

## 乳杆菌吸附塑化剂的影响因素分析及效果评价

赵丽丽<sup>△</sup> 贺新丽<sup>△</sup> 杨佳越 赵宏飞<sup>\*</sup> 周方 张柏林

(北京林业大学 生物科学与技术学院 北京 100083)

**摘要:**【目的】评价嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*) NCFM 和类食品乳杆菌(*Lactobacillus paralimentarius*) 412 吸附塑化剂的效果, 初步探讨影响其吸附的因素。【方法】基于 3 种邻苯二甲酸酯类塑化剂: 邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)和邻苯二甲酸二乙基己酯(DEHP)的 HPLC 检测方法, 评价了菌株 NCFM 和 412 与塑化剂共同温育时的吸附状况, 优化菌株吸附 DBP 的条件, 研究菌株在热、酸及 NaCl 处理后吸附塑化剂的稳定性。【结果】乳杆菌 NCFM 和 412 对 3 种邻苯二甲酸酯类塑化剂均有不同程度的吸附效果, 其中菌株 NCFM 对 3 种塑化剂 DEP、DBP 和 DEHP 的吸附率分别为 21.48%、43.32%和 9.62%, 吸附效果优于菌株 412, 其中 DBP 的吸附效果最好。在温度为 37 °C 时, 菌株 NCFM 吸附 DBP 的最佳时间是 4 h。热、酸和 NaCl 处理都会显著提高菌体 NCFM 吸附塑化剂的效果。【结论】嗜酸乳杆菌 NCFM 通过吸附作用具有清除 3 种邻苯二甲酸酯类塑化剂的效果, 可以作为潜在的塑化剂生物脱除剂使用。

**关键词:** 乳杆菌, 塑化剂, 吸附作用

## Influencing factors analysis and effect evaluation of *Lactobacillus* strains to bind plasticizers

ZHAO Li-Li<sup>△</sup> HE Xin-Li<sup>△</sup> YANG Jia-Yue ZHAO Hong-Fei<sup>\*</sup> ZHOU Fang  
ZHANG Bo-Lin

(School of Biological Science and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] This study was designed to investigate the binding of two *Lactobacillus* strains, i.e., *L. acidophilus* NCFM and *L. paralimentarius* 412, to plasticizers. Several factors which affect the ability of the bacteria to bind plasticizers were also detected. [Methods] HPLC was used to detect the binding efficiency of two lactobacillus strains to three phthalates plasticizers, namely DEP, DBP and DEHP, respectively. The adsorption conditions of two strains to DBP were optimized when the bacterial cells were subjected to heat, acid or NaCl treatment. [Results] Two *Lactobacillus* strains showed an adsorption to three phthalic acid esters plasticizers, but strain NCFM was better in binding plasticizers than strain 412, especially in adsorbing the plasticizer DBP. The binding percentages of strain NCFM to three phthalates DEP, DBP and DEHP was 21.48%, 43.32% and 9.62%, respectively.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 31471710); “十二五”农村领域国家科技计划课题(No. 2011AA100902)

\*通讯作者: Tel: 86-10-62336154; ✉: zhaohf518@163.com

<sup>△</sup>共同第一作者

收稿日期: 2014-11-28; 接受日期: 2015-01-05; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2015-01-22

Strain NCFM bound the maximal DBP after incubation for 4 h at 37 °C. The efficiency of strain NCFM plasticizers-adsorbing was significantly improved via heat, acid and NaCl treatment. **[Conclusion]** *L. acidophilus* NCFM showed good ability to bind phthalic acid esters plasticizers. Strain NCFM should be a candidate as one of biological tools to remove plasticizers from the environments linked to food products.

**Keywords:** *Lactobacillus* strains, Plasticizers, Adsorption

乳杆菌是正常肠道菌群中一类极其重要的微生物,具有维持肠道微生态平衡和其他许多重要的生理功能。作为一类革兰氏阳性细菌,乳杆菌分解糖的主要终产物是乳酸,不发酵乳酸盐,迄今没有致病性的报道<sup>[1]</sup>。截至目前,很多学者将研究重点放在乳杆菌的抗突变与抗癌的特性上,研究表明乳杆菌具有吸附致突变因子的能力,是一种很有潜力的致突变因子生物脱除剂<sup>[2]</sup>。

