分别为 E1、E2。

1.1.2 试剂

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)，美国 Sigma 公司；硫代巴比妥酸(TBA)、三氯乙酸(TCA)、过氧化氢（H_2O_2）、硫酸亚铁（$FeSO_4$）、三氯化铁（$FeCl_3$）、铁氰化钾、亚油酸、邻-菲罗琳等均为国产分析纯；总超氧化物歧化酶（T-SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）检测试剂盒，南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

722 可见光分光光度计，上海精密科学仪器有限公司；超声波细胞粉碎机，宁波新芝生物科技股份有限公司；HH-6 型数显恒温水浴锅，国华电器有限公司；生化培养箱 上海新苗医疗器械制造有限公司；5804R 型高速冷冻离心机，德国 EPPENDORF 公司；JF-SX-500 全自动灭菌锅，日本 TOMY 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 乳酸菌的培养及发酵上清液、菌体、胞内提取物的制备

乳酸菌在 MRS 液体培养基中 37 ℃培养 24 h，传 3 代后，6000 r/min，4 ℃离心 10 min，收集上清液即为发酵上清液。收集的菌体用 PBS 缓冲液(pH 7.4)于 6000 r/min 离心 10 min，洗涤 3 次。将菌体重悬于 PBS 缓冲液，调整菌体浓度为 1.0×10^9 cells/mL，所得菌悬液分为两组，一组作为菌体组，另一组用于胞内提取物的制备。将乳酸菌菌体悬液冰浴超声波破碎细胞 10 min 后，在 4 ℃、10000 r/min 离心 15 min，收集上清液，即为胞内提取物。

1.3.2 乳酸菌对过氧化氢的耐受能力

参照文献[7]所述方法。

1.3.3 乳酸菌对羟自由基清除能力

参照文献[8]所述方法。

1.3.4 乳酸菌对 DPPH 自由基清除能力

参照文献[2]所述方法(略有改进)，取不同样品 1 mL，再加入 1 mL 0.2 mM 的 DPPH·无水乙醇溶液，摇匀，避光反应 30 min，6000 r/min 离心 10 min，取上清液于 517 nm 处测定吸光度值 Ai；空白组以等体积无水乙醇代替 DPPH·无水乙醇溶液，对照组以等体积空白溶剂代替样品溶液，并以等体积蒸馏水和乙醇混合液空白调零。

$$DPPH\cdot\text{清除率}/\% = \left[1-\frac{(Ai-Aj)}{Ac}\right]\times100$$

注：Ac 为对照组吸光度；Ai 为样品组吸光度；Aj 为空白组吸光度。

1.3.5 乳酸菌还原能力

参照文献[9]所述方法。

1.3.6 乳酸菌对抗脂质过氧化能力

参照文献[6,10]所述方法(略有改进)，0.5 mL 的 PBS 溶液(pH 7.4)中加入 1 mL 亚油酸的乳化液，1 mL $FeSO_4$ (1%)，再加入 0.5 mL 样品，37 ℃水浴 1.5 h，混合液加入 0.2 mL TCA (4%)，2 mL TBA (0.8%)，100 ℃水浴 30 min，迅速冷却，4000 r/min 离心 15 min，收集上清液在 532 nm 下测吸光度即为 A；对照组以 0.5 mL 蒸馏水代替样品即为 A_0，以 PBS 液加等体积的样品液离心过滤后调零。

$$\text{抗脂质过氧化率}\% = \frac{A_0-A}{A_0}\times100$$

注：A 为样品组吸光度；A_0 为对照组吸光度。

1.3.7 乳酸菌T-SOD和GSH-Px活性

参照文献[11]所述方法。

1.3.8 数据处理

实验数据均为平行测三次的值，用均数±标准差表示，采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 乳酸菌对过氧化氢耐受能力

本研究将 6 株菌分别接种于含有不同浓度的过氧化氢培养基中 37 ℃培养 24 h，测定其菌体浓度（以 OD_{600} 值表示），结果见表 1。

从表 1 可以看出，6 株菌在含 0.4 mM H_2O_2 培养基中的 OD_{600} 值与空白对照组的 OD_{600} 值都没有太大

变化(P>0.05)，表明这些菌株对0.4 mM H_2O_2均有较好的耐受能力。其中，L2，L4和E2对H_2O_2耐受能力较强，它们在含0.7 mM，1.0 mM H_2O_2培养基中的OD_{600}值与空白对照组的OD_{600}值均无显著性差异（P>0.05）。而L1，L3则对1.0 mM H_2O_2较为敏感，其OD_{600}值与空白对照相比有显著性差异（P<0.05）。

