

益生屎肠球菌 HDRsEf1 抗氧化性能评估

吴 贝^{1,2} 张盼望^{1,2} 王喜亮^{1,2} 况世昌³ 王贵强⁴ 王 俊⁵ 肖运才^{1,2}

1.农业微生物学国家重点实验室,武汉 430070; 2.华中农业大学动物医学院,武汉 430070;

3.武汉华大瑞尔科技有限公司,武汉 430070; 4.湖北省畜禽育种中心,武汉 430070;

5.湖北省兽药监察所,武汉 430070

摘要 采用过氧化氢耐受性实验、清除自由基(DPPH 自由基、羟自由基、超氧自由基)实验、还原性实验,评价屎肠球菌 HDRsEf1 完整细胞、无细胞提取物、发酵液在体外的抗氧化性能;并通过构建 D-半乳糖小鼠衰老模型评价屎肠球菌 HDRsEf1 在体内的抗氧化性能。结果显示,屎肠球菌 HDRsEf1 对过氧化氢溶液具有较好的耐受性;发酵液不仅对 DPPH 自由基具有很好的清除能力,而且具有很好的还原能力;发酵液、无细胞提取物和菌悬液具有很强的羟自由基清除能力,但对超氧自由基清除能力较弱;屎肠球菌 HDRsEf1 菌株、发酵液均能显著提高小鼠血清、脑内超氧歧化酶(SOD)活力,降低脂肪质过氧化产物(MDA)含量。因此,屎肠球菌 HDRsEf1 在体外和体内都具有很好的抗氧化性。

关键词 自由基;还原性;完整细胞;无细胞提取物;发酵液;抗氧化

中图分类号 S 852.61⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)06-0098-06

氧化还原反应是机体重要的生理生化反应,在这一过程中会产生大量的自由基等活性分子。适量的自由基对维持机体正常生理功能有着重要的作用,它可以促进甲状腺激素的合成,刺激吞噬细胞杀菌的作用,而且可以调节信号的传导。但是,过量的自由基对重要的生物大分子如蛋白质、糖类、脂肪、核酸等具有极强的亲和能力,它会使这些大分子发生交联、断裂或者结构改变,导致机体正常的生理功能紊乱。由过量的自由基刺激产生的氧化损伤,被称作氧化应激。当人与动物长期处于应激状态时,就会引起一系列的疾病,如人的糖尿病、心血管病、癌症、炎症等^[1];对养殖业的危害主要包括肉鸡腹水综合症,动物的生长性能和肉产品品质下降,饲料的酸败等^[2-3]。目前,抗氧喹、叔丁基对苯二酚等化学合成的抗氧化剂存在成本较高和安全性较差的问题。屎肠球菌 HDRsEf1 具有生长速度快、产酸能力高、抗逆性强、安全、抗病和促生长特点。笔者在研究室前期工作^[4]的基础上,对益生性屎肠球菌 HDRsEf1 进行抗氧化性评估,旨在为微生物抗氧化剂的开发奠定基础,同时也为益生菌抗氧化机理的进一步研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 菌株、实验动物、主要试剂及仪器设备

屎肠球菌 HDRsEf1 株,华中农业大学农业微生物学重点实验室专利菌株(专利号:ZL201110452087.2)。

健康育龄昆明小鼠,购自武汉生物制品研究所,雄性 90 只,分为 9 组,体质量(30.0±0.2) g。所有动物治疗均严格按照动物饲养和管理准则的要求执行,并获得健康科学中心的动物研究委员会的批准。

二苯代苦味肼基自由基(DPPH·)、维生素 C 标准品、维生素 E 购自 Sigma 公司;D-半乳糖购自国药集团化学试剂有限公司;牛血清白蛋白购自 BIOSHARP;SOD、MDA 检测试剂盒购自南京建成生物工程研究所;其他化学试剂(分析纯)购自国药集团化学试剂有限公司。

精密电子天平:日本岛津(SHIMADZU);恒温振荡摇床:太仓市科教器材厂(HZ-9610K);高压蒸汽灭菌锅:上海申安医疗器械厂(LDZX-40AI);台式高速冷冻离心机:HITACHI;超声波破碎仪:SONICS(VC505)。