塑化剂也称邻苯二甲酸酯类(Phthalate esters, PAEs)物质,通常用于软化包装制品和饮料的塑料容器。有研究表明,若环境中存在塑化剂的微量残留物,可通过食物链到达人体内,进而生成伪激素,并发送影响激素水平的伪化学信号,这将会破坏原有的内分泌系统,进一步造成内分泌失调。塑化剂进入人体也可能引发生殖系统异常、出生缺陷、癌症等危害<sup>[3]</sup>。食品在生产的过程中,会有一部分塑料制品直接与其接触,这增加了食品安全隐患,如何减少或消除塑化剂对食品的安全隐患成为本研究的重要目的和意义。本研究选用乳杆菌为吸附载体,利用高效液相色谱技术检测乳杆菌对塑化剂的吸附率,尝试利用乳杆菌清除介质中的塑化剂,以期探索乳杆菌新的生理功能 and 实践应用途径提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 试验菌种:** 商业化嗜酸乳杆菌株(*L. acidophilus*) NCFM 由丹尼斯克(Danisco)公司(上海)提供,类食品乳杆菌(*L. paralimentarius*) 412 由北京林业大学食品系(现保存于中国工业微生物菌种保藏中心 CICC)提供。

**1.1.2 主要试剂和仪器:** 邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二乙基己酯(DEHP),购自德国 Dr. Ehrenstorfer 公司;甲醇(色谱纯),购自赛默飞世尔科技(中国)有限公司;SPD-M20A 高效液相色谱仪,购自岛津企业管理(中国)有限公司;NW10UF 型纯水机,购自上海 Canrex 仪器分析公司;TGL-16G 台式高速冷冻离心机,购自上海菲恰尔分析仪器有限公司;YP-92-IIIM 超声波破碎仪,购自宁波新芝科技股份有限公司;电子天平 FA10004A,购自上海精天精密仪器厂。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 菌悬液的制备:** 取出真空冷冻干燥贮藏的乳杆菌菌株,分别接入 5 mL 的 MRS 培养基<sup>[4]</sup>中,于 37 °C 培养 36 h,然后按 4%的接种量连续活化 2 次,将活化后的菌株于 37 °C 培养 18–22 h。将菌株 NCFM 与 412 培养离心(6 000 r/min, 4 °C, 5 min),收集离心后菌体,用无菌生理盐水离心洗涤 2 次并重悬,调整菌株 NCFM 和 412 的细胞浓度为  $5 \times 10^9$  CFU/mL。4 °C 保存菌悬液,12 h 内待用。

**1.2.2 高效液相色谱检测条件:** 采用反相 Diamonsil-C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),柱温 25 °C,流动相为甲醇(70%–100%)和水,设定流速为 1 mL/min,进样量为 20 μL,检测波长 224 nm。

**1.2.3 菌体细胞吸附塑化剂效率测定:** 取 1.2.1 步骤配制的  $5 \times 10^9$  CFU/mL 的菌悬液 1 mL 于 4 °C 离心 5 min (6 000 r/min),然后去除上清液,加入 900 μL 无菌水和 100 μL 塑化剂工作液(100 mg/L),最终得到 10 mg/L 的塑化剂菌悬液。将该混合液于 37 °C 温育 4 h,然后将其离心 10 min (3 500 r/min),收集上清液备用。利用高效液相色谱法对塑化剂的含量

进行定量检测,空白对照为 1 mL 不含有乳杆菌菌株 NCFM 和 412 细胞的 10 mg/L 塑化剂水溶液。乳杆菌对塑化剂的吸附率按下式计算: 吸附率 (%)=[(空白样中塑化剂的含量-上清液中塑化剂的含量)/空白样中塑化剂的含量]×100。

**1.2.4 吸附塑化剂菌株的选择:** 将菌株 NCFM 和 412 按操作 1.2.1 与 1.2.3 所述分别制备塑化剂 DEP、DBP 和 DEHP 的菌悬液,并分别测定塑化剂吸附率,选出吸附率较高的菌株。

**1.2.5 菌株吸附塑化剂条件的优化:** (1) 共同温育时间: 按照 1.2.3 的操作,将细胞浓度为  $5 \times 10^9$  CFU/mL 的菌株 NCFM 与 10 mg/L 的塑化剂 DBP 在 37 °C 下混合温育,温育时间梯度设置为 1、2、4、6 和 8 h,检测不同时间下菌体的塑化剂吸附率。(2) 共同温育温度: 将细胞浓度  $5 \times 10^9$  CFU/mL 的菌株 NCFM 与 10 mg/L 的塑化剂 DBP 进行混合温育,温度梯度设置为 4、20、37 和 50 °C,温育时间均为 4 h,检测不同温度下菌体的塑化剂吸附率。

