

4种乳酸菌体外抗氧化能力的比较研究

刘洋¹, 郭宇星^{1,*}, 潘道东^{1,2}

(1.南京师范大学金陵女子学院, 江苏 南京 210097; 2.宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:通过抗脂质过氧化、清除DPPH自由基、清除超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)、还原力、清除羟自由基实验对发酵乳杆菌、乳酸乳球菌、嗜酸乳杆菌和瑞士乳杆菌4种乳酸菌发酵上清液和胞内提取物的抗氧化能力进行研究。结果表明:4种乳酸菌的具有不同的抗氧化能力,其中瑞士乳杆菌的羟自由基清除能力、DPPH自由基清除能力和还原能力相对较高,乳酸乳球菌和嗜酸乳杆菌清除 $O_2^{\cdot-}$ 能力相对较强,发酵乳杆菌抗脂质过氧化能力为最强。实验还初步研究乳酸菌的抗氧化机理,显示乳酸菌存在SOD和GSH-Px,这可能与乳酸菌的抗氧化作用有一定相关性。

关键词:乳酸菌; 发酵上清液; 胞内提取物; 抗氧化能力

Comparative Antioxidant Activity of Four Species of Lactic Acid Bacteria *in vitro*

LIU Yang¹, GUO Yu-xing^{1,*}, PAN Dao-dong^{1,2}

(1. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

2. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In this study, the antioxidant activity of the fermentation supernatants and intracellular extracts of four species of lactic acid bacteria including *Lactobacillus fermentum*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus helveticus* was comparatively studied by anti-lipid peroxidation assay, reducing power assay, and DPPH and superoxide anion and hydroxyl free radical scavenging assays. The results indicated that different lactic acid bacteria had different antioxidant activity. *Lactobacillus helveticus* had higher hydroxyl radical scavenging activity, DPPH radical scavenging activity and reducing power, while *Lactococcus lactis* and *Lactobacillus acidophilus* had notable superoxide anion radical scavenging activity. In addition, *Lactobacillus fermentum* had the highest lipid peroxidation-inhibitory activity. Further, the antioxidant mechanism of lactic acid bacteria may be related to the presence of SOD and GSH-Px activities.

Key words: lactic acid bacteria; fermentation supernatant; intracellular extract; antioxidant activity

中图分类号: TS252

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)11-0025-05

机体在新陈代谢过程中会产生许多活性氧,如羟自由基、 $O_2^{\cdot-}$ 、过氧化氢等,当体内自由基含量过高时,其与生物大分子结合可造成机体损伤,可引发癌症、关节炎、心血管等疾病^[1-2]。通过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物存在安全问题,因此找到天然抗氧化物成为解决此类问题最为有效的途径。

乳酸菌具有抗癌、降胆固醇、增强机体免疫力、治疗慢性尿道感染、延缓衰老等效应^[3],其中许多是由

于乳酸菌的抗氧化特性发挥作用。研究表明乳酸菌具有抗氧化活性^[4],王曦等^[5]对35种乳酸菌的抗氧化能力进行了比较研究,发现都具有不同程度的抗氧化能力。但目前的研究鲜有对具体的乳酸菌做系统的抗氧化比较研究。而且,现利用体内和体外实验中已证明乳酸菌具抗氧化活性,但对其作用机理的研究还不是很透彻。对乳酸菌抗氧化的机理主要有列说法^[6]:产生超氧化物歧化酶(SOD);产生谷胱甘肽过氧化酶(GSH-Px);具有还原性;自身具有的NADH氧化酶和NADH过氧化酶

收稿日期: 2011-08-30

基金项目: 国家现代农业(水畜)产业技术体系项目(CARS-43-17); 江苏省科技支撑计划项目(BE2009366);

国家自然科学基金青年科学基金项目(31101314); 江苏省教育厅高校自然科学基金项目(10KJB550003);

南京师范大学特聘教授、高层次人才科研启动基金项目(184070H2B08)

