

# 乳酸菌发酵乳血管紧张素转化酶抑制活力的比较研究

王 宇, 田丰伟, 陈 卫, 赵建新, 张 灏

(江南大学食品学院 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡, 214122)

**摘 要** 以 18 种共计 61 株乳酸菌为研究对象, 比较了乳酸菌发酵脱脂乳的血管紧张素转化酶抑制活力 (ACE 抑制活力), 并探讨了 ACE 抑制活力与 pH 值、滴定酸度、蛋白水解度的关系。结果表明, 乳杆菌 ACE 抑制活力最强, 双歧杆菌次之, 链球菌、乳球菌、明串珠菌和片球菌 ACE 抑制活力很低。ACE 抑制活力最高的是 *Lactobacillus helveticus* 6024, 发酵 28 h 后 ACEI% 可达到 80% 以上, 其 OPA 指数可达到 0.800 以上, 而球菌的 ACE 抑制活力和蛋白水解能力都很低, 甚至检测不到。乳酸菌产酸能力做为一个单一因素与 ACE 抑制率没有明显相关性 (Spearman 相关系数  $r_s=0.526$ ), 乳酸菌的蛋白水解能力与 ACE 抑制率具有显著的正相关性 (Spearman 相关系数  $r_s=0.938$ )。通过对 2 株产 ACE 抑制活力高的 *L. helveticus* 6024 和 *L. helveticus* T16 的研究发现, 其共同特点是产酸能力和蛋白水解能力都很强。

**关键词** ACE 抑制活力, 乳酸菌, 蛋白水解活力, 发酵乳

乳蛋白蕴含很多生物活性肽段, 这些肽以非活性的稳定状态存在于蛋白分子中, 可以通过体内或者体外的酶水解作用将这些功能肽释放出来, 包括类吗啡肽 (Opioid peptides)、抗血栓肽 (Antithrombotic peptides)、酪蛋白磷酸肽 (Casein phosphopeptides)、免疫调节肽 (Immunomodulating peptides)、抗菌肽 (Antimicrobial peptides) 以及血管紧张素转化酶抑制肽 [AngiotensinI-Converting Enzyme (ACE) inhibitory peptides, 简称 ACE 抑制肽<sup>[1, 2]</sup>。近年来, 研究发现一些发酵乳制品 (例如日本的 Calpis 酸乳、芬兰的 Valio 发酵乳制品) 具有辅助抗高血压作用, 就是得益于乳酸菌在发酵酸乳过程中, 利用乳酸菌的蛋白酶解系统酶解乳蛋白, 释放出具有 ACE 抑制活性的短肽。它们能与 ACE 活性中心结合, 并且一旦与之结合就难于释放出来, 从而阻碍血管紧张素 I 转化成为血管紧张素 II 以及缓激肽分解为失活片段, 起到降低血压的作用<sup>[3, 4]</sup>。

Yamamoto 等人发现发酵酸乳对自发性高血压大白鼠具有降血压功能<sup>[5]</sup>, 并且由 Yasunori Nakamura 等人将 *Lactobacillus helveticus* 和 *Saccharomyces cerevisiae* 混菌发酵的酸奶中的降血压肽 Val-Pro-Pro 和 Ile-Pro-Pro 分离纯化出来<sup>[6]</sup>, 此后国内外先后有学者报道了一些乳酸菌发酵乳的乳清中含有 ACE 抑制肽<sup>[7~11]</sup>, 但都是对单一菌种或单个菌株进行的研究, 对于乳酸菌发酵乳 ACE 抑制活性在乳酸菌属、种之间的分布规律、及其影响因素却鲜有报道。

本文以实验室保存的 6 个属内 (乳杆菌属、链球菌属、乳球菌属、明串珠菌属、片球菌属和双歧菌属) 18 种共计 61 株常见发酵乳酸菌为研究对象, 研究发酵脱脂牛乳后 ACE 抑制率在乳酸菌种属间的分布规律, 同时考察各菌株的蛋白水解活性、产酸能力与 ACE 抑制率之间的联系, 为体外筛选抗 ACE 抑制活性的乳酸菌提供依据, 对于开发具有降血压的乳酸菌发酵食品有着重要意义。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料与试剂

