

# 碳源对鼠李糖乳杆菌生长特性的影响

张玉律<sup>1</sup>, 张臣臣<sup>1</sup>, 陈大卫<sup>1</sup>, 黄玉军<sup>1</sup>, 黄莹萍<sup>2</sup>, 席文博<sup>2</sup>, 王春雷<sup>2</sup>, 顾瑞霞<sup>1\*</sup>

(1. 扬州大学, 江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室, 扬州 225009;

2. 统一企业(中国)投资有限公司, 昆山 215300)

**摘要:** **目的** 研究不同鼠李糖乳杆菌菌株对不同碳源的利用及生长特性。**方法** 在 600 nm 波长处测定 12 株鼠李糖乳杆菌在不同碳源条件下的吸光度, 并采用差异分析法和分类主成分分析法对其进行分析。**结果** 利用特定时间点的差异分析, 在葡萄糖作为主要碳源时, 各菌株之间的生长情况均没有显著差异( $P>0.05$ )。12 株菌在乳糖作为主要碳源时可以分为 4 个生长型, 在蔗糖作为主要碳源时可以分为 5 个生长型。主成分分类法在葡萄糖作为主要碳源时, 能将 12 株菌分为 7 个生长型, 在乳糖作为主要碳源时可分为 8 个生长型, 在蔗糖作为主要碳源时可分为 10 个类型。**结论** 不同鼠李糖乳杆菌菌株对不同碳源的利用存在差异, 表明菌株在碳源利用上具有菌株特异性, 同时不同菌株利用碳源的特异性会受到碳源种类的影响。

**关键词:** 鼠李糖乳杆菌; 生长特性; 不同碳源; 差异分析; 主成分分析

## Effect of carbon source on growth characteristics of *Lactobacillus rhamnosus*

ZHANG Yu-Lv<sup>1</sup>, ZHANG Chen-Chen<sup>1</sup>, CHEN Da-Wei<sup>1</sup>, HUANG Yu-Jun<sup>1</sup>, HUANG Ying-Ping<sup>2</sup>,  
XI Wen-Bo<sup>2</sup>, WANG Chun-Lei<sup>2</sup>, GU Rui-Xia<sup>1\*</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Dairy Biological Technology and Safety Control, Yangzhou University,  
Yangzhou 225009, China; 2. President Enterprises Food Company, Kunshan 215300, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the utilization of different carbon sources and growth characteristics of different *Lactobacillus rhamnosus* strains. **Methods** The absorbance of 12 strains under different carbon sources was measured at a wavelength of 600 nm, and analyzed by difference analysis and principal component analysis (PCA) classification. **Results** Using the difference analysis at specific time, there was no significant difference in growth between the strains with the main carbon source of glucose ( $P>0.05$ ). Totally 12 strains could be divided into 4 growth types with the main carbon source of lactose, 5 growth types with the main carbon source of sucrose. Using the PCA classification, 12 strains could be divided into 7 growth types with the main carbon source of glucose, 8 growth types with the main carbon source of lactose and 10 growth types with the main carbon source of sucrose. **Conclusion** Different *L. rhamnosus* strains utilize different carbon sources differently, indicating that the strains have strain specificity in carbon sources utilization, and the specificity of different strains using carbon sources can be affected by the types of carbon sources.

**KEY WORDS:** *Lactobacillus rhamnosus*; growth characteristics; different carbon sources; difference analysis; principal component analysis

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571855)、国家自然科学基金青年基金项目(31701627, 31801565)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China(31571855) and the National Natural Science Foundation Youth Fund Project of China (31701627, 31801565)

\*通讯作者: 顾瑞霞, 教授, 博士, 主要研究方向为乳品科学。E-mail: rxgu@yzu.edu.cn

\*Corresponding author: GU Rui-Xia, Professor, Ph.D, Jiangsu Key Laboratory of Dairy Biological Technology and Safety Control, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China. E-mail: rxgu@yzu.edu.cn

## 1 引言

2001 年, FAO/WHO 联合将益生菌定义为“摄入足够数量后, 对宿主健康提供益处的活的微生物”<sup>[1]</sup>, 被广泛应用的益生菌有乳杆菌、肠球菌和双歧杆菌等<sup>[2]</sup>。鼠李糖乳杆菌有较高的细胞黏附能力, 可以增强免疫防御、缓解急性腹泻、降低血脂、预防龋齿和小儿湿疹、减少呼吸道感染以及改善克罗恩病症状等<sup>[3-8]</sup>, 是研究和应用最为广泛的乳杆菌。而益生菌赋予的健康益处是菌株特异性的<sup>[9]</sup>, 所以在株的水平上鉴定区分鼠李糖乳杆菌十分重要。