**1.2.6 影响乳杆菌吸附塑化剂的因素研究:** (1) 不同处理方式对菌体吸附塑化剂的影响。

**热处理:** 将细胞浓度为  $5 \times 10^9$  CFU/mL 的菌株 NCFM 菌悬液在  $1 \times 10^5$  Pa 下灭活 15 min,然后与浓度为 10 mg/L 的塑化剂在 37 °C 温育 4 h,测定灭活菌体的塑化剂吸附率。

**酸处理:** 将细胞浓度为  $5 \times 10^9$  CFU/mL 的菌株 NCFM 细胞在 2 mol/L 的 HCl 溶液中处理 90 min 后,用无菌水(6 000 r/min, 4 °C, 10 min)离心洗涤 2 次,与 10 mg/L 的塑化剂在 37 °C 温育 4 h,检测处理后菌体的塑化剂吸附率。

**NaCl 处理:** 将细胞浓度为  $5 \times 10^9$  CFU/mL 菌株 NCFM 悬浮于 1 mol/L 的 NaCl 溶液中,10 °C 超声处理 5 min,然后 6 000 r/min、4 °C 离心 10 min 收集菌体细胞,用无菌水离心(6 000 r/min, 4 °C, 10 min)洗涤一次后按 1.2.3 方法检测 NaCl 处理后菌体的塑化剂吸附率。

**对照:** 取未经处理的嗜酸乳杆菌 NCFM 菌体细

胞作为空白对照,测定其塑化剂吸附率。

(2) 菌体吸附塑化剂的稳定性研究。将经过热处理、酸处理、NaCl 处理以及未经处理的嗜酸乳杆菌 NCFM 细胞与塑化剂在 37 °C 下温育 4 h,离心(6 000 r/min, 4 °C, 10 min)收集菌体沉淀,调整浓度到  $5 \times 10^9$  CFU/mL,然后加入 1 mL 色谱级甲醇,反复振荡洗脱,静置 1 h 后离心(6 000 r/min, 4 °C, 10 min)取有机相,检测有机相中的塑化剂含量,评价菌株 NCFM 细胞吸附塑化剂的稳定性。

**1.2.7 数据分析:** 实验数据采用 SPSS 17.0 统计软件分析,做 *t* 检验及单因素方差分析。所有实验均重复 3 次,实验数据采用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌株的选择

试验所用乳杆菌菌株为嗜酸乳杆菌 NCFM 和类食品乳杆菌 412,分别与 DEP、DBP 和 DEHP 共同温育后表明,菌株 NCFM 和 412 对 3 种塑化剂均有一定的吸附效果。与菌株 412 相比,菌株 NCFM 清除 3 种塑化剂的效果更好,其中 DBP 的清除率为 43.32% (图 1),因此选用嗜酸乳杆菌 NCFM 作为吸附塑化剂菌株进行后续试验。图 2 是塑化剂标准液(50 mg/L)的液相色谱图,其中塑化剂 DEP、DBP

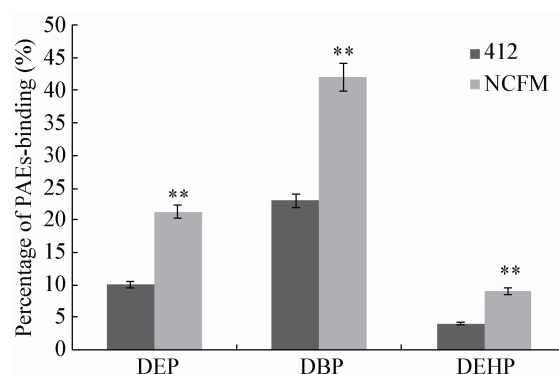


图 1 乳杆菌 NCFM 和 412 吸附塑化剂的效果

Figure 1 The binding ability of strains NCFM and 412 to 3 plasticizers

注: NCFM 吸附率与 412 吸附率相比, \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ .

Note: \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$  the percentage of PAEs-binding of strains NCFM compared with 412.