#### 1.1.1 乳酸菌菌株

实验菌株及来源见表 1。

#### 1.1.2 主要试剂

血管紧张素转化酶 (ACE), Sigma 公司; 马尿酸组氨酸亮氨酸 (HHL), Sigma 公司; 脱脂奶粉, 新西兰乳品公司; 其它试剂为国产分析纯试剂。

#### 1.1.3 培养基

乳杆菌活化培养基, MRS 液体培养基, Merck 公司; 乳球菌活化培养基, Elliker 液体培养基; 双歧杆菌活化培养基, TPY 培养基<sup>[12]</sup>。

### 1.2 主要仪器

UV-2100 紫外分光光度计, 尤尼柯 (上海) 仪器有限公司; 生化培养箱, 南京实验仪器厂; 微型漩涡混合仪, 上海沪西分析仪器厂; UNIVERSAL 32R 冷冻离心机, 德国 Andreas Hettich GmbH & Co Kc; 320-S pH 计, Mettler-Toledo 公司; 其它为实验室常规设备。

第一作者: 硕士研究生 (陈卫为通讯作者)。

收稿日期: 2007-09-24, 改回日期: 2007-11-21

1.3 实验方法

1.3.1 发酵乳的制备

菌种首先在液体培养基中活化3代以上,再以3%体积比的接种量转接到质量分数为11%的脱脂乳(115℃,15min灭菌)中,活化3代以上,直到菌种活力完全恢复。然后再将各菌以3%体积比的接种量接入到11%脱脂乳中,37℃发酵24h后,取样品测定pH、滴定酸度、蛋白水解活力、ACE抑制率。

1.3.2 pH值测定

用Mettler-Toledo公司pH计测定。

1.3.3 滴定酸度的测定

参见《现代乳品工业手册》中吉尔涅尔度方法<sup>[13]</sup>,结果以°T表示。

1.3.4 ACE抑制率的测定

样品预处理以及ACE抑制率的测定参考Cushman和Cheung的方法<sup>[14]</sup>稍做改进。发酵乳4℃下8 000×g冷冻离心15min,取上清液用5 mol/L的NaOH调节pH至8.3,再以8 000×g冷冻离心15min后取上清液,稀释待测。ACE抑制活力的计算公式为:

ACE抑制率(ACEI/%)= $\frac{OD_A-OD_B}{OD_A-OD_C}$

OD<sub>A</sub>为不存在抑制剂时的吸光值,此为完全反应吸光值;OD<sub>B</sub>为存在抑制剂与ACE时的吸光值,此为抑制剂作用的吸光值;OD<sub>C</sub>为抑制剂与ACE都不存在时的吸光值,此为空白反应的吸光值。

1.3.5 乳酸菌蛋白水解活力的测定<sup>[15]</sup>

采用邻苯二甲醛(OPA)法进行测定,发酵乳样品按参考文献<sup>[15]</sup>的方法处理后取150 μL加入3 mL OPA试剂,混匀后,在室温下反应2 min,于340 nm处测吸光度,未接菌的灭菌乳做为空白对照,两者吸光度的差值(ΔOD<sub>340 nm</sub>)作为“OPA指数”表示乳酸菌水解牛乳蛋白产生游离氨基的量,对应标准曲线得出相当于酪氨酸的量。标准线的绘制,以配成不同浓度酪氨酸的标准液150 μL加3 mL OPA反应制成,结果见图1。