生长能力是菌株基因特征和表达调控的具体表现, 菌株对碳源的利用能力存在差异。在不同碳源中测定不同菌株的生长能力, 其生长能力的差异有可能作为菌株的特征, 并作为菌株区分的参考。PCA 作为一种常用的多元统计分析方法, 可以实现对研究对象的简化与综合评价, 还表示观测值和变量的相似性<sup>[10]</sup>, 其主要思想是将高维数据投影到较低维空间, 提取多元事物的主要因素, 揭示其本质特征<sup>[11]</sup>, 其应用非常广泛。

乳酸菌的菌株依赖性的发酵特征, 基于代谢组学方法并联合 PCA 分析法是经常被使用的<sup>[12]</sup>, 然而其试验过程耗时长、样品处理较为繁琐。本研究基于不同菌株在不同碳源下的生长曲线数据, 采用显著性差异分析法和分类主成分分析法, 研究了不同鼠李糖乳杆菌在不同碳源下的生长特性差异, 为鼠李糖乳杆菌的菌株特异性研究及其在食品发酵工业的应用提供依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与仪器

#### 2.1.1 菌株及其来源

12 株鼠李糖乳杆菌(*L. rhamnosus*), 菌株编号分别为: 151m、BG、Bm01、F、grx10、grx19、hsryfm1301、LV1、LV108(江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室); LYO(丹尼斯克(中国)有限公司); CRL1505 和 SP1(意大利萨科(Clerici Sacco)公司)。

#### 2.1.2 主要试剂及培养基的配制

葡萄糖、乳糖、蔗糖、胰蛋白胍、无水乙酸钠、磷酸氢二钾等(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

MRS 肉汤培养基: 葡萄糖 20 g, 胰蛋白胍 10.0 g, 三水乙酸钠 5.0 g, 七水磷酸氢二钾 2.0 g, 柠檬酸三铵 2.0 g, 七水硫酸镁 0.2 g, 四水硫酸锰 0.05 g, 吐温-80 1 mL, 牛肉膏 10.0 g, 酵母膏 5.0 g, 溶于蒸馏水并加热溶解, 调节 pH 为 6.8±0.2, 然后定容至 1000 mL, 121 °C 灭菌 15 min, 室温保存备用。配制 MRS 固体培养基, 在 MRS 肉汤培养基的基础上, 再加入 15 g 琼脂条, 加热溶解即可。

不同碳源的 MRS 培养基: 将 MRS 肉汤培养基中的主要碳源葡萄糖换成 20 g 乳糖, 或者 20 g 蔗糖, 其他操作一致。

#### 2.1.3 主要仪器

JF-SX-500 全自动灭菌锅(日本 TOMY 公司); Olympus CX41 生物显微镜(日本 Olympus 公司); FP-110-C 自动生长曲线分析仪(芬兰 Bioscreen 公司)。

## 2.2 实验方法

### 2.2.1 菌株活化及其形态学特性

无菌条件下, 将 12 株菌的菌粉接种于 MRS 肉汤培养基, 37 °C 培养 24 h。挑取复苏的菌液在 MRS 固体培养基上划线分离, 挑取单菌落至 MRS 肉汤培养基中, 培养条件同上, 此为 1 代活化菌株。挑取 1 代菌液做革兰氏染色、油镜镜检, 确定纯化后, 拍照记录菌落形态, 4 °C 冰箱保存。

### 2.2.2 菌株生长稳定性检验

借鉴赵志文<sup>[13]</sup>测定生长曲线的方法, 并在此基础上略作修改。将活化 2 代的菌液按 3% 的接种量接种到 MRS 肉汤培养基中, 混匀后用移液枪精确吸取 300 μL 至蜂窝培养板, 每株菌做 3 个平行样。然后放入微生物自动生长曲线分析仪, 参数设置为 37 °C 培养 48 h, 每隔 15 min 读取 1 次数据。重复试验 3 次, 检验菌株生长的稳定性。