表1 乳酸菌对过氧化氢的耐受能力

Table 1 Resistance of LAB to hydrogen peroxide

菌株	H_2O_2浓度/mM			
	0	0.4	0.7	1.0
L1	1.46±0.02	1.44±0.06	1.42±0.04	0.69±0.05
L2	1.48±0.05	1.47±0.03	1.46±0.04	1.46±0.01
L3	1.95±0.01	1.92±0.04	1.86±0.02	1.39±0.05
L4	1.83±0.01	1.82±0.05	1.81±0.04	1.78±0.13
E1	1.20±0.04	1.09±0.04	1.01±0.05	0.94±0.06
E2	1.54±0.03	1.50±0.10	1.49±0.01	1.45±0.01

2.2 乳酸菌对羟自由基清除能力

本研究测定了6株菌不同组分对·OH的清除能力，结果如表2所示。

表2 乳酸菌对·OH的清除率

Table 2 Scavenging rates of LAB against hydroxyl radical

菌株	对·OH清除率/%		
	发酵上清液	菌体	胞内提取物
L1	57.20±0.01	21.22±0.02	12.45±0.03
L2	64.80±0.01	12.43±0.01	15.78±0.02
L3	52.75±0.02	20.88±0.01	29.86±0.01
L4	56.42±0.01	11.60±0.02	27.50±0.01
E1	63.23±0.01	10.40±0.01	3.50±0.02
E2	60.96±0.01	5.07±0.01	2.93±0.01
空白培养基	11.71±0.04		

由表2可知，6株菌的各组分均有一定的羟自由基清除能力。各菌株发酵上清液的羟自由基清除能力较高且相近，其中最高为L2。而菌体及胞内提取物的羟自由基清除能力相对发酵上清液而言要弱，且各菌株之间差异较大。菌体组中，L1羟自由基清除能力最强，但也仅相当于其发酵上清液的37.10%；E2最弱，只相当于其发酵上清液0.08%。胞内提取物组中，L3，L4的羟自由基清除能力较强，与其他菌株差异显著（P<0.05），分别相当于其发酵上清液的56.61%，48.74%；E2仍是最弱，只相当于其发酵上清液0.05%。从表中可知乳酸菌各组分的羟自由基清除能力并不完全相关，其原因可能是不同乳酸菌清除羟自由基的活性物质不同或活性物质含量不同。

2.3 乳酸菌对DPPH自由基清除能力

本研究测定了6株菌的不同组分对DPPH自由基的清除能力，结果见表3。

表3 乳酸菌对DPPH自由基的清除率

Table 3 Scavenging rates of LAB against DPPH free radical

菌株	对DPPH自由基清除率/%		
	发酵上清液	菌体	胞内提取物
L1	42.94±0.07	39.23±0.02	10.72±0.02
L2	53.47±0.03	31.67±0.01	9.82±0.01
L3	47.24±0.01	30.89±0.01	10.53±0.01
L4	51.84±0.02	44.91±0.01	11.99±0.01
E1	45.97±0.01	27.11±0.01	10.12±0.01
E2	58.63±0.11	28.08±0.02	9.48±0.01
空白培养基	15.91±0.06		

由表3可知，6株菌各组分均表现出一定的DPPH自由基清除能力，但其清除能力差异较大。E2发酵上清液的DPPH自由基清除能力最强，与其他菌株差异显著（P<0.05）。菌体组中，L4的DPPH自由基清除能力最强，，与其他菌株差异显著（P<0.05），相当于其发酵上清液86.63%。与发酵上清液及菌体相比，胞内提取物DPPH自由基清除能力较弱，且差异较小，L4胞内提取物DPPH自由基清除能力较强，但只分别相当于其发酵上清液和菌体的23.13%、26.70%，且与其他菌株并无显著差异（P>0.05）。

2.4 乳酸菌还原能力

一般情况下，样品的还原能力与抗氧化能力呈正相关，于700 nm处测定其吸光度，吸光度越大，表明样品的还原能力越强。本研究测定了6株菌的不同组分的还原能力，结果见表4。