作者简介: 刘洋(1986—),男,硕士研究生,研究方向为乳品科学。E-mail: 291246635@qq.com

*通信作者: 郭宇星(1981—),女,讲师,博士,研究方向为乳品科学。E-mail: yuxingguo1981@yahoo.com.cn

活性;利用自身含有的阿魏酸酯酶(FAE)从食品基质中生成阿魏酸(FA)等。

本实验将对发酵乳杆菌、乳酸乳球菌、嗜酸乳杆菌、瑞士乳杆菌4株乳酸菌的抗氧化能力做系统的比较研究,并对4株乳酸菌的SOD和GSH-Px的活性进行检测以及进行还原力测定,初步分析抗氧化机理,旨在为新型天然抗氧化剂的研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌种与培养基

发酵乳杆菌(*Lactobacillus fermentum*)、乳酸乳球菌(*Lactococcus lactis*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)、瑞士乳杆菌(*Lactobacillus helveticus*)为实验室保藏菌株。

MRS培养基:蛋白胨10g、牛肉膏10g、酵母膏5g、柠檬酸氢二铵2g、葡萄糖20g,吐温-80 1mL、乙酸钠5g、磷酸氢二钾2g、硫酸镁0.58g、硫酸锰0.25g,蒸馏水1000mL, pH6.2~6.6, 121℃灭菌15min。

1.1.2 试剂

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、硫代巴比妥酸(TBA)、三氯乙酸(TCA)、过氧化氢、FeSO₄、FeCl₃、邻苯三酚、O-菲罗林为国产分析纯试剂 上海生工生物工程股份有限公司;SOD、GSH-Px检测试剂盒 南京建成生物研究所。

1.2 仪器与设备

722可见分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;生化培养箱 广东省医疗器械厂;超声波细胞粉碎机 宁波新芝生物科技股份有限公司;GL-22M高速冷冻离心机 赛特湘仪离心机仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 乳酸菌的培养及发酵上清液和胞内提取物的制备
菌株以MRS培养基在37℃条件下培养24h,传3代后,10000r/min离心20min,收集上清液即为发酵上清液。菌体用PBS缓冲液(pH7.4)洗涤后于10000r/min离心20min,以洗去培养基,重复3次。将菌体重悬于PBS缓冲液,冰浴超声波破碎细胞(每工作2S间歇1s,输出功率300W)10min后,在4℃、10000r/min离心30min,收集上清液,即为胞内提取物。将发酵上清液和胞内提取物于-20℃保存备用。

1.3.2 清除羟自由基实验^[7-9]

试管中分别加入1mL 0.05mol/L pH 7.4的磷酸缓冲液,0.5mL 6mmol/L的邻二氮菲,充分混匀后,加入0.5mL 6mmol/L的FeSO₄溶液,立即混匀。然后向其中

加入0.5mL的样品溶液,混匀,再加入0.5mL 0.1%的H₂O₂,最后补充体积到4mL,同时做损伤管和未损伤管,其中,损伤管中加入0.5mL 0.1%的H₂O₂,未损伤管不加H₂O₂,最后均将体积补充到4mL。于37℃保温1h,测其在536nm波长处的吸光度。

$$\text{羟自由基清除率/\%} = \frac{A_i - A}{A_0 - A} \times 100 \quad (1)$$

式中:A为不加样品时溶液的吸光度;A₀为不加样品和H₂O₂时溶液的吸光度;A_i为加样品时溶液的吸光度。

1.3.3 清除DPPH自由基实验^[10-13]

将1mL待测液加1mL 0.006%的DPPH乙醇溶液,室温下静置30min后,在517nm波长处测吸光度变化。

$$\text{DPPH自由基清除率/\%} = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

式中:A_i为1mL的DPPH溶液+1mL样品的吸光度;A_j为1mL无水乙醇+1mL样品的吸光度;A₀为1mL DPPH溶液+1mL无水乙醇的吸光度。

1.3.4 清除O₂⁻实验^[14]