收稿日期:2016-03-31

基金项目:湖北省科技支撑计划项目(2015BBA175)

吴 贝,硕士研究生。研究方向:兽医学。E-mail:1098981335@qq.com

通信作者:王喜亮,博士,副教授。研究方向:兽医微生物与免疫学。E-mail:wx1070@mail.hzau.edu.cn

1.2 试验方法

1)样品的准备。尿肠球菌 HDRsEfl 于 MRS 培养基 37 °C 静置培养 24 h 后,培养液 4 500 r/min 离心 20 min,分离得到发酵液备用;菌体用 PBS 洗涤 3 次,重悬于 PBS,将菌数调整到 10⁹ cfu/mL,即为菌悬液。所得菌悬液分为 2 份,1 份作为待测菌悬液;另 1 份用于无细胞提取物的制备,采用冰浴超声破碎细胞后,12 000 r/min、4 °C 离心 20 min,收集上清,即为无细胞提取物。

2)对 H₂O₂ 的耐受性实验。尿肠球菌 HDRsEfl 采用 MRS 液体培养基,37 °C 静置培养 24 h,离心收集菌体,将菌体重悬于 PBS 中,加入一定量的过氧化氢溶液,使其终浓度为 0、1.0、1.5、2.0 mmol/L,将其在 37 °C 下水浴 1 min 后,加入 0.2 mg/mL 过氧化氢酶溶液终止反应,采用标准平板计数方法进行计数,计算存活率^[5-6]。

3)二苯代苦味肼基自由基(DPPH·)清除能力的测定。各取 1 mL 样品,分别加入 1 mL DPPH 自由基甲醇溶液(0.2 mmol/L)中,黑暗反应 30 min 后,离心收集上清液于 517 nm 测吸光度,以磷酸盐缓冲液(PBS)作为空白对照^[7],维生素 C 作为标准阳性对照。

4)清除羟自由基(HO·)能力的测定。在 10 mL 试管中进行,向其中依次加入 1 mL 硫酸亚铁溶液(5 mmol/L)、1 mL 水杨酸-乙醇溶液(5 mmol/L)、1 mL 过氧化氢溶液(3 mmol/L),混合均匀,然后向上述体系中加入 1.5 mL 的待测样品,用蒸馏水补齐至刻度,在 37 °C 的恒温水浴中反应 15 min 后,6 000 r/min 离心 10 min,以蒸馏水作参比,在波长 510 nm 下测定吸光度值^[8],维生素 C 作为标准阳性

对照。

$$\text{清除率} = (1 - A_x) / (A_0) \times 100\%$$

A₀—对照样品的吸光度 A_{510 nm};

A_x—样品的吸光度 A_{510 nm}。

5)清除超氧自由基(O²⁻·)能力的检测。取样品 0.1 mL,先后各加入 4.5 mL Tris-HCl 溶液,0.4 mL 焦性没食子酸溶液,充分混匀后于 25 °C 水浴反应 4 min,最后加入浓盐酸终止反应,在 320 nm 处测其吸光度,维生素 C 作为标准阳性对照^[9]。

$$\text{清除率} = [1 - (A_2 - A_3) / A_1] \times 100\%$$

A₁—不加样品,加入焦性没食子酸时的吸光度;

A₂—加入样品和焦性没食子酸时的吸光度;

A₃—加入样品,不加焦性没食子酸时的吸光度。

6)还原活性的测定。各取 0.5 mL 溶液,分别加入 0.5 mL PBS 溶液、1% 的铁氰化钾溶液 0.5 mL,于 50 °C 水浴反应 20 min,迅速冷却至室温,再加入三氯乙酸溶液 0.5 mL,在 3 500 r/min 转速下离心处理 5 min;取 1 mL 上清液与 1 mL 三氯化铁溶液反应,充分混匀后再静置孵育 10 min,在波长 700 nm 处测定反应体系的吸光值 D_{700 nm},L-半胱氨酸盐酸盐溶液作为标准品^[10]。