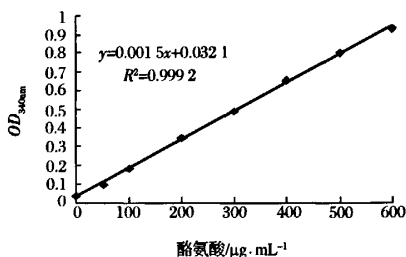


图1 酪氨酸标准曲线

1.3.6 发酵乳中乳酸菌生物量测定<sup>[16]</sup>

参照参考文献<sup>[16]</sup>的方法测定。

2 实验结果与分析

2.1 乳酸菌菌种与其发酵乳ACE抑制率的关系

61株乳酸菌37℃发酵脱脂乳24h后,发酵乳的pH值、滴定酸度、蛋白水解活力和ACE抑制率的结果见表1。

表1 部分乳酸菌发酵11%脱脂复原乳产酸、蛋白水解度和ACE抑制率的测定结果(37℃发酵24h)

| 编号 | 菌种   | pH值  | 滴定酸度/°T | ΔOD <sub>340nm</sub> | ACEI/% |
|----|--|------|---------|----------------------|--------|
| 1  | <i>L. helveticus</i> 6024 <sup>(4)</sup>                                 | 3.25 | 211.2   | 0.782                | 76.8   |
| 2  | <i>L. helveticus</i> T16 <sup>(2)</sup>                                  | 3.58 | 216.3   | 0.801                | 60.2   |
| 3  | <i>L. helveticus</i> B1403 <sup>(5)</sup>                                | 3.59 | 149.8   | 0.975                | 53.3   |
| 4  | <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>delbrueckii</i> 20256 <sup>(4)</sup>     | 4.31 | 82.1    | 0.588                | 49.8   |
| 5  | <i>L. casei</i> BD- II <sup>(3)</sup>                                    | 4.07 | 113.1   | 0.551                | 48.5   |
| 6  | <i>L. plantarum</i> 069 <sup>(1)</sup>                                   | 4.36 | 83.2    | 0.46                 | 42.2   |
| 7  | <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> L4 <sup>(1)</sup>         | 3.45 | 216.5   | 0.492                | 40.2   |
| 8  | <i>L. acidophilus</i> LA <sup>(1)</sup>                                  | 4.56 | 97.5    | 0.471                | 38.6   |
| 9  | <i>L. fermentum</i> P. C. C <sup>(2)</sup>                               | 4.67 | 83      | 0.388                | 34.3   |
| 10 | <i>S. salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> BCRC14085 <sup>(2)</sup> | 4.46 | 74      | 0.377                | 31.7   |
| 11 | <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> DSM001 <sup>(1)</sup>     | 3.89 | 193.6   | 0.422                | 28.3   |
| 12 | <i>Bifidobacterium longum</i> BRCR14634 <sup>(2)</sup>                   | 4.92 | 61.3    | 0.209                | 26.8   |
| 13 | <i>B. breve</i> BRCR14634 <sup>(2)</sup>                                 | 4.63 | 82.6    | 0.211                | 26.6   |
| 14 | <i>B. infantis</i> BCRC14602 <sup>(2)</sup>                              | 5.05 | 56      | 0.228                | 24.9   |
| 15 | <i>L. casei</i> subsp. <i>casei</i> 20296 <sup>(4)</sup>                 | 5.11 | 67.8    | 0.109                | 24.4   |
| 16 | <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> X67 <sup>(2)</sup>        | 4.88 | 80      | 0.185                | 22.4   |
| 17 | <i>B. adolescentis</i> BCRC14606 <sup>(2)</sup>                          | 4.93 | 82.2    | 0.258                | 21.1   |
| 18 | <i>B. bifidum</i> BCRC14615 <sup>(2)</sup>                               | 4.91 | 68.5    | 0.225                | 21.1   |
| 19 | <i>S. salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> DSM002 <sup>(1)</sup>    | 4.59 | 95.1    | 0.092                | 20.8   |