将0.1mL样品加入4.5mL、pH8.0的Tris-HCl缓冲液,于25℃水浴预热20min后,加入0.4mL 25mmol/L的邻苯三酚,于25℃水浴反应5min,立即用2滴8mol/L的HCl终止反应,在325nm波长处测吸光度即为A,用蒸馏水调零。空白组用0.1mL H₂O代替样品即为A₀。

$$\text{O}_2^{\cdot-} \text{清除率/\%} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

1.3.5 还原力测定^[15]

取0.5mL样品加入浓度为0.2mol/L、pH6.6的磷酸缓冲溶液0.5mL及1%铁氰化钾0.5mL,于50℃水浴20min,急速冷却。再加入10%三氯乙酸0.5mL,4000r/min离心10min,取上清液1mL,加入1mL蒸馏水及1mL 0.1%三氯化铁,混合均匀。10min后,于700nm波长测定其吸光度。吸光度越大表示待测样品的还原能力越强。

1.3.6 抗脂质过氧化能力测定^[16-17]

脂质体的制备:取一枚新鲜的卵黄与pH7.4、0.1mol/L PBS制成体积分数10%的悬浮液,冰浴下高速乳化剪切10min后,于冰浴下超声波处理20min,4℃密封保存。使用前磁力搅拌5min。

取0.5mL脂质体、0.1mL样品、0.4mL H₂O与0.05mL 70mmol/L硫酸亚铁混匀,在37℃条件下水浴30min后,

加入0.5mL 10%的TCA和1mL 1%的TBA,沸水浴10min,4000r/min离心15min,取上清532nm波长处测定吸光度即为A。对照管中H₂O代替样品即为A₀。

$$\text{抑制率}/\% = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (4)$$

1.3.7 SOD和GSH-Px活性测定

采用试剂盒,按照说明操作。

2 结果与分析

2.1 清除羟自由基实验结果

表1 乳酸菌对羟自由基的清除率

Table 1 Hydroxyl radical scavenging activity of lactic acid bacteria

菌种	样品	A _{536nm}	清除率/%
发酵乳杆菌	发酵上清液	0.448 ± 0.004	26.70
	胞内提取物	0.305 ± 0.017	0.37
乳酸乳球菌	发酵上清液	0.443 ± 0.001	25.78
	胞内提取物	0.309 ± 0.007	1.10
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	0.460 ± 0.004	28.91
	胞内提取物	0.317 ± 0.001	2.58
瑞士乳杆菌	发酵上清液	0.498 ± 0.006	35.91
	胞内提取物	0.311 ± 0.006	1.48

由表1可知,4种乳酸菌均呈现一定的羟自由基清除能力,瑞士乳杆菌发酵上清液的羟自由基清除能力最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$);嗜酸乳杆菌胞内提取物的羟自由基清除能力最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$)。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很多。由此可见,乳酸菌清除羟自由基的活性物质主要存在菌体表面以及代谢产物中而非胞内。不同乳酸菌的羟自由基清除能力存在一定差异,其中瑞士乳杆菌较其他3种乳酸菌要强一些,其余3种基本相似。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。

2.2 清除DPPH自由基实验结果

表2 乳酸菌对DPPH自由基的清除率

Table 2 DPPH free radical scavenging activity of lactic acid bacteria

菌种	样品	A _{517nm}	清除率/%
发酵乳杆菌	发酵上清液	0.305 ± 0.000	12.20
	胞内提取物	0.270 ± 0.000	5.92
乳酸乳球菌	发酵上清液	0.312 ± 0.006	7.32
	胞内提取物	0.227 ± 0.034	20.91
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	0.216 ± 0.078	24.22
	胞内提取物	0.267 ± 0.000	6.97
瑞士乳杆菌	发酵上清液	0.276 ± 0.006	29.97
	胞内提取物	0.258 ± 0.004	10.10