7)实验分组和给药。小鼠适应 1 周后,按照表 1 进行分组。除空白组外,其他各组每日注射 D-半乳糖,每日 1 次,共 6 周。其他组在继续注射 D-半乳糖的同时,分别灌胃相同剂量的发酵液、菌悬液、发酵液和菌的混合液、维生素 E,对照组与 D-半乳糖模型组灌胃等量的蒸馏水,具体分组情况见表 1。

8)小鼠的外观特征观察和体质量测定。每日观察小鼠精神状态、活动状况、毛色和粪便等,每周定时测定 1 次体质量。

表 1 实验动物分组情况

Table 1 Experimental animal grouping

组别 Groups	D-半乳糖皮下注射剂量 D - Galactose subcutaneously dose	灌胃剂量 Received gavage in a dosage
空白组 Control group	等量的 0.9%生理盐水 Same amount of 0.9% saline solution	等量的蒸馏水 Same amount of distilled water
模型组 Model group	D-半乳糖 500 mg/kg D-Galactose 500 mg/kg	等量的蒸馏水 Same amount of distilled water
发酵液组 Fermentation group	D-半乳糖 500 mg/kg D-Galactose 500 mg/kg	0.25 mL 发酵液 + 0.25 mL 灭菌水 0.25 mL fermentation + 0.25 mL sterile water
菌悬液组 Bacterium suspension group	D-半乳糖 500 mg/kg D-Galactose 500 mg/kg	0.5 mL
混合组 Mixed group	D-半乳糖 500 mg/kg D-Galactose 500 mg/kg	0.5 mL
维生素 E 组 Vitamin E	D-半乳糖 500 mg/kg D-Galactose 500 mg/kg	0.5 mL

9)组织处理与准备。小鼠摘眼球放血,移入非抗凝采血管,静置 3 h 后,在 3 000 r/min 离心 15 min 后分离血清,−80 ℃ 保存。采血后颈椎脱臼处死,迅速剪开腹腔,取出脾脏,并用 4 ℃ 预冷的生理盐水冲洗,除去血液,滤纸吸干,称质量。将小鼠断头,在冰台上迅速取全脑,用冰冷的生理盐水冲洗,除去血液,滤纸吸干,保存于−80 ℃ 冰箱中。检测当日,应用冰冷的生理盐水制备成 10% 的组织匀浆,4 ℃, 4 000 r/min 离心 10~15 min,取上清液进行检测。

10)抗氧化水平的检测。SOD 活性和 MDA 含量测定均按试剂盒说明书进行操作。

1.3 统计学分析

所有数据以均值±标准差(mean±SD)表示,并采用 SPSS 13.0 软件进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 屎肠球菌 HDRsEf1 对 H₂O₂ 的耐受

结果表明屎肠球菌 HDRsEf1 在 0.5~2.0 mmol/L 过氧化氢溶液中存活率为 100%,由此可以得出屎肠球菌 HDRsEf1 对过氧化氢具有极强的耐受性。

2.2 屎肠球菌 HDRsEf1 对 DPPH 自由基清除能力

结果显示屎肠球菌 HDRsEf1 发酵液对 DPPH 自由基清除率为 56.5%,相当于 12.75 mg/L 的维生素 C 清除作用;但是无细胞提取物和菌悬液对 DPPH 自由基没有清除作用(图 1)。

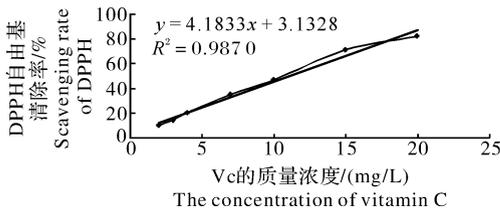


图 1 Vc 清除 DPPH 自由基的标准曲线

Fig.1 Standard curve of scavenging DPPH free radical by Vc

2.3 屎肠球菌 HDRsEf1 对羟自由基清除能力

结果显示屎肠球菌 HDRsEf1 发酵液、无细胞提取物和菌悬液具有很强的羟自由基清除能力,清除率分别为 85.3%、94.8%、94.9%,维生素 C 的相当量分别为 248.0、275.1、275.4 mg/L(图 2)。