表4 乳酸菌的还原能力

Table 4 Reducing activity of LAB

菌株	还原能力（A_{700}nm）		
	发酵上清液	菌体	胞内提取物
L1	1.60±0.05	0.09±0.01	0.08±0.01
L2	1.42±0.06	0.08±0.01	0.07±0.01
L3	1.50±0.01	0.07±0.01	0.04±0.01
L4	1.52±0.04	0.12±0.01	0.09±0.01
E1	1.36±0.03	0.05±0.01	0.02±0.01
E2	1.44±0.06	0.04±0.01	0.03±0.01
空白培养基	0.25±0.03		

由表4可知，各菌株发酵上清液的还原能力较为相近，其中L1最高。菌体及胞内提取物的还原能力相较发酵上清液要低很多，且各菌株之间差异显著。其中L4菌体及胞内提取物的还原能力均为较强，但分别只相当于其发酵上清液的0.08%、0.06%。表明乳酸菌具有还原能力的活性物质的含量不仅在不同菌株间具有差异，在乳酸菌不同部位也存在较大差异。

2.5 乳酸菌对抗脂质过氧化能力

本研究测定了 6 株菌不同组分对脂质过氧化的抑制能力，结果如表 5 所示。

表 5 乳酸菌对抗脂质过氧化的抑制率

Table 5 Inhibitory rate of LAB on lipoperoxidation

菌株	抗脂质过氧化率/%		
	发酵上清液	菌体	胞内提取物
L1	14.77±0.01	0.95±0.01	9.42±0.01
L2	15.69±0.01	4.29±0.01	10.34±0.01
L3	19.95±0.02	7.96±0.02	14.77±0.01
L4	14.43±0.01	15.16±0.01	9.22±0.01
E1	15.42±0.01	4.97±0.01	10.03±0.01
E2	16.22±0.01	8.09±0.03	13.56±0.01
空白培养基	1.14±0.01		

由表 5 可知，发酵上清液组中，L3 抗脂质过氧化能力最强，与其他菌株差异显著（P<0.05）。菌体组中，L4 抗脂质过氧化能力最强，显著优于其他菌株（P<0.05），与其发酵上清液能力相当。胞内提取物组中，L3 的抗脂质过氧化能力最强，但与其他菌株差异不显著（P>0.05），显著优于其菌体，相当于其发酵上清液 74.04%。实验结果表明起抗脂质过氧化的活性物质在不同乳酸菌株中的含量分布不同。

2.6 乳酸菌 T-SOD 活性

本研究测定了 6 株菌发酵上清液和胞内提取物的 T-SOD 活性，结果见图 1。

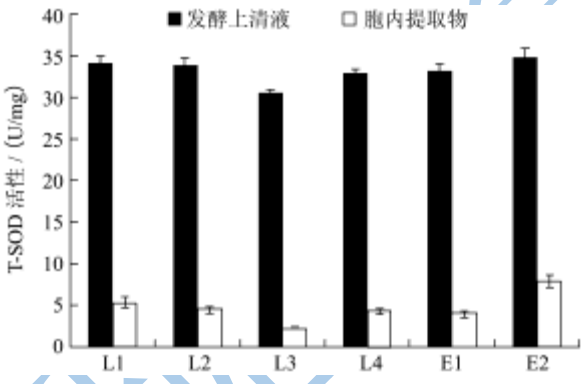


图 1 乳酸菌 T-SOD 活性

Fig.1 T-SOD activity of LAB

由图 1 可知，6 株菌的发酵上清液和胞内提取物均有一定的 SOD 活性。各菌株发酵上清液的 T-SOD 活性差异并不显著，而胞内提取物的 T-SOD 活性差异则较大。其中，E2 的 T-SOD 活性总体较高，其次是 L1。胞内提取物的 T-SOD 活性相比发酵上清液要低很多，其中 E2 的胞内提取物 T-SOD 活性最高，但也只有其发酵上清液的 20.32%。