由表2可知,4种乳酸菌的发酵上清液和胞内提取物均表现出一定的DPPH自由基清除能力,但其清除能力差异较大。瑞士乳杆菌发酵上清液的DPPH自由基清除能力最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$);乳酸乳球菌胞内提取物的DPPH自由基清除能力最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$)。其中乳酸乳球菌发酵上清液的清除能力明显低于其他菌株,而其胞内提取物的清除能力明显高于其他菌株,由此显示不同菌株清除DPPH自由基的活性物质的存在部位不同。瑞士乳杆菌发酵上清液的DPPH自由基清除能力最强,胞内提取物的DPPH自由基清除能力仅次于乳酸乳球菌,因此其DPPH自由基清除能力相对最高。

2.3 清除O₂⁻·实验结果

表3 乳酸菌对O₂⁻·的清除率

Table 3 Superoxide anion scavenging activity of lactic acid bacteria

菌种	样品	A _{325nm}	清除率/%
发酵乳杆菌	发酵上清液	0.305 ± 0.007	13.60
	胞内提取物	0.259 ± 0.004	26.63
乳酸乳球菌	发酵上清液	0.288 ± 0.004	18.56
	胞内提取物	0.255 ± 0.004	27.90
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	0.299 ± 0.006	15.30
	胞内提取物	0.250 ± 0.003	29.18
瑞士乳杆菌	发酵上清液	0.301 ± 0.006	14.87
	胞内提取物	0.259 ± 0.006	26.63

由表3可知,4种乳酸菌的发酵上清液和胞内提取物均呈现一定的O₂⁻·清除能力,发酵上清液中的乳酸乳球菌O₂⁻·清除能力最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$);胞内提取物中的嗜酸乳杆菌的O₂⁻·清除能力最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$)。另外,胞内提取物的O₂⁻·清除能力都要比各自发酵上清液的O₂⁻·清除能力要强。实验表明乳酸菌清除O₂⁻·的活性物质大部分存在于胞内。由实验可以得出乳酸乳球菌和嗜酸乳杆菌的O₂⁻·清除能力强于发酵乳杆菌和瑞士乳杆菌。

2.4 还原力测定结果

表4 乳酸菌还原能力

Table 4 Reducing powder of lactic acid bacteria

菌种	样品	A _{700nm}
发酵乳杆菌	发酵上清液	0.456 ± 0.005
	胞内提取物	0
乳酸乳球菌	发酵上清液	0.443 ± 0.009
	胞内提取物	0
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	0.504 ± 0.004
	胞内提取物	0
瑞士乳杆菌	发酵上清液	0.640 ± 0.024
	胞内提取物	0

由表4可知,4种乳酸菌发酵上清液均表现一定的还原能力,瑞士乳杆菌的还原能力最强,与其余3种乳酸菌的还原能力差异显著($P < 0.05$);胞内提取物未检测到任何还原能力。瑞士乳杆菌的还原能力最强。实验表明,乳酸菌具有还原能力的活性物质均存在于细胞表面或代谢产物中,胞内提取物未检测到还原能力。

2.5 抗脂质过氧化能力测定结果

表5 乳酸菌对抗脂质过氧化的抑制率

Table 5 Inhibitory rate of lactic acid bacteria on lipoperoxidation

菌种	样品	A_{532nm}	抑制率/%
发酵乳杆菌	发酵上清液	0.295 ± 0.000	27.70
	胞内提取物	0.338 ± 0.013	17.16
乳酸乳球菌	发酵上清液	0.356 ± 0.047	13.36
	胞内提取物	0.356 ± 0.016	12.75
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	0.361 ± 0.008	11.64
	胞内提取物	0.360 ± 0.048	11.76
瑞士乳杆菌	发酵上清液	0.299 ± 0.008	26.59
	胞内提取物	0.374 ± 0.034	8.33

由表5可知,4种乳酸菌发酵上清液和胞内提取物均表现一定的抗脂质过氧化能力,其中发酵乳杆菌发酵上清液和胞内提取物抗脂质过氧化能力均为最高,且与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$)。发酵乳杆菌和瑞士乳杆菌发酵上清液的抗脂质过氧化能力较胞内提取物明显高,乳酸乳球菌和嗜酸乳杆菌发酵上清液与胞内提取物的抗脂质过氧化能力则基本一样。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。此4种乳酸菌中发酵乳杆菌的抗脂质过氧化能力最强。