2.4 屎肠球菌 HDRsEf1 对超氧自由基清除能力

结果表明,屎肠球菌 HDRsEf1 发酵液对超氧自由基没有清除作用,而无细胞提取物、菌悬液具有一定的清除能力,清除率为 32.2%、36.5%;但是维

生素 C 的相当量却为 0.0 g/L(图 3)。

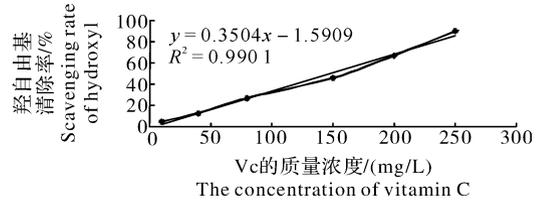


图 2 Vc 清除羟自由基的标准曲线

Fig.2 Standard curve of scavenging hydroxyl radical by Vc

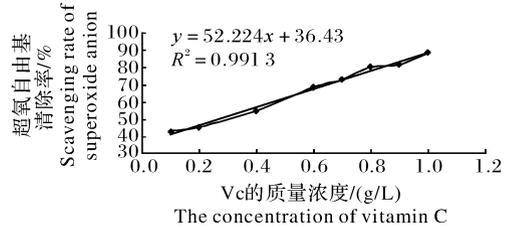


图 3 Vc 清除超氧自由基的标准曲线

Fig.3 Standard curve of scavenging superoxide radical by Vc

2.5 屎肠球菌 HDRsEf1 还原活性的测定

结果表明屎肠球菌 HDRsEf1 发酵液、无细胞提取物和菌悬液均具有一定的还原能力,而发酵液还原能力最强,还原活性为 3.010 mmol/L 当量的 L-半胱氨酸;菌悬液和无细胞提取物还原活性为 0.000 mmol/L 当量的 L-半胱氨酸(图 4)。

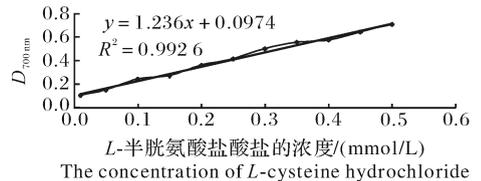


图 4 L-半胱氨酸盐酸盐的标准曲线

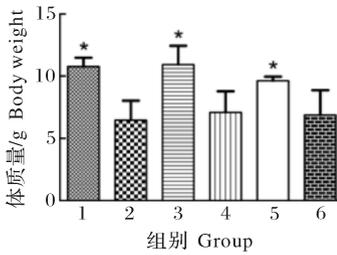
Fig.4 Standard curve of scavenging L-cysteine hydrochloride

2.6 造模期间小鼠的观察及体质量变化

造模期间各小鼠精神状态良好,饮食、行动、毛色等正常。造模后模型组和维生素 E 组的小鼠饮食慢慢减少,体质量减轻,其他组的小鼠饮食正常,体质量均增加。除了模型组小鼠反应迟钝、毛色枯黄外,其他组小鼠毛色发亮,活动正常。由图 5 可知,与模型组相比,空白组小鼠体质量明显增高($P < 0.05$)。发酵液组和混合组小鼠体质量增加相对于模型组明显提高($P < 0.05$)。该结果表明 D-半乳糖诱导的衰老模型是成功的。同时饲喂发酵液、菌和发酵液两者的混合,对 D-半乳糖抑制小鼠的生长所造成的影响有一定的缓解作用($P < 0.05$)。

2.7 样品对 D-半乳糖致衰老小鼠脾重指数的影响

从图 6 可以得出,菌悬液组、混合组和维生素 E



1.空白组 Control group; 2.模型组 Model group; 3.发酵液组 Fermentation group; 4.菌悬液组 Bactenum suspension group; 5.混合组 Mixed group; 6.维生素 E 组 Vitamin E.下同。The same as the followings.