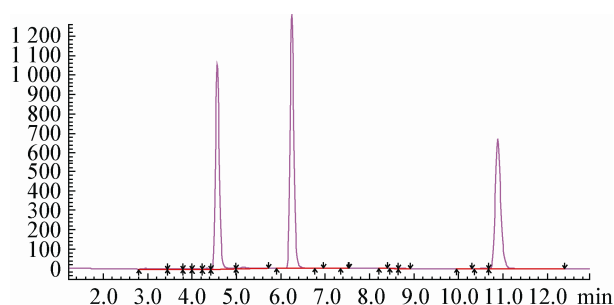


图2 塑化剂液相色谱图

Figure 2 HPLC chromatogram of plasticizers

和 DEHP 的出峰时间分别为 4.8、6.3 和 10.9 min, 分离度良好。

## 2.2 菌株吸附塑化剂条件的优化

**2.2.1 共同温育时间:** 将菌株 NCFM 和 DBP 共同温育, 分别在 1、2、4、6 和 8 h 后取样测试菌株吸附率, 结果显示在温育初期(4 h 内), 吸附速率增长较快, 在 4 h 时达到最大, 为 41.41% (图 3)。菌体的生物量没有变化, 两者共同温育 4 h 后, 菌株的塑化剂吸附率基本保持稳定, 这表明菌株 NCFM 与塑化剂的吸附是一个缓慢的过程。

**2.2.2 共同温育温度:** 图 4 反映了不同温度下菌株 NCFM 对 DBP 的吸附效果, 在 4–50 °C 范围内, 菌体的 DBP 吸附率随着温度上升呈现先增加后降低的趋势, 表明温度不同, 菌株的 DBP 吸附效果不同。在 4–37 °C 内, 菌株 NCFM 对塑化剂 DBP 的吸附率呈现一定的正相关, 37 °C 时较高, 为 37.24%, 说明菌株 NCFM 吸附的塑化剂适宜结合温度是 37 °C。

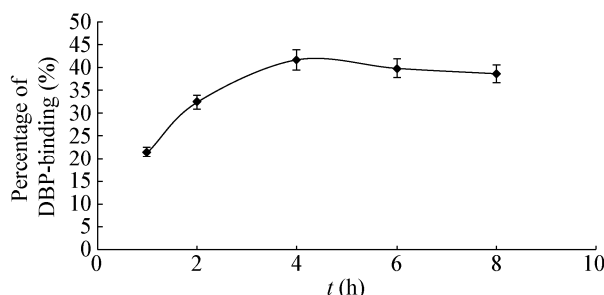


图3 菌体温育时间对吸附效果的影响

Figure 3 Effect of incubation time on the binding of strain NCFM to DBP

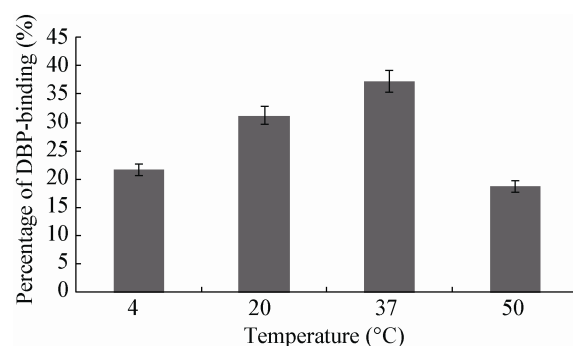


图4 菌体温育温度对吸附效果的影响

Figure 4 Effects of incubation temperature on the binding of strain NCFM to DBP

## 2.3 不同处理方式下菌株的塑化剂吸附特性

**2.3.1 热处理:** 菌株 NCFM 经  $1 \times 10^5$  Pa 加热灭活 15 min 后, 分别与 DEP、DBP 和 DEHP 在 37 °C 共同温育 4 h 后, 测定其吸附率表明, 热处理能显著地增加菌株的塑化剂吸附率( $P < 0.01$ , 图 5), 3 种塑化剂吸附率都分别可提高 3%。

**2.3.2 酸处理:** 将菌株 NCFM 进行酸处理后, 分别与 DEP、DBP 和 DEHP 在 37 °C 共同温育 4 h 后, 测定其吸附率表明, 酸处理会显著提高细胞吸附塑化剂的效果, 特别是吸附 DBP 的效果明显, 菌株 NCFM 的 DBP 吸附率达到 74.26%, 明显高于未经处理菌体的吸附率( $P < 0.01$ , 图 6)。