2.6 SOD活性测定结果

表6 乳酸菌SOD活性

Table 6 SOD activity of lactic acid bacteria

菌种	样品	酶活力/(U/mg)
发酵乳杆菌	发酵上清液	18.412
	胞内提取物	15.520
乳酸乳球菌	发酵上清液	37.506
	胞内提取物	31.040
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	41.257
	胞内提取物	35.203
瑞士乳杆菌	发酵上清液	35.116
	胞内提取物	49.966

测定中每毫升反应液中SOD抑制率达50%时所对应的SOD量为一个SOD活力单位(U)。由表6可知,4种乳酸菌发酵上清液和胞内提取物均表现一定的SOD活性,发酵乳杆菌的发酵上清液和胞内提取物的SOD活性

明显低于其他。嗜酸乳杆菌发酵上清液的SOD活性最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$);瑞士乳杆菌胞内提取物的SOD活性最强,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$)。另外,发酵上清液和胞内提取物的SOD活性因不同菌株差异不是很显著,表明乳酸菌的SOD在胞内和胞外均有分布。SOD具有清除 O_2^- 的能力,但研究表明SOD活性并未与 O_2^- 清除率成正比,表明清除 O_2^- 的活性物质不止SOD,还有其他活性物质影响 O_2^- 的存在,如NADH氧化酶、过氧化酶等^[18]。

2.7 GSH-Px活性测定结果

表7 乳酸菌GSH-Px活性

Table 7 GSH-Px activity of lactic acid bacteria

菌种	样品	酶活力/(U/mg)
发酵乳杆菌	发酵上清液	14.214
	胞内提取物	10.732
乳酸乳球菌	发酵上清液	21.183
	胞内提取物	14.720
嗜酸乳杆菌	发酵上清液	24.317
	胞内提取物	13.672
瑞士乳杆菌	发酵上清液	25.636
	胞内提取物	11.590

规定每0.1mL发酵上清液或胞内提取物在37℃反应5min,扣除非酶促反应作用,使反应体系中GSH浓度降低 $1\mu\text{mol/L}$ 为一个酶活力单位。由表7可知,4种乳酸菌发酵上清液和胞内提取物均表现一定的GSH-Px活性。瑞士乳杆菌发酵上清液GSH-Px活性最高,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$);乳酸乳球菌胞内提取物GSH-Px活性最高,与其余3种乳酸菌差异显著($P < 0.05$)。发酵上清液GSH-Px活性均高于胞内提取物GSH-Px活性,表明代谢产物中GSH-Px的含量要多于胞内。此外,GSH-Px也具有一定的清除 O_2^- 的能力^[19],研究发现发酵乳杆菌的GSH-Px活性最差,其清除 O_2^- 的能力也最差,表明GSH-Px的存在对 O_2^- 有一定的清除作用。但一种自由基在机体存在的多少不仅仅是一种抗氧化物质在起作用,而是多种物质的综合作用,因此不能就此确定 O_2^- 的含量少仅是由于GSH-Px的活性高所致,只能说明GSH-Px对 O_2^- 有一定的抑制作用。

通过本实验初步探讨了乳酸菌的抗氧化机理:乳酸菌可以增强抗氧化酶(如SOD和GSH-Px)的活性,从而增强清除自由基的能力;发酵上清液具有还原性等。但目前还有研究表明,乳酸菌胞外多糖具有显著的抗氧化能力^[20],乳酸菌的蛋白酶在发酵过程中会产生具抗氧化能力的乳蛋白肽^[21]。由此可见,乳酸菌的抗氧化机制是多种抗氧化物质的综合作用。