续表 1

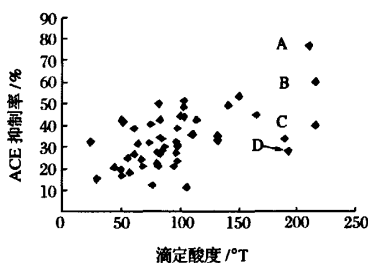
| 编号 | 菌 种   | pH 值 | 滴定酸度/°T | $\Delta OD_{340nm}$ | ACEI/% |
|----|---|------|---------|---------------------|--------|
| 20 | <i>L. rhamnose</i> GG ATCC53103 <sup>2)</sup>                                   | 5.04 | 51.2    | 0.07                | 16.7   |
| 21 | <i>L. reuteri</i> 6226 <sup>4)</sup>  | 6.3  | 24.2    | 0.011               | <10.0  |
| 22 | <i>L. plantarum</i> L1003 <sup>1)</sup>   | 5.88 | 31.6    | 0.051               | <10.0  |
| 23 | <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> 20398 <sup>4)</sup>                      | 4.92 | 61.7    | 0.049               | <10.0  |
| 24 | <i>Lc. lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> 20406 <sup>4)</sup>                    | 5.47 | 42.4    | 0.062               | <10.0  |
| 25 | <i>Lc. leuconostoc</i> mesenteroides subsp. <i>cremoris</i> 12273 <sup>2)</sup> | 5.80 | 32.9    | 0.020               | <10.0  |
| 26 | <i>Pediococcus pentosaceus</i> 20536 <sup>4)</sup>                              | 5.28 | 48.9    | 0.025               | <10.0  |
| 27 | <i>P. acidilactici</i> 10344 <sup>4)</sup>                                      | 6.29 | 23.1    | 0.004               | <10.0  |

注明:16号菌为35℃发酵;<10.0表示ACE抑制率低于10.0%或未检测到;1)本实验室筛选并保存;2)台湾大学赠送;3)上海光明乳业技术中心提供;4)购自中国微生物菌种保藏中心;5)内蒙古农业大学张和平教授赠送。表1中只列出有代表性的乳酸菌,18种乳酸菌中至少有1株作为代表。

52株菌发酵脱脂乳后检测出ACE抑制活性,9株未检测到ACE抑制活性或者ACEI%低于10%,乳酸菌属、种、以及菌株个体之间ACE抑制活性存在差异。ACE抑制活性在属间分布规律是乳杆菌属>双歧杆菌属>链球菌属>乳球菌属、明串珠菌属、和片球菌属,“杆菌”优于“球菌”。瑞士乳杆菌、干酪乳杆菌和德氏乳杆菌相对较高,最高的是*L. helveticus* 6024,发酵24h后可以达到76.8%;双歧杆菌的ACE抑制活性非常接近,ACEI%分布在21.1~26.8%;只有4株球菌具有很低的ACE抑制活性,7株球菌检测不到ACE抑制活性,最高的*Streptococcus salivaris* subsp. *thermophilus*的ACEI%也只有31.7%,这与球菌的蛋白水解能力弱有关。

2.2 乳酸菌产酸性能与ACE抑制活性的关系

乳酸菌在乳中生长时将乳糖转化为乳酸使pH值下降、滴定酸度上升。图2是产酸能力(以滴定酸度表示)与ACE抑制率关系的散点图。



(图2中每个点代表1株乳酸菌;2参数间Spearman等级相关系数 $r_s = 0.526$ ;点A代表*L. helveticus* 6024,点B代表*L. helveticus* T16;点C代表*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* L4;点D代表*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* DSM001)

图2 不同乳酸菌产酸能力与ACE抑制率的关系

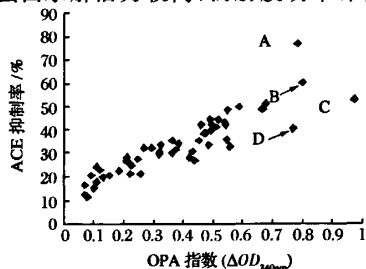
由图2可知,大部分乳酸菌发酵结束时滴定酸度都在50~150°T,通过SAS对2者相关性做