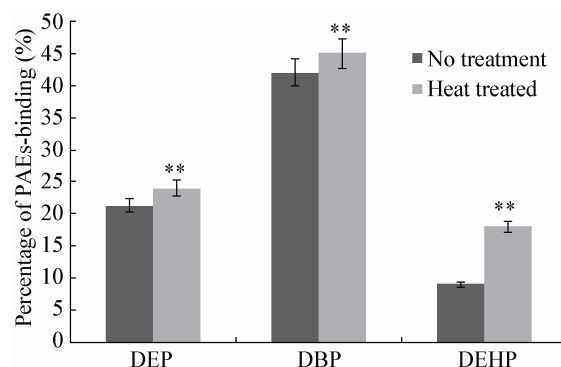


图5 热处理对吸附效果的影响

Figure 5 Effects of heat treatment on the binding of strain NCFM to three plasticizers

注: 与未经处理的菌株相比, \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ 。

Note: \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$  compared with strains without treatments.

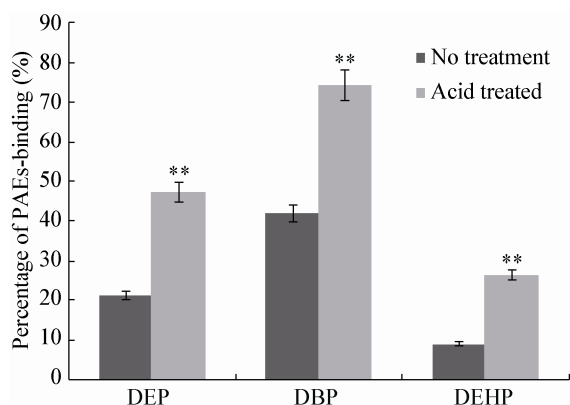


图6 酸处理对菌株 NCFM 吸附效果的影响

**Figure 6 Effects of acid treatment on the binding of strain NCFM to three plasticizers**

注：与未经处理的菌株相比，\*： $P<0.05$ ，\*\*： $P<0.01$ 。

Note: \*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$  compared with strains without treatments.

**2.3.3 NaCl 处理：**采用 Hernandez 的 NaCl 去除胞外多糖法评价胞外多糖影响菌体吸附塑化剂的效果表明<sup>[4]</sup>，当用 NaCl 去除细胞表面的胞外多糖后，菌株 NCFM 吸附塑化剂的效果与未处理细胞相比有显著性提高( $P<0.01$ )，其中吸附 DBP 的效果最明显，菌株 NCFM 的 DBP 吸附率提高了 13.71% (图 7)。

**2.3.4 3 种处理方式的比较：**比较热处理、酸处理、NaCl 处理对菌株 NCFM 吸附同一种塑化剂 DBP 效果的影响显示，NaCl 处理显著提高了菌体的塑化剂吸附效果( $P<0.01$ )；热处理对其吸附率有显著影响，提高了 3% ( $P<0.01$ )；酸处理对乳杆菌 NCFM 的吸附性影响最大，其 DBP 吸附率提高了 30% ( $P<0.01$ ，图 8)。这意味着菌株 NCFM 的胞外多糖影响了塑化剂的吸附<sup>[5]</sup>。鉴于热或酸处理会在一定程度上改变细胞壁上的蛋白质性质，促使肽或蛋白质与多糖之间发生美拉德反应<sup>[6]</sup>，从而使细胞的肽聚糖层减少交联，形成没有规律的细胞壁结构，增加了细胞孔径，提供了更多的吸附位点<sup>[7]</sup>。

**2.3.5 菌体吸附塑化剂的稳定性研究：**无论是经热处理、酸处理、NaCl 处理或者是未经处理的菌株 NCFM 菌体，再经甲醇洗脱后其细胞吸附塑化剂的效率都有不同程度的下降(表 1)，说明菌株 NCFM

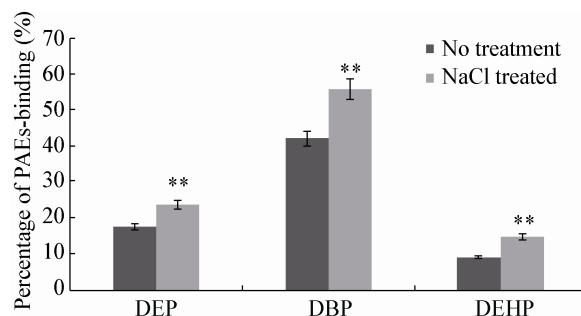


图7 NaCl 处理对菌株 NCFM 吸附效果的影响

**Figure 7 Effects of NaCl treatment on the binding of strain NCFM to three plasticizers**

注：与未经处理的菌株相比，\*： $P<0.05$ ，\*\*： $P<0.01$ 。

Note: \*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$  compared with strains without treatments.