### 2.2.3 不同碳源条件下菌株的生长曲线

将活化 2 代的菌液按 3% 的接种量分别接种到不同碳源的 MRS 培养基, 按照 2.2.2 的方法, 测定菌株的生长曲线, 重复试验 5 次。

## 2.3 数据处理

利用 EXCEL 中的 PEARSON 函数, 计算各个菌株生长曲线的相关系数, 判断其生长稳定性。

选取各菌株在 10、20 和 30 h 的  $OD_{600\text{ nm}}$  做显著性差异分析。试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析, 结果以平均数±标准差表示, 并对数据进行差异显著性检验。

选取所有测定的时间点及其对应的  $OD_{600\text{ nm}}$  值, 利用 SIMCA 14.1 软件进行分类主成分分析, 考察不同菌株之间的生长情况的差异。

## 3 结果与分析

### 3.1 菌株的形态学特性

由图 1 可知, 各株鼠李糖乳杆菌的镜检图均呈现典型的杆菌形态, 均呈粗短的圆柱形。菌株 151m、BG、CRL1505、grx10、grx19、hsryfm1301、LYO 和 SP1 的菌体形态相似, 呈链状。菌株 Bm01、F、LV1 和 LV108 的菌体形态相似, 呈短链。因此, 在菌体形态上不同鼠李糖乳杆菌菌株无显著差异。

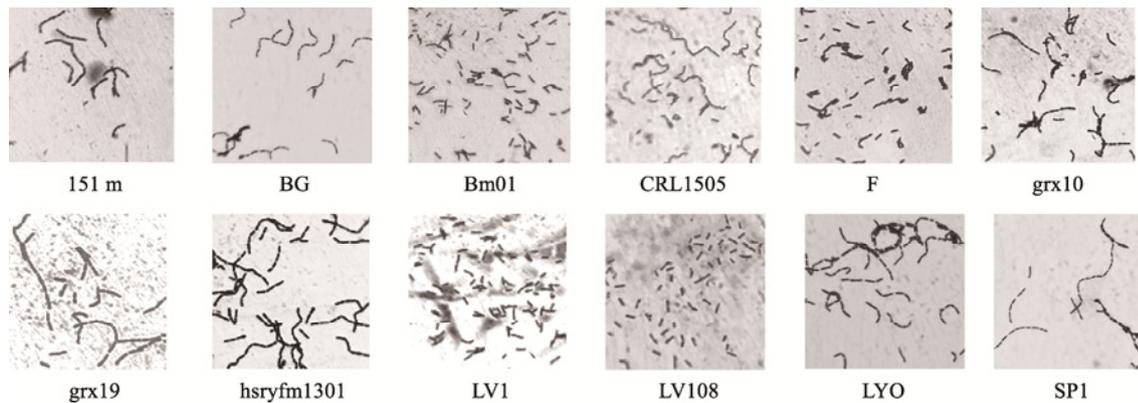


图 1 不同鼠李糖乳杆菌在 100×油镜下的镜检图片

Fig.1 Microscopic examination pictures of different *L. rhamnosus* under 100× oil mirror

### 3.2 生长稳定性分析

利用 PEARSON 函数, 得到菌株 3 次平行实验中两两的皮尔生(Pearson)积矩法相关系数  $r$ , 这是一个范围在-1.0 到 1.0 之间(包括-1.0 和 1.0 在内)的无量纲指数<sup>[14]</sup>, 反映了 2 个数据集合之间的线性相关程度。12 株鼠李糖乳杆菌在 3 次平行试验中的 PEARSON 相关系数均在 0.9 以上, 表明 3 次平行生长曲线之间具有强相关性, 试验菌株的生长曲线有着很好的重复性和稳定性。

### 3.3 不同碳源下的生长特性分析

#### 3.3.1 差异分析法

分别选取对数期、稳定初期和稳定后期的 3 个时间点: 10、20 和 30 h, 进行差异分析, 差异分析结果有相同肩标即为差异不显著。

由表 1 可知, 当葡萄糖作为主要碳源时, 在 10 h 和 20 h 时, 各菌株之间的生长情况均没有显著差异( $P>0.05$ )。在 30 h 时, grx10 与 LV108、LYO 的生长情况差异显著( $P<0.05$ ), 而这 3 株菌与其他 9 株菌的生长情况没有显著差异( $P>0.05$ )。