2.7 乳酸菌 GSH-Px 活性

本研究测定了 6 株菌发酵上清液和胞内提取物的 GSH-Px 活性，结果见图 2。

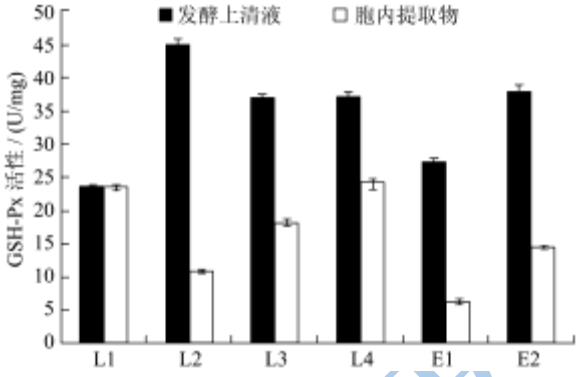


图 2 乳酸菌 GSH-Px 活性

Fig.2 GSH-Px activity of LAB

由图 2 可知，6 株菌的发酵上清液和胞内提取物均表现一定的 GSH-Px 活性。各菌株各组分 GSH-Px 活性差异较大，L2 的发酵上清液 GSH-Px 活性最高，显著高于其他菌株（P<0.05）；而胞内提取物组中，L4 的 GSH-Px 活性最高，其次是 L1。L1 胞内提取物的 GSH-Px 活性略高于其发酵上清液，但差异不显著（P>0.05）。总体而言，发酵上清液 GSH-Px 活性要高于胞内提取物，表明代谢产物中 GSH-Px 的含量要多于胞内。

关于乳酸菌抗氧化的机理，目前的观点主要有[12]：存在抗氧化酶，如可清除超氧阴离子的超氧化物歧化酶（SOD）和清除过氧化氢及羟自由基的谷胱甘肽过氧化酶（GSH-Px）、过氧化氢酶、阿魏酸酯酶等；含有高浓度的锰离子；螯合金属离子；存在低分子量可溶性巯基化合物；具有还原活性；具有NADH氧化酶/NADH过氧化酶系统等。

本研究在比较6株人源乳酸菌抗氧化能力的同时，也测定了不同菌株抗氧化活性物质的分布部位。通过对这6株菌不同组分不同抗氧化指标测定和分析，发现其各组分各项抗氧化指标之间没有必然联系，但发酵上清液的抗氧化能力总体要显著优于菌体和胞内提取物，表明乳酸菌的抗氧化活性物质主要分布在发酵上清液中。刘洋等[11]的研究也反映了这一点。其中原因，可能是大部分抗氧化物质以胞外分泌物的形式存在或通过分解培养基产生抗氧化物质而存在于发酵上清液中，因此乳酸菌发酵上清液具有明显抗氧化活性。此外，考虑到培养基本身含有的物质可能会具有一定的抗氧化活性，因此也测定了空白培养基的各项抗氧化指标。从表中数据可知空白培养基对抗氧化值影响非常微小，所以，基本可以排除培养基对实验结果的影响。

本研究也探讨并部分验证了乳酸菌的抗氧化机理：乳酸菌自身存在抗氧化酶（如SOD和GSH-Px），使

其有较强的清除自由基能力；具有较强的还原性。此外，梅秀明等[13]的研究表明，乳酸菌胞外多糖体内和体外均具有显著的抗氧化能力，推测乳酸菌发酵上清液抗氧化性能较好可能也与此有关。由此可见，乳酸菌的抗氧化是多种抗氧化物质综合作用的结果。

3 结论

3.1 本研究对6株分离自如皋长寿村人群肠道的乳酸菌抗氧化性能进行了研究，发现均具有一定的抗氧化活性，但不同菌株之间差异较大。其中，过氧化氢耐受实验表明发酵乳杆菌 L2、L4 和屎肠球菌 E2 对 1.0 mM H_2O_2 具有较好的耐受性。

3.2 本研究也测定了 6 株菌不同组分清除自由基能力、还原能力和抗脂质过氧化能力，结果表明6株菌的发酵上清液发挥了主要的抗氧化作用，而菌体和胞内提取物抗氧化能力相对要弱很多。

3.3 本研究也发现6株菌发酵上清液和胞内提取物均有一定的T-SOD和GSH-Px活性。其中，除了发酵乳杆菌 L1 胞内提取物 GSH-Px 活性略高于其发酵上清液之外，6株菌发酵上清液的T-SOD和GSH-Px活性总体要显著高于胞内提取物。