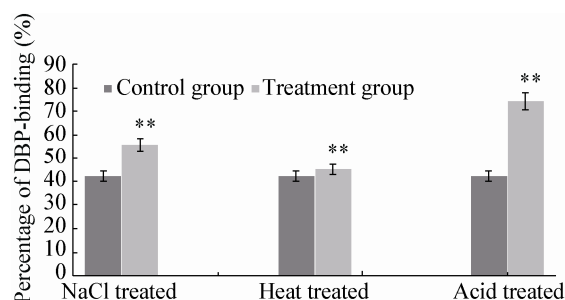


图8 3 种不同处理方式下菌株 NCFM 吸附 DBP 的效果

**Figure 8 Effects of three different treatments on the binding of strain NCFM to DBP**

注：与未经处理的菌株相比，\*： $P<0.05$ ，\*\*： $P<0.01$ 。

Note: \*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$  compared with strains without treatments.

的塑化剂吸附为物理吸附，吸附稳定性较强。其次，相比于未经任何处理的细胞，菌株 NCFM 经过酸处理、热处理或者 NaCl 处理后再经过甲醇洗脱，其塑化剂的吸附率有所改变，说明对菌株 NCFM 细胞进行适当方式的处理会影响其塑化剂的吸附稳定性。

### 3 讨论

大量研究表明，乳杆菌可以吸附致突变因子，包括致癌的多环芳烃、真菌毒素、杂环胺等苯环类化合物，如黄曲霉毒素、苯并芘等，从而避免宿主对它的代谢，起到抗癌和抗突变作用<sup>[8]</sup>。

Hernandez-Mendoza 等筛选了 8 株干酪乳杆菌(*L. casei*)

表 1 菌株 NCFM 细胞吸附塑化剂后经甲醇洗脱残留率  
Table 1 The residual plasticizers-binding percentages of strain NCFM cells after washed by methanol

Plasticizers	Treatment	The percentage of PAEs-binding (%)			
		Viable	Acid treated	Heat treated	NaCl treated
DEP	No treatment	21.48±0.70	47.21±0.21	24.01±0.66	23.97±0.42
	After washed by methanol	18.24±1.03	45.32±2.30	19.12±1.36	20.67±1.29
DBP	No treatment	43.32±0.84	74.26±0.13	45.03±0.58	55.71±0.34
	After washed by methanol	36.38±2.31	72.08±1.98	34.56±1.80	48.49±2.73
DEHP	No treatment	9.62±0.51	26.48±0.40	18.08±0.46	14.62±0.04
	After washed by methanol	6.47±1.18	23.41±1.39	17.28±2.09	12.16±1.04

来吸附黄曲霉毒素 B1 (AflatoxinB1, AFB1), 结果显示不同菌株的 AFB1 吸附率不同, 最高可达到 49%<sup>[5]</sup>。Hateb 等的研究结果显示, 使用了 10 株灭活的乳酸菌来吸附苹果汁中的棒曲霉毒素 PAT 污染物, 结果显示鼠李糖乳杆菌(*L. rhamnosus*)可以使 PAT 的量降低 80.4%<sup>[9]</sup>。然而, 有关乳杆菌是否具有吸附塑化剂的研究至今未见报道。本实验选用类食品乳杆菌 412 和嗜酸乳杆菌 NCFM 进行了塑化剂吸附效果研究, 结果显示乳杆菌菌体对 3 种塑化剂 DEP、DBP 或 DEHP 具有不同的吸附效果, 其中 DBP 的吸附效果最好, 为 43.32%。且菌株在塑化剂吸附效果上存在差异性, 菌株 NCFM 表现出较高的吸附效果。我们初步的研究证实乳杆菌细胞具有吸附介质中塑化剂的能力, 这也是此方面研究的第一次报道。