Spearman等级分析得出,ACEI%与滴定酸度之间相关性不显著(Spearman等级相关系数 $r_s = 0.526$ )。即使*L. helveticus* 6024和*L. helveticus* T16产酸能力强ACE抑制率高,也不能单从产酸能力来判断乳酸菌ACE抑制活性的大小。图2中标出的4株菌(A、B、C、D)在脱脂乳中均生长良好,产酸能力强,耐酸性好,可这3者的ACE抑制率差别非常大。乳酸菌的产酸能力只是ACE抑制活力的一个必要非充分条件。

2.3 乳酸菌蛋白水解活力与ACE抑制活性的关系

乳酸菌蛋白水解活力是依据乳蛋白被水解的程度来测定的,OPA指数越大表明乳酸菌的蛋白水解能力越强。

图3可以看出,各菌的蛋白水解能力存在差异,通过SAS对2者相关性做Spearman等级分析得出,ACE抑制率与乳酸菌的蛋白水解能力有非常显著的正相关性(Spearman等级相关系数 $r_s = 0.938$ ),乳酸菌ACE抑制活力随其蛋白水解活力增大而增大。杆菌的蛋白水解活力高于球菌,在乳杆菌属内瑞士乳杆菌的蛋白水解活力较高,而肠膜明串珠菌、片球菌



(图3中每个点代表1株乳酸菌;2参数间Spearman等级相关系数 $r_s = 0.938$ ;点A代表*L. helveticus* 6024;点B代表*L. helveticus* T16;点C代表*L. helveticus* B1403;点D代表*L. helveticus* C6402-1)

图3 不同乳酸菌蛋白水解能力和ACE抑制率的关系

的蛋白水解活力非常低。ACE 抑制活力高的菌 (ACEI% > 50%) 的发酵乳中游离氨基酸数处在 370~630  $\mu\text{g}$ (酪氨酸)/mL 水平。

在优选 ACE 活力高的乳酸菌时还要考虑其蛋白酶存在特异性。如图 4 中标出的 4 株 *L. helveticus* (A、B、C、D) 蛋白水解活力都很强, 并且相近, 但是 ACEI% 分别是 76.8%、61.2%、53.3% 和 40.4% 差距很大。这说明 *L. helveticus* 6024 不仅蛋白水解活力强, 并且释放 ACE 抑制肽的特异性好。

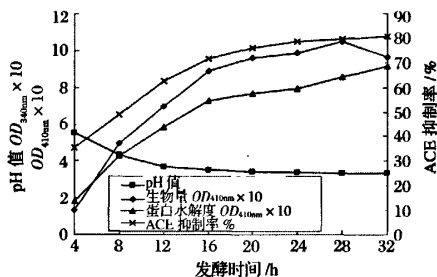


图 4 *L. helveticus* 6024 发酵过程的生物量、pH 值、蛋白水解度和 ACE 抑制率的变化情况

## 2.4 乳酸菌发酵乳 ACE 抑制率的动力学分析

将 2 株 ACE 抑制活力较高的 *L. helveticus* 6024、*L. helveticus* T16 连续培养 32 h, 每间隔 4 h 取样, 测其生物量、pH、蛋白水解度和 ACE 抑制率。

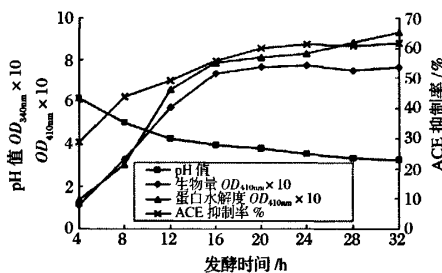


图 5 *L. helveticus* T16 发酵过程的生物量、pH 蛋白水解活力和 ACE 抑制率的变化情况

从图 4 和图 5 看出, 随着乳酸菌的生物量的增加蛋白水解活力和 ACEI% 随之上升, 在乳酸菌的生长过程中 ACE 抑制肽逐渐被释放出来。两株菌在发酵至 20 h 后生物量和 ACEI% 都趋于稳定的平衡状态, 这时 pH 值达到 3.6 以下, 蛋白水解还能缓慢进行, 可见其胞壁蛋白酶在酸性环境下依然起作用, 但这时乳蛋白水解程度的增加对 ACE 抑制肽的释放产生贡献小了, 可能是产生了更多的游离氨基酸或者释放出一些无 ACE 抑制活性的肽段。发酵至 28 h 以后 *L. helveticus* 6024 的 ACEI% 可达到 80% 以上。