3.4 乳酸菌在自然界分布广泛，而源自人体本身的乳酸菌更有利于将来应用于人体的开发利用。江苏如皋是我国著名的长寿乡之一，本研究选取的6株分离自如皋长寿村人群肠道的乳酸菌体外总体抗氧化性能较好，推测可能长寿村人群肠道中的乳酸菌对长寿村人群的健康及长寿起着重要的作用。若能进一步研究这些乳酸菌的作用机制，分离出起主要抗氧化作用的活性物质，并将其用于生产功能性发酵食品、保健品或是开发为抗衰老药品，对推动我国益生菌产业及促进人们身体健康将具有积极作用。

参考文献

[1] Lü J, Lin P H, Yao Q, et al. Chemical and Molecular Mechanisms of Antioxidants: Experimental Approaches and Model Systems [J]. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 2010, 14: 840-860

[2] Maryam A S, Abubakr Z H, Mohamed M A, et al. Antioxidant Activity of Lactic Acid Bacteria (LAB) Fermented Skim Milk as Determined by 1, 1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl (DPPH) and Ferrous Chelating Activity (FCA) [J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(34): 6358-6364

[3] Osuntoki A, Korie I. Antioxidant Activity of Whey from Milk Fermented with Lactobacillus Species Isolated from Nigerian Fermented Foods [J]. Food Technology Biotechnology, 2010, 48(4): 505-511

[4] 胡晓丽.乳酸菌抗氧化性及其对小鼠结肠氧化还原状态调节的研究[D].无锡:江南大学食品学院,2009
Hu X L. Study on Antioxidant of Lactobacillus and Its Adjusting on Antioxidant Redox State in Colon [D]. Wuxi: The School of Food Science and Technology, Jiangnan University, 2009

[5] Li S Y, Zhao Y J, Zhang L, et al. Antioxidant Activity of *Lactobacillus plantarum* Strains Isolated from Traditional Chinese Fermented Foods [J]. Food Chemistry, 2012, 135: 1914-1919

[6] Kullisaar T, Songisepp E, Mikelsaar M, et al. Antioxidative Probiotic Fermented Goats'milk Decreases Oxidative Stress-Mediated Atherogenicity in Human Subjects [J]. The British Journal of Nutrition, 2003, 90: 449-456

[7] Van E W, Hofvendahl K, Hahn H B. Formation and Conversion of Oxygen Metabolites by *Lactococcus lactis subsp. lactis* ATCC 19435 under Different Growth Conditions [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68: 4350-4356

[8] 张书文,吕加平,孟和毕力格,等.两株乳酸杆菌 SY13 和 LJJ 对活性氧的耐受性[J].微生物学报, 2009,49(2): 257-261
Zhang S W, Lv J P, Menghe B L G, et al. Resistance of *Lactobacillus casei subsp.casei* SY13 and *Lactobacillus delbrueckii subsp.bulgaricus* LJJ to Reactive Oxygen Species [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2009, 49(2): 257-261

[9] Wu H C, Chen H M, Shiau C Y. Free Amino Acids and Peptides as Related to Antioxidant Properties in Protein Hydrolysates of Mackerel (Scomber austriasicus) [J]. Food Research International, 2003, 36: 949-957

[10] 张江巍,曹郁生,李海星,等. 乳酸菌抗氧化活性及检测方法[J].中国乳品工业,2005, 33(9): 53-56
Zhang J W, Cao W S, Li H X, et al. Antioxidative Activities of Lactic Acid Bacteria and the Test Method [J]. China Dairy Industry, 2005, 33(9): 53-56

[11] 刘洋,郭宇星,潘道东,等.4 种乳酸菌体外抗氧化能力的比较研究[J].食品科学,2012,33(11):25-29
Liu Y, Guo Y X, Pan D D, et al. Comparative Antioxidant Activity of Four Species of Lactic Acid Bacteria in Vitro [J]. Food Science, 2012, 33(11): 25-29

[12] 洪松虎,吴祖芳.乳酸菌抗氧化作用研究进展[J].宁波大学学报,2010,23(2): 17-22
Hong S H, Wu Z F. Research Progress on Antioxidative Mechanisms of Lactic Acid Bacteria [J]. Journal of Ningbo

University(Natural Science & Engineering Edition), 2010, 23(2): 17-22

[13] 梅秀明,潘道东.乳酸菌胞外多糖的纯化及对小鼠血清和肝组织抗氧化性的影响[J].食品科学,2009, 30(7):220-224

Mei X M, Pan D D. Study on Selenium Modification and Antioxidant Activity of Lactic Acid Bacteria Exopolysaccharides [J]. Food Science, 2009, 30(7): 220-224

现代食品科技