乳杆菌菌体吸附塑化剂的效果受时间、温度、酸处理、热处理、NaCl 处理等方式的影响。温育温度和温育时间会影响菌株的塑化剂吸附效果。Zinedine 等报道, 在 25 °C 时乳杆菌对 AFB1 有最强的吸附能力, 而在 15 及 37 °C 下菌体的吸附率较低<sup>[10]</sup>。除了温度影响外, 时间也是影响吸附效果的重要因素<sup>[11]</sup>。显然, 不同菌株间吸附致突变因子的效果受到时间和温度的影响, 表现在菌株的吸附效率差异较大。本实验中, 在 37 °C 下温育时间为 4 h 时, 菌株 NCFM 的塑化剂吸附率较高, 这一结果说明乳杆菌吸附塑化剂的特性也有相同的规律性。

Haskard 等认为, 适当地对菌体进行热或酸处

理能够增加菌株与黄曲霉毒素 B1 复合体的稳定性<sup>[12]</sup>。据报道, 在酸性条件下, 菌体细胞壁中多糖的糖苷键断裂, 会形成一些单体物质, 这些单体可以继续分解为乙醛<sup>[13]</sup>; 酸性条件也会使蛋白质和多肽中的酰胺键降解, 形成部分氨基酸和多肽。利用流式细胞仪检测到一些菌体细胞碎片, 这是细胞壁肽聚糖在酸性条件下裂解形成的<sup>[14]</sup>。Knasmüller 等研究表明, 热处理极显著地增强了植物乳杆菌 F22 吸附黄曲霉毒素 B1 的效果, 这种现象与乳杆菌吸附毒素的重要部分——细胞壁的肽聚糖对加热处理非常敏感的特点有关<sup>[15]</sup>。Niderkorn 等研究了 29 株菌株脱除伏马菌素 B1、B2 和脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素的效果, 结果发现, 丙酸菌和乳酸菌经过热处理的死细胞对伏马菌素的结合能力更强一些, 猜测这可能是热处理导致菌体细胞壁构造发生了变化, 使菌体细胞壁上增加了吸附位点<sup>[16-17]</sup>。我们的试验结果表明, 嗜酸乳杆菌 NCFM 经过酸处理后吸附塑化剂的效率提高了 30%, 灭活后的嗜酸乳杆菌比灭活前的吸附能力有显著增加。显然, 细胞壁的结构改变会促使突变物质与细胞完整时没有暴露的细胞壁或是细胞质膜的一些其他成分结合, 从而提高了菌体对突变物质的吸附率, 我们研究结果与前人是一致的; 去除胞外多糖后菌体吸附塑化剂的效果明显提高, 有可能因为胞外多糖的去除使菌体细胞壁暴露了更多吸附塑化剂的位点, 从而提高了菌体吸附塑化剂的效果。

我们的试验表明, 无论是热处理、酸处理、NaCl

处理还是未经处理的嗜酸乳杆菌 NCFM 细胞,经甲醇洗脱后其吸附的塑化剂含量均有不同程度的下降(表 1),说明菌体细胞吸附塑化剂过程属于物理吸附,吸附稳定性较强。Peltonen 等研究表明,乳酸菌及双歧杆菌吸附的黄曲霉毒素 B1 经无菌水多次洗脱后会解吸附<sup>[18]</sup>。Haskard 等认为,乳酸菌对黄曲霉毒素 B1 的吸附作用是由一种较弱的非共价键形成,在极性物质存在下容易受到破坏,这些结果与本实验乳杆菌吸附塑化剂的作用有相似之处<sup>[12]</sup>。

## 4 结论

(1) 塑化剂吸附率存在一定的菌株差异性,选用的两株乳杆菌中嗜酸乳杆菌 NCFM 相对于类食品乳杆菌 412 有较高的吸附效果,对 3 种塑化剂吸附率分别为 21.48%、43.32%和 9.62%,表明乳杆菌菌体细胞具有吸附塑化剂 DEP、DBP 或 DEHP 的潜力,可以作为潜在的塑化剂生物脱除剂。

(2) 温育时间和温度影响乳杆菌清除塑化剂的效果,37℃达到最高,约为 37.24%。

(3) 菌株经过酸处理吸附塑化剂的效率提高 30%,热处理和 NaCl 处理也可以提高菌株吸附率,表明细胞壁的结构改变或许会影响嗜酸乳杆菌 NCFM 吸附塑化剂的效果。