3 结 论

研究发现发酵乳杆菌、乳酸乳球菌、嗜酸乳杆菌和瑞士乳杆菌都具有抗氧化活性,但差异较大,其中瑞士乳杆菌的羟自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力和还原能力相对较高,乳酸乳球菌和嗜酸乳杆菌清除 $O_2^{\cdot-}$ 能力相对较强,发酵乳杆菌抗脂质过氧化能力为最强。此研究为乳酸菌抗氧化剂的进一步研究提供了一定的参考。

通过研究还发现,不同乳酸菌菌株的抗氧化能力存在差异,可能是起抗氧化作用的活性物质种类或浓度不同;并且,同一株乳酸菌的发酵上清液和胞内提取物的抗氧化能力也存在较大差异,表明其抗氧化的活性物质存在的部位不同。

本实验检测了发酵乳杆菌、乳酸乳球菌、嗜酸乳杆菌和瑞士乳杆菌中SOD和GSH-Px两种起抗氧化作用的酶,对于是否还有其他类活性物质起作用以及各自在抗氧化过程中起何种作用有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张江巍,曹郁生. 乳酸菌抗氧化活性的研究进展[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(1): 34-37.
- [2] ITO M, OHISHI K, YOSHIDA Y, et al. Antioxidative effects of lactic acid bacteria on the colonic mucosa of iron-overloaded mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(15): 4456-4460.
- [3] 赵瑞香. 嗜酸乳杆菌及其应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 11-18.
- [4] KAIZU H, SASAKI M, NAKAJIMA H, et al. Effect of antioxidative lactic acid bacteria on rats fed a diet deficient in vitamin E[J]. J Dairy Sci, 1993, 76(9): 2493-2499.
- [5] 王曦, 罗霞, 许晓燕, 等. 不同乳酸菌菌株抗氧化能力的比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 197-201.
- [6] 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.
- [7] 王宁, 薛源, 孙体健. 苋菜红色素对羟自由基和超氧阴离子自由基的清除作用[J]. 山西医科大学学报, 2009, 40(5): 458-460.
- [8] LUO Yangchao, CHEN Gang, LI Bo, et al. Evaluation of antioxidative and hypolipidemic properties of a novel functional diet formulation of *Auricularia auricula* and hawthorn[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(2): 215-221.
- [9] 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.
- [10] 吴平格, 杨怀霞, 陈志红, 等. DPPH·法评价葡萄籽梯度渗漉各组分的抗氧化性能[J]. 食品科技, 2005(10): 40-42.
- [11] 张凤敏, 田丰伟, 陈卫, 等. 具抗氧化活性乳酸菌的筛选[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(2): 4-7.
- [12] 张晓璐, 徐凯宏. 山楂叶总黄酮清除DPPH·和超氧阴离子自由基的活性研究[J]. 林业科技, 2008, 33(5): 51-54.
- [13] HROMADKOAV Z, KOSTALOVA Z, EBRINGEROVA A. Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction of phenolics-rich heteroxylans from wheat bran[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2008, 15(6): 1062-1068.
- [14] 李安林, 茹宗玲, 张换平. 火棘果红色素的超声提取与抗自由基性研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(9): 11-14.
- [15] WU Huichun, CHEN Huaming, 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.
- [16] KUPPUSAMY U R, INDRAN M, BALRAJ B R S. Antioxidant effects of local fruits and vegetable[J]. Journal of Tropical Medicinal Plants, 2002, 3(1): 47-53.
- [17] DAKER M, ABDULLAH N, VIKINESWARY S, et al. Antioxidant from maize and maize fermented by *Marasmiellus* sp. as stabiliser of lipid-rich foods[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1092-1098.
- [18] HIGUCHI M, YAMAMOTO Y, KAMIO Y, et al. Molecular biology of oxygen tolerance in lactic acid bacteria. Functions of NADH oxidative stress[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2000, 90(5): 484-493.
- [19] 程时, 丁海勤. 谷胱甘肽及其抗氧化作用今日谈[J]. 生理科学进展, 2002, 33(1): 85-90.
- [20] 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.
- [21] 杨亚军, 赵峻岭, 褚洪标. 乳酸菌发酵乳酶解液抗氧化作用的研究[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(10): 15-17.