当乳糖作为主要碳源时, 10 h 时, 菌株 CRL1505 和 SP1 都表现出较低的  $OD_{600\text{nm}}$ , 且二者之间的生长情况没有显著差异( $P>0.05$ ), 并且与其他 10 株菌的生长情况差异显著( $P<0.05$ )。20 h 时, 菌株 CRL1505 和 SP1 同样表现出较低的  $OD_{600\text{nm}}$ , 此时, 二者之间的生长情况有显著差异( $P<0.05$ ), 并且与其他 10 株的生长情况差异显著( $P<0.05$ )。30 h 时, 菌株 SP1 表现为最低的  $OD_{600\text{nm}}$ , 菌株 LV108 表现为最高的  $OD_{600\text{nm}}$ , 二者之间的生长情况差异显著( $P<0.05$ ), 且分别与其他 10 株菌的生长情况差异显著( $P<0.05$ )。据此可以将 12 株鼠李糖乳杆菌分为 4 个生长型, CRL1505、SP1、LV108 以及剩余 9 株菌。

当蔗糖作为主要碳源时, 在所选取的 3 个时间点上, 菌株 CRL1505 均表现为最低的  $OD_{600\text{nm}}$ , 菌株 grx19 均表现为最高的  $OD_{600\text{nm}}$ , 二者之间的生长情况差异显著( $P<0.05$ ),

且分别与其他 10 株菌的生长情况差异显著( $P<0.05$ )。

当蔗糖作为主要碳源时, 除 CRL1505 和 grx19 外, 10 h 和 20 h 时, 其他 10 株菌的生长情况均没有显著差异( $P>0.05$ )。30 h 时, 菌株 LV108 和 LYO 都表现为较高的  $OD_{600\text{nm}}$ , 二者的生长情况差异显著( $P<0.05$ ), 且分别与其他 10 株菌的生长情况差异显著( $P<0.05$ )。据此可以将 12 株鼠李糖乳杆菌分为 5 个生长型, CRL1505、grx19、LV108、LYO 以及剩余 8 株菌。

综上所述, 在不同碳源条件下, 利用选取的时间点的差异分析, 12 株鼠李糖乳杆菌最多只能分为 5 个生长型(见表 2), 而在最常用的碳源葡萄糖条件下, 12 株菌的生长情况均无显著差异。12 株菌在 3 种碳源下的分类情况具有互补性。

#### 3.3.2 分类 PCA 方法

选取的时间点的差异分析法的区分效果一般, 下面将采用分类 PCA 的方法<sup>[15]</sup>对各个菌株所有时间点的  $OD_{600\text{nm}}$  值进行处理。将每一株鼠李糖乳杆菌分为一类, 共 12 类。分类表表示的是各样本属于所选择模型的可能性, 利用各类之间的分类表直观考察各组之间的相似和差异情况。表 3~5 是分类表的结果汇总, “√”表示两株菌的生长情况相似度高, “×”表示两株菌的生长情况相似度低。

由表 3 可知, 在葡萄糖作为主要碳源时, 151m 和 hsryfm1301 相似度高, Bm01 和 F、grx19 相似度高, CRL1505 和 LV1 相似度高, F 和 grx19、LV1 相似度高, 剩余 5 株菌作为 5 个独立的生长型均可区分。据此可将 12 株鼠李糖乳杆菌划分为 7 个生长型。

由表 4 可知, 在乳糖作为主要碳源时, Bm01 和 F、LV1 相似度高, F 和 grx10、grx19、LV1 相似度高, 剩余 7 株菌作为 7 个独立的生长型均可区分。据此可将 12 株鼠李糖乳杆菌划分为 8 个生长型。

由表 5 可知, 在蔗糖作为主要碳源时, 151m 和 hsryfm1301 相似度高, BG 和 grx10 相似度高, 剩余 8 株菌作为 8 个独立的生长型均可区分, 据此可将 12 株鼠李糖乳杆菌划分为 10 个生长型。

表 1 三种碳源下 12 株菌在不同时间点  $OD_{600\text{ nm}}$  值 ( $n=3$ )  
Table 1  $OD_{600\text{ nm}}$  of 12 strains at different time under three carbon sources ( $n=3$ )