这两株乳酸菌的共同特点是产酸能力和蛋白水解能力都很强, 发酵 24 h 后 pH 值能降到 3.60 以下, OPA 指数在 0.780 以上。

## 3 实验结论与展望

比较了常见的 6 个属内 18 种共计 61 株乳酸菌发酵脱脂乳后 ACE 抑制活力的大小, 并研究了 ACE 抑制活力与乳酸菌产酸能力和蛋白水解能力的关系, 得到结论如下:

(1) 乳酸菌的 ACE 抑制活力有差异很大, 乳杆菌属 > 双歧杆菌属 > 链球菌属 > 乳球菌属、明串珠菌属、和片球菌属。在 ACE 抑制活性相对较高的乳杆菌属内瑞士乳杆菌和干酪乳杆菌的 ACE 抑制活性高于其它菌种。

(2) 乳酸菌产酸能力与 ACE 抑制率没有显著相关性, 乳酸菌的蛋白水解能力与 ACE 抑制率有极显著的正相关性。ACE 抑制肽的释放还与胞壁蛋白酶特异性有关。

(3) 通过对 2 株产 ACE 抑制活力高的 *L. helveticus* 6024 和 *L. helveticus* T16 的研究发现, ACE 抑制活力高的乳酸菌的共同特点是产酸能力和蛋白水解能力都很强。

功能性发酵乳制品的开发有着广阔的前景, 在选择具有降血压的乳酸菌时往往始于体外 ACE 抑制率的测定, 但是 ACE 和 HHL 价格昂贵并且该实验操作费时、难度大。此研究结果为筛选具备 ACE 抑制活力的乳酸菌的筛选模型提供新的扩充方案。在初筛时, 可以先从在乳中生长良好的乳杆菌出发, 优先选择蛋白水解活力和产酸能力强的菌株个体, 复筛时再以 ACE 抑制率为目标, 这样可以提高筛选效率。

## 参考文献

- Adler-Nissen J. Some fundamental aspects of food protein hydrolysis. In *Enzymatic Hydrolysis of Food Proteins*[J]. Elsevier Applied Science Publishers, 2004, (1): 20~21
- Fitz Gerald RJ, Meisel H. Milk protein-derived peptide inhibitors of angiotensin-I-converting enzyme[J]. *Br J Nutr*, 2000, 84 (Suppl) 1: 33~37
- Nakamura Y Y N, Sakai K. Antihypertensive effect of sour milk and peptides isolated from it that are inhibitors to Angiotensin I-converting enzyme [J]. *J Dairy Sci*, 1995, 78: 1 353~1 357
- Pihlanto-Leppala A, Rokka T, Korhonen H. Angiotensin I Converting Enzyme Inhibitory Peptides Derived from Bo-