图 5 各组小鼠体质量变化
Fig.5 Rat body weight change

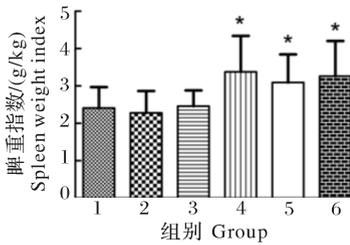


图 6 样品对 D-半乳糖致衰老小鼠脾重指数的影响
Fig.6 Effect of sample on spleen weight index of aging mice induced by D-galactose

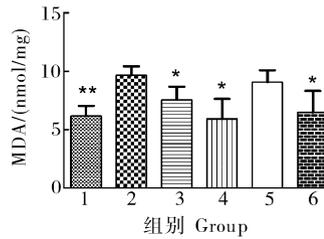
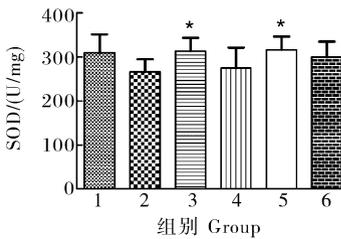


图 7 样品对 D-半乳糖致衰老小鼠血清中 SOD 活力和 MDA 含量的影响

Fig.7 Effect of sample on SOD and MDA in the serum of aging mice induced by D-galactose

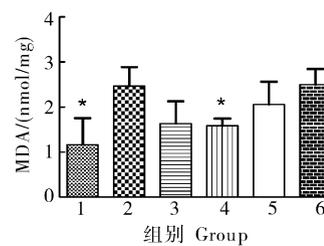
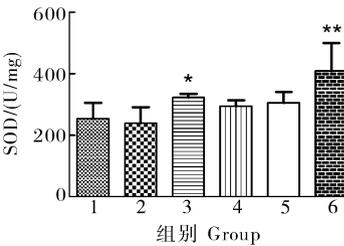


图 8 样品对 D-半乳糖致衰老小鼠大脑 SOD 活力和 MDA 含量的影响

Fig.8 Effect of sample on SOD and MDA in the brain of aging mice induced by D-galactose

显著降低 ($P < 0.05$)。该结果表明饲喂发酵液、菌悬液以及两者的混合,能够提高小鼠大脑中的 SOD 的活力,能够降低 MDA 的含量,表明发酵液、菌悬液以及两者的混合可能对抗由衰老造成大脑中的

组与模型组相比,能够显著提高小鼠的脾重指数 ($P < 0.05$)。该结果表明饲喂菌悬液、发酵液和菌两者的混合后,脾重指数明显增高 ($P < 0.05$),提示它们可能对抗由衰老造成的脾重指数的降低,可能通过提高免疫力来达到延缓衰老的目的。

2.8 样品对 D-半乳糖致衰老小鼠血清中 SOD 的活力和 MDA 含量的影响

如图 7 所示,发酵液组和混合组小鼠血清的 SOD 活力与模型组相比明显升高 ($P < 0.05$)。空白组小鼠 MDA 含量相对于模型组显著降低 ($P < 0.01$),发酵液组和菌悬液小鼠的 MDA 含量相对于模型组显著降低 ($P < 0.05$)。该结果表明饲喂发酵液、菌悬液以及两者的混合,能够提高小鼠血清 SOD 的活力,能够降低 MDA 的含量,表明发酵液、菌悬液以及两者的混合可能对抗由衰老造成血清 SOD 活力的降低和 MDA 含量的升高。

2.9 样品对 D-半乳糖致衰老小鼠大脑抗氧化能力的影响

如图 8 所示,发酵液组和维生素 E 组的 SOD 活力与模型组相比显著升高 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。空白组小鼠的 MDA 含量相对于模型组明显降低 ($P < 0.05$),菌悬液小鼠的 MDA 含量相对于模型组