序号	菌株	葡萄糖						乳糖						蔗糖					
		10 h		20 h		30 h		10 h		20 h		30 h		10 h		20 h		30 h	
		$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母	$OD_{600\text{ nm}}$	字母
1	151m	1.492±0.203 <sup>a</sup>		1.727±0.202 <sup>a</sup>		1.809±0.191 <sup>ab</sup>		1.171±0.094 <sup>b</sup>		1.508±0.047 <sup>cd</sup>		1.534±0.023 <sup>bc</sup>		0.552±0.028 <sup>acd</sup>		0.580±0.038 <sup>b</sup>		0.580±0.038 <sup>bc</sup>	
2	BG	1.309±0.417 <sup>a</sup>		1.598±0.330 <sup>a</sup>		1.641±0.337 <sup>ab</sup>		1.022±0.213 <sup>b</sup>		1.443±0.150 <sup>c</sup>		1.446±0.163 <sup>b</sup>		0.588±0.045 <sup>d</sup>		0.639±0.041 <sup>c</sup>		0.642±0.051 <sup>c</sup>	
3	Bm01	1.490±0.372 <sup>a</sup>		1.766±0.196 <sup>a</sup>		1.844±0.118 <sup>ab</sup>		1.18±0.082 <sup>b</sup>		1.584±0.023 <sup>cde</sup>		1.580±0.058 <sup>bc</sup>		0.549±0.028 <sup>cd</sup>		0.587±0.019 <sup>b</sup>		0.635±0.005 <sup>e</sup>	
4	CRL1505	1.311±0.302 <sup>a</sup>		1.632±0.250 <sup>a</sup>		1.709±0.201 <sup>ab</sup>		0.509±0.163 <sup>a</sup>		1.186±0.303 <sup>b</sup>		1.477±0.158 <sup>b</sup>		0.373±0.012 <sup>a</sup>		0.413±0.029 <sup>a</sup>		0.471±0.066 <sup>b</sup>	
5	F	1.403±0.363 <sup>a</sup>		1.681±0.216 <sup>a</sup>		1.751±0.173 <sup>ab</sup>		1.072±0.047 <sup>b</sup>		1.480±0.062 <sup>cd</sup>		1.480±0.115 <sup>b</sup>		0.509±0.008 <sup>bc</sup>		0.573±0.021 <sup>b</sup>		0.598±0.028 <sup>bc</sup>	
6	grx10	1.314±0.368 <sup>a</sup>		1.485±0.313 <sup>a</sup>		1.489±0.360 <sup>a</sup>		0.990±0.106 <sup>b</sup>		1.420±0.062 <sup>c</sup>		1.408±0.111 <sup>b</sup>		0.547±0.017 <sup>cd</sup>		0.590±0.01 <sup>b</sup>		0.591±0.014 <sup>bc</sup>	
7	grx19	1.574±0.219 <sup>a</sup>		1.829±0.105 <sup>a</sup>		1.862±0.086 <sup>ab</sup>		1.200±0.123 <sup>b</sup>		1.630±0.058 <sup>cde</sup>		1.685±0.077 <sup>c</sup>		0.682±0.04 <sup>c</sup>		1.124±0.017 <sup>e</sup>		1.273±0.031 <sup>f</sup>	
8	hsryfm1301	1.507±0.192 <sup>a</sup>		1.744±0.180 <sup>a</sup>		1.827±0.167 <sup>ab</sup>		1.190±0.133 <sup>b</sup>		1.555±0.073 <sup>cde</sup>		1.574±0.054 <sup>bc</sup>		0.547±0.030 <sup>cd</sup>		0.577±0.042 <sup>b</sup>		0.578±0.043 <sup>bc</sup>	
9	LV1	1.544±0.307 <sup>a</sup>		1.775±0.182 <sup>a</sup>		1.820±0.138 <sup>ab</sup>		1.143±0.059 <sup>b</sup>		1.560±0.078 <sup>cde</sup>		1.540±0.136 <sup>bc</sup>		0.508±0.02 <sup>bc</sup>		0.540±0.011 <sup>b</sup>		0.563±0.010 <sup>b</sup>	
10	LV108	1.227±0.236 <sup>a</sup>		1.769±0.153 <sup>a</sup>		1.907±0.107 <sup>b</sup>		1.196±0.158 <sup>b</sup>		1.741±0.056 <sup>c</sup>		1.868±0.007 <sup>d</sup>		0.477±0.024 <sup>b</sup>		0.661±0.026 <sup>cd</sup>		0.849±0.044 <sup>e</sup>	
11	LYO	1.631±0.204 <sup>a</sup>		1.909±0.135 <sup>a</sup>		1.952±0.097 <sup>b</sup>		1.129±0.095 <sup>b</sup>		1.677±0.008 <sup>de</sup>		1.708±0.013 <sup>c</sup>		0.593±0.023 <sup>d</sup>		0.689±0.031 <sup>d</sup>		0.732±0.022 <sup>d</sup>	
12	SP1	1.566±0.300 <sup>a</sup>		1.806±0.183 <sup>a</sup>		1.867±0.122 <sup>ab</sup>		0.467±0.011 <sup>a</sup>		0.573±0.027 <sup>a</sup>		0.583±0.033 <sup>a</sup>		0.498±0.038 <sup>bc</sup>		0.575±0.019 <sup>b</sup>		0.578±0.019 <sup>bc</sup>	