- vine Milk Proteins [J]. International Dairy Journal, 1998, 8:325~331
- 5 Naoyuki Y A A, Toshiaki T. Antihypertensive effects of different kinds of fermented milk in spontaneously hypertensive rats [J]. Biosci Biotech Bichem, 1994, 58:773~778
  - 6 Yasunori Nakamura N Y, Kumi Sakai, Akira Okubo. Purification and characterization of Angiotensin I-converting enzyme inhibitors from sour milk [J]. J Dairy Sci, 1995, 78:777~783
  - 7 Muguerza B, Ramos M, Sanchez E, et al. Antihypertensive activity of milk fermented by *Enterococcus faecalis* strains isolated from raw milk [J]. International Dairy Journal, 2006, 16:61~69
  - 8 Gobbetti M, Ferranti P, Smacchi E, Goffredi F, Addeo F. Production of angiotensin-I-converting-enzyme-inhibitory peptides in fermented milks started by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* SS1 and *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* FT4 [J]. Appl Environ Microbiol, 2000, 66:3 898~3 904
  - 9 Seppo L K O, Suomalainen T, Korpela R. The effect of a *Lactobacillus helveticus* LBK-16H fermented milk on hypertension—a pilot study on humans [J]. Milchwissenschaft, 2002, 57:124~127
  - 10 商靓靓, 陈卫, 田丰伟, 等. 具有血管紧张素转换酶抑制活性的乳酸菌筛选及特性研究 [J]. 中国乳品工业, 2006, 34(4):24~28
  - 11 黄文利, 陈卫, 田丰伟, 等. 干酪乳杆菌 lc-15 发酵乳血管紧张素转换酶体外抑制活性的研究 [J]. 食品研究与开发, 2006, 27(10):17~21
  - 12 杨洁彬, 郭兴华, 傅晓丽, 等. 乳酸菌-生物学基础及应用 [M]. 北京:中国轻工业出版社 1996. 78
  - 13 张和平, 张列兵. 现代乳品工业手册 [M]. 北京:中国轻工业出版社 2005. 217
  - 14 Cushman D W C H S. Spectrophotometric assay and properties of the angiotensin-converting enzyme of rabbit lung [J]. Biochem Pharmacol, 1971, 20:1 637~1 648
  - 15 Church F C S H E, Proter D H, et al. Spectrophotometric assay using o-phthalaldehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk protein [J]. J Dairy Sci, 1983, 66:1 219~1 227
  - 16 吕加平, 董晓波, 肖锐. 发酵乳品中乳酸菌生物量测定方法的研究 [J]. 肉品卫生, 1997(2):3~7

## Comparative Study on Angiotensin I-converting Enzyme Inhibitory of Lactic Acid Bacteria Fermented Milk

Wang Yu, Tian Fengwei, Chen Wei, Zhao Jianxin, Zhang Hao

(School of Food Science and Technology, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, 214122)

**ABSTRACT** The angiotensin-I-converting enzyme(ACE) inhibitory activity of fermented milk by 61 strains of lactic acid bacteria, and the relationship between ACE inhibitory activity and pH, value of titratable acidity, proteolysis were investigated. The results showed that the ACE inhibitory activities were obviously different among the 61 LABs, and *bactobacillus* ACE inhibitory activities were much higher than the *bifidobacterium*'s and *coccus*. *L. helveticus* 6024 — fermented milk had the highest ACEI% (80%) and its proteolytic activity could reach 0.800 expressed as OPA index. Most of *coccus* fermented milk had lower ACE inhibitory and proteolytic activities. The acid-productivity of LAB as a single factor had no correlation with ACE inhibitory activity(Spearman's rank correlation  $r_s=0.526$ ), while the proteolytic activity had a positive relation with ACE inhibitory activity(Spearman's rank correlation  $r_s=0.938$ ). It had also been found that both of *L. helveticus* strains with the highest ACE inhibitory rate had the strong acid—productivity and proteolytic activity.

**Key words** ACE inhibitory activity, lactic acid bacteria, proteolysis, fermented milk

信息窗

### 科学家研发新的可抑制食欲食品

科学家正研发一种技术——利用植物叶子和谷物中的提取物来干预人体消化进程,减少人的饥饿感。预计通过抑制食欲帮人减肥的零食、蛋糕、巧克力和饼干等食物将在2年内上市。

率先开发这种技术的是英国诺里奇食品研究所,它的研究经费来自政府的生物技术与生物科学研究委员会。

满足食欲的秘密在于一系列被称为半乳糖脂的天然脂肪分子,这种分子能在燕麦等谷物及大多数可食用的绿叶中找到,它会减缓消化道内脂肪的分解,随后刺激一种名为缩胆囊素的激素分泌,这种激素会向大脑发出“已经吃饱”的信息。

诺里奇食品研究所认为,可以在任何食品和饮料中加入半乳糖脂来抑制饥饿感。燕麦中半乳糖脂的含量很高,这或许能解释为何人们感觉燕麦制成的食品很容易填饱肚子。