SOD 活力的降低和 MDA 含量的升高。

3 讨论

过氧化氢耐受性、DPPH 自由基、羟自由基及超

氧自由基的清除实验和还原能力的测定是评价益生菌抗氧化性能的重要指标,能在一定程度上从某个侧面来反映被测物的抗氧化能力。羟自由基是化学性质最活泼的自由基,反应速率极高,几乎能和所有的生物大分子发生反应。而过氧化氢和超氧自由基均能通过芬顿等反应生产活性较强的自由基如羟自由基等^[11],从而对机体造成危害。二苯基苦基苯肼自由基(DPPH·)是一种人工合成的具有单个电子的有机自由基,具有良好的稳定性,常用来筛选和评价物质的抗氧化性^[12]。在生物体内主要通过抗氧化酶和抗氧化物质两大类物质抑制由氧化剂引起的氧化反应,其中抗氧化物质是通过还原性与自由基发生反应,从而使机体免受氧化带来的损伤。体外研究表明,屎肠球菌 HDRsEfl 对过氧化氢具有较好的耐受性,完整细胞、无细胞提取物及发酵液对不同的自由基清除能力和还原活性存在差异,这与之前报道的结果相一致^[13-14]。由此可以推测,屎肠球菌 HDRsEfl 菌株本身、无细胞提取物及发酵液均具有一定的抗氧化性和自由基特异性,这些除了与抗氧化物质不同外,还与其抗氧化机制有关^[15]。

D-半乳糖构建的衰老模型^[16],与其他衰老模型相比,具有周期短、造模简单、重复性较好等特点,已经得到广泛的利用^[17]。脾脏作为人与动物体最大的外周免疫器官,对于机体的特异性免疫和非特异性免疫起了很重要的作用,脾脏质量上升则表明机体免疫功能增强。在本研究中,衰老小鼠的脾重指数远低于空白对照组,应用菌悬液、发酵液和菌混合液后,脾重指数明显增高,说明菌悬液、发酵液和菌混合液可对抗由衰老造成的小鼠脾重指数的降低,这可能通过提高免疫力来达到延缓衰老的目的。

超氧化物歧化酶(SOD)作为机体具有代表性的内源性抗氧化性酶,则可以清除体内超氧自由基,保护组织器官免受损失,因此,SOD 活性的高低直接反映了组织抗氧化的能力。丙二醛(MDA)是过氧化脂质(LPO)的最终产物,它具有很强的生物毒性,很容易与磷脂、蛋白质等大分子发生反应,严重损害动物的健康。MDA 作为一种脂质过氧化终产物,它也是评价衰老的重要指标之一,而且又可以间接地反映组织受到氧化损伤的程度。在本研究中,通过检测血清和大脑中的 SOD 活力和 MDA 含量,发现模型组中抗氧化系统受到损害,而且脂质过氧

化异常,发酵液、菌悬液、发酵液和菌混合液可以提高血清和脑中的 SOD 活力,同时降低机体内脂质过氧化水平。这可能是动物机体受到氧化刺激后,屎肠球菌 HDRsEfl 的代谢成分,或被裂解后释放的胞内物质通过血液循环,与血液和大脑中的自由基作用,降低脂质过氧化程度,保护机体免受自由基的损伤。具体的抗氧化机制,还有待进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] AYAZ M, CELIK H A, AYDIN H H, et al. Sodiumselenite protects against diabetes-induced alterations in the antioxidant defense system of the liver[J]. *Diabetes-metabolism research and reviews*, 2006, 22(4): 295-299.
- [2] 李建喜, 杨志强, 王学智, 等. 肉鸡腹水综合征发病学的氧应激机制及其防治[J]. *中国兽医学报*, 2003, 23(4): 372-374.
- [3] CAI H X, LUO J M, LONG X, et al. Free-radical oxidation and superoxide dismutase activity in synovial fluid of patients with temporomandibular disorders [J]. *Journal of orofacial pain*, 2006, 20(1): 53-58.
- [4] 龚琪, 曾娟娟, 石德时, 等. 益生性屎肠球菌 HDRsEfl 对雏鸡盲肠菌群发育的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2015, 34(1): 78-82.
- [5] DOLEYRES Y, FLISS I, LACROIX C. Increased stress tolerance of *Bifidobacterium longum* and *Lactococcus lactis* produced during continuous mixed-strain immobilized-cell fermentation[J]. *Journal of applied microbiology*, 2004, 97(3): 527-539.
- [6] SHIMAMURA S, ABE F, ISHIBASHI N, et al. Relationship between oxygen sensitivity and oxygen metabolism of *Bifidobacterium* species[J]. *Journal of dairy science*, 1992, 75(12): 3296-3306.
- [7] LIN M Y, CHANG F J. Antioxidative effect of intestinal bacteria *Bifidobacterium longum* ATCC 15708 and *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356[J]. *Digestive diseases and sciences*, 2000, 45(8): 1617-1622.
- [8] GUTTERIDGE J M. Ferrous-salt-promoted damage to deoxyribose and benzoate. The increased effectiveness of hydroxyl-radical scavengers in the presence of EDTA[J]. *Biochem journal*, 1987, 243(3): 709-714.
- [9] 俞梅兰, 余燕影, 曹树稳. 槲皮素自氧化作用影响其超氧阴离子自由基清除能力的研究[J]. *食品工业科技*, 2006(3): 75-78.
- [10] LIN M Y, YEN C L. Antioxidative ability of *lactic acid bacteria* [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 1999, 47(4): 1460-1466.
- [11] EBERHARDT M K. Reactive oxygen metabolites: chemistry and medical consequences [D]. San Juan: University of Puerto Rico School of Medicine, 2000.
- [12] 王会, 郭立, 谢文磊. 抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(一)[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 2(3): 92-97.