注: 同列数据肩标字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 字母相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。



表 5 蔗糖作为主要碳源时各菌株两两比较的结果  
Table 5 Comparison results of each strain with the main carbon source of sucrose

菌株	151m	BG	Bm01	CRL1505	F	grx10	grx19	hsryfm1301	LV1	LV108	LYO	SP1
151m		√	√	√	√	√	√	×	√	√	√	√
BG			√	√	√	×	√	√	√	√	√	√
Bm01				√	√	√	√	√	√	√	√	√
CRL1505					√	√	√	√	√	√	√	√
F						√	√	√	√	√	√	√
grx10							√	√	√	√	√	√
grx19								√	√	√	√	√
hsryfm1301									√	√	√	√
LV1										√	√	√
LV108											√	√
LYO												√
SP1												

表 6 12 株菌在不同碳源条件下基于分类 PCA 划分的生长型  
Table 6 Growth patterns of 12 strains based on PCA classification under different carbon sources

主要碳源	生长型数量/个	具体分类
葡萄糖	7	151m 和 hsryfm1301; Bm01 和 CRL1505、F、grx19 以及 LV1; 剩余 5 株菌作为 5 个独立的生长型
乳糖	8	Bm01 和 F、grx10、grx19 以及 LV1; 剩余 7 株菌作为 7 个独立的生长型
蔗糖	10	151m 和 hsryfm1301; BG 和 grx10; 剩余 8 株菌作为 8 个独立的生长型

综上所述, 在不同碳源条件下利用分类 PCA 分析方法, 最多可以将 12 株鼠李糖乳杆菌划分为 10 个生长型(见表 6)。菌株 151m 和 hsryfm1301 在葡萄糖和蔗糖为主要碳源的培养基中的生长情况相似度高, 菌株 Bm01 和 F 在葡萄糖和乳糖为主要碳源的培养基中的生长情况相似度高, 菌株 F 和 grx19、LV1 在葡萄糖和乳糖为主要碳源的培养基中的生长情况相似度高。12 株菌在 3 种碳源下的分类情况具有互补性。

#### 4 结论与讨论

利用特定时间点的差异分析, 在葡萄糖作为主要碳源时, 各菌株之间的生长情况均没有显著差异( $P>0.05$ ), 在乳糖作为主要碳源时可以将 12 株鼠李糖乳杆菌分为 CRL1505、SP1、LV108 以及剩余 9 株菌等 4 个生长型, 在蔗糖作为主要碳源时可以将 12 株鼠李糖乳杆菌分为 CRL1505、grx19、LV108、LYO 以及剩余 8 株菌等 5 个生长型。该方法对不同鼠李糖乳杆菌菌株的区分不甚理想, 但是不同碳源下各菌株生长情况的差异有所不同, 表明了不同菌株的生长差异表现受碳源的影响。

PCA 分类法在葡萄糖作为主要碳源时能将 12 株菌分为 7 个生长型, 在乳糖作为主要碳源时可分为 8 个生长型, 在蔗糖作为主要碳源时可分为 10 个生长型。总体而言, 利用 PCA 分类法可以有效区分不同的鼠李糖乳杆菌。

已有研究发现, 乳酸菌在免疫调节作用、发酵豆乳的能力等方面均具有菌种特异性<sup>[16,17]</sup>。本研究发现, 在不同碳源条件下菌株之间差异程度的不一致, 比如 151m 和 hsryfm1301 在葡萄糖和蔗糖中相似度高, 而在乳糖中的生长情况没有相似性。综上所述, 菌株的生长特性具有菌株特异性, 不同鼠李糖乳杆菌对不同碳源的利用存在差异, 表明了不同碳源条件会影响菌株生长情况的特异性, 这和 Toplaghaltsyan 等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。并且, 测试碳源种类越多, 菌株的生长能力差异越为明显。

#### 参考文献

- [1] 吉梦馨. 具有调节肠道动力作用益生乳杆菌的筛选与评价[D]. 无锡: 江南大学, 2018.  
Ji MX. Screening and evaluation of probiotic *Lactobacillus* strains with function for regulating intestinal motility [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.