## 参考文献

- [1] Huang H, Han CM. Effect of ecological immunonutrition by *Lactobacillus* in maintaining intestinal mucosal barrier[J]. Chinese Journal of Burns, 2005, 21(2): 155-157 (in Chinese)  
黄回, 韩春茂. 乳杆菌生态免疫营养在维护肠黏膜屏障中的作用[J]. 中华烧伤杂志, 2005, 21(2): 155-157
- [2] Schwab CE, Huber WW, Parzefall W, et al. Search for compounds that inhibit the genotoxic and carcinogenic effects of heterocyclic aromatic amines[J]. Critical Reviews in Toxicology, 2000, 30(1): 1-69
- [3] Liu MH. Hazards and preventive measures of plasticizers[J]. Journal of Green Science and Technology, 2013(4): 210-212 (in Chinese)  
刘明华. 塑化剂的危害与预防分析[J]. 绿色科技, 2013(4): 210-212
- [4] Guo XH, Ling DW. Modern Experimental Techniques for Lactic Acid Bacteria Research[M]. Beijing: Science and Technology

- Press, 2013: 53 (in Chinese)  
郭兴华, 凌代文. 乳酸细菌现代研究实验技术[M]. 北京: 科学技术出版社, 2013: 53
- [5] Hernandez-Mendoza A, Guzman-de-Pena D, Garcia HS. Key role of teichoic acids on aflatoxin B<sub>1</sub> binding by probiotic bacteria[J]. Journal of Applied Microbiology, 2009, 107(2): 395-403
- [6] El-Nezami H, Polychronaki N, Salminen S, et al. Binding rather than metabolism may explain the interaction of two food-grade *Lactobacillus* strains with Zearalenone and its derivative zearalenol[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(7): 3545-3549
- [7] El-Nezami H, Kankaanpää PE, Salminen S, et al. Physico-chemical alterations enhance the ability of dairy strains of lactic acid bacteria to remove aflatoxins from contaminated media[J]. Journal of Food Protection, 1998, 61(4): 466-468
- [8] Zhao HF, Zhou F, Qi YQ. Screening of *Lactobacillus* strains for their ability to bind Benzo(a)pyrene and the mechanism of the process[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 59: 67-71
- [9] Hateb S, Yue T, Mohamed O. Removal of patulin from apple juice using inactivated lactic acid bacteria[J]. Journal of Applied Microbiology, 2012, 112(5): 892-899
- [10] Zinedine A, Faid M, Benlemlih M. *In vitro* reduction of aflatoxin B<sub>1</sub> by strains of lactic acid bacteria isolated from Moroccan Sourdough bread[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2005, 1(7): 67-70
- [11] Kabak B, Var I. Factors affecting the removal of aflatoxin M<sub>1</sub> from food model by *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains[J]. Journal of Environmental Science and health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 2008(43): 617-624
- [12] Haskard C, El-nezami H, Kankaanpää PE, et al. Surface binding of Aflatoxin B<sub>1</sub> by lactic acid bacteria[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2001, 67(7): 3086-3091
- [13] Guo BH. Application technology of the *Lactobacillus acidophilus* in Fermented Milk[J]. Food Industry, 1999(1): 18-19 (in Chinese)  
郭本恒. 嗜酸乳杆菌在乳品中的应用技术[J]. 食品工业, 1999(1): 18-19
- [14] Pierides M, El-Nezami H, Peltonen K. et al. Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind aflatoxin M<sub>1</sub> in a food model[J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(5): 645-650
- [15] Knasmüller S, Steinkellner H, Hirschl AM, et al. Impact of bacteria in dairy products and of the intestinal microflora on the genotoxic and carcinogenic effects of heterocyclic aromatic amines[J]. Mutation Research, 2001, 480(81): 129-138
- [16] Niderkorn V, Boudra H, Morgavi DP. Binding of *Fusarium* mycotoxins by fermentative bacteria *in vitro*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 101(4): 849-856
- [17] Liu Y, Meng XC. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and their anti-tumor activity[J]. China Dairy Industry, 2008, 36(1): 39-43 (in Chinese)  
刘宇, 孟祥晨. 乳酸菌胞外多糖及其抗肿瘤活性[J]. 中国乳品工业, 2008, 36(1): 39-43
- [18] Peltonen K, El-Nezami H, Haskard C, et al. Aflatoxin B<sub>1</sub> binding by dairy strains of lactic acid bacteria and bifidobacteria[J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84(10): 2152-2156