- [13] 张天博, 宁喜斌. 乳酸菌对自由基清除能力的研究[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(4): 10-19.
- [14] 张凤敏, 田丰伟, 陈卫, 等. 具有抗氧化活性乳酸菌的筛选[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(2): 4-7.
- [15] 蔡英杰. 乳酸菌健康概念的公众[C]//上海市食品协会. 第四届亚洲乳酸菌研讨会暨第三届乳酸菌与健康国际研讨会会议文集. 上海: 中国国际科技会议中心, 2007.
- [16] 徐赓本. *D*-半乳糖的亚急性毒性[R]. 哈尔滨: 第二届国际衰老研讨会, 1985.
- [17] ZHANG S, DONG Z, PENG Z, et al. Anti-aging effect of adipose-derived stem cells in a mouse model of skin aging induced by *D*-galactose[J]. Plos ONE, 2014, 9(5): 1-7.

Antioxidant performance evaluation of *Enterococcus faecium* HDRsEf1

WU Bei^{1,2} ZHANG Panwang^{1,2} WANG Xiliang^{1,2} KUANG Shichang³
WANG Guiqiang⁴ WANG Jun⁵ XIAO Yuncai^{1,2}

1. State Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Wuhan 430070, China;

2. College of Veterinary Medicine, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Wuhan Huada Real Science & Technology Co., Ltd., Wuhan 430070, China;

4. Hubei Provincial Animal Breeding Center, Wuhan 430070, China;

5. Hubei Provincial Institute of Veterinary Drug Control, Wuhan 430070, China

Abstract For the impact of oxidative stress on animal husbandry industry, this study aimed to investigate the antioxidant property of *Enterococcus faecium* HDRsEf1, which would provide a new method for development of new biological antioxidants. To assess antioxidant activity of the strain *in vitro*, the resistance to hydrogen peroxide, scavenging activity of the free radical (DPPH free radical, hydroxyl radical and superoxide radical), and reducing activity were analyzed. And to evaluate the antioxidant property of the *E. faecium* HDRsEf1 *in vivo*, the *D*-galactose induced aging model were built. The results showed that the strain could survive under 2.0 mmol/L of hydrogen peroxide. The fermentation broth of HDRsEf1 not only had good scavenging activity of the DPPH free radical but also had a strong reducing activity. The intact cell, cell-free extract, fermentation broth of *E. faecium* HDRsEf1 also displayed good scavenging activity of hydroxyl radical, but weak superoxide radical. The experimental investigation demonstrated that the cell and fermentation broth of *E. faecium* HDRsEf1 displayed effective function of antioxidation and antiaging by increasing the activities of superoxide dismutase (SOD) and decreasing the malondialdehyde (MDA) level prominently in the *D*-galactose treated mice. Therefore, *E. faecium* HDRsEf1 had good antioxidant activity *in vitro* and *in vivo*.

Keywords radical; reduction; intact cell; cell-free extract; fermentation broth; antioxidation

(责任编辑: 边书京)