- [2] Ouwehand AC, Salminen S, Isolauri E. Probiotics: An overview of beneficial effects [J]. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002, 82(1-4): 279-289.
- [3] Verdenelli MC, Ghelfi F, Silvi S, *et al.* Probiotic properties of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus paracasei* isolated from human faeces [J]. *Eur J Nutr*, 2009, 48(6): 355-363.
- [4] Kaila M, Isolauri E, Soppi E, *et al.* Enhancement of the circulating antibody secreting cell response in human diarrhea by a human *Lactobacillus* strain [J]. *Pediatr Res*, 1992, 32(2): 141-144.
- [5] Guandalini S, Pensabene L, Zikri MA, *et al.* *Lactobacillus* GG administered in oral rehydration solution to children with acute diarrhea: A multicenter European trial [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2000, 30(1): 54-60.
- [6] 陈大卫. 辅助降血脂益生乳酸菌的筛选及其对高血脂大鼠肠道菌群的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2015.  
Chen DW. Screening of auxiliary hypolipidemic properties of probiotic and its impact on the intestinal microbiota of hyperlipidemia rat model [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015.
- [7] Segers ME, Lebeer S. Towards a better understanding of *Lactobacillus rhamnosus* GG-host interactions [J]. *Microb Cell Factor*, 2014, 13(1): S7.
- [8] Gupta P, Andrew H, Kirschner BS, *et al.* Is *Lactobacillus* GG helpful in children with Crohn's disease? Results of a preliminary, open-label study [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2000, 31(4): 453-457.
- [9] Shah NP. Functional cultures and health benefits [J]. *Int Dairy J*, 2007, 17(11): 1262-1277.
- [10] Abdi H, Williams LJ. Principal component analysis [J]. *Wiley Interdiscipl Rev*, 2010, 2(4): 433-459.
- [11] 赵善. 主成分分析方法综述[J]. *软件工程*, 2016, 19(6): 1-3.  
Zhao Q. A review of principal component analysis [J]. *Software Eng*, 2016, 19(6): 1-3.
- [12] Tomita S, Saito K, Nakamura T, *et al.* Rapid discrimination of strain-dependent fermentation characteristics among *Lactobacillus* strains by NMR-based metabolomics of fermented vegetable juice [J]. *PLoS One*, 2017, 12(7): 1-18.
- [13] 赵志文. 乳酸菌混合发酵对乳饮料辅助降血脂功能的影响研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.  
Zhao ZW. Impact of mixed fermentation of lactic acid bacteria on assisting hypolipidemic function of milk beverage [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.
- [14] 陈功平, 王红. 改进 Pearson 相关系数的个性化推荐算法[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 47(6): 940-944.  
Chen GP, Wang H. A personalized recommendation algorithm on improving pearson correlation coefficient [J]. *J Shandong Agric Univ( Nat Sci Ed)*, 2016, 47(6): 940-944.
- [15] Jos A, Moreno I, González AG, *et al.* Differentiation of sparkling wines (cava and champagne) according to their mineral content [J]. *Talanta*, 2004, 63(2): 377-382.
- [16] 孙进. 乳酸菌肠道黏附及其菌体或肽聚糖免疫调节作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.  
Sun J. Study on intestinal adhesion of lactic acid bacteria and immunomodulation of its cells or peptidoglycan [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [17] 王水泉, 包艳, 张延超, 等. 具有潜在益生特性的发酵乳杆菌在豆乳中的发酵特性[J]. *中国乳品工业*, 2010, 38(5): 7-12.  
Wang SQ, Bao Y, Zhang YC, *et al.* Fermentation properties of potential probiotic *Lactobacillus fermentum* in soymilk [J]. *China Dairy Ind*, 2010, 38(5): 7-12.
- [18] Toplaghalsyan A, Bazukyan I, Trchounian A. The effects of different carbon sources on the antifungal activity by lactic acid bacteria [J]. *Curr Microbiol*, 2017, 74(2): 168-174.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



张玉律, 硕士, 主要研究方向为乳品科学。

E-mail: zhangyulv@163.com

顾瑞霞, 博士, 教授, 主要研究方向为乳品科学。

E-mail: rxgu@yzu.edu.cn