

# 功能性食品中乳酸菌选择标准的研究进展

周波, 高红亮, 常忠义\*

(华东师范大学生命科学学院, 上海 200062)

**摘要:** 本文叙述了在功能性食品中乳酸菌应用情况及其选择性的标准包括生活力, 对肠胃粘膜的黏附能力, 对强酸和高胆汁的忍耐能力、蛋白酶的水解活性以及 $\beta$ -半乳糖苷酶活性等问题的研究进展, 并对乳酸菌在功能性食品中的应用前景作出展望。

**关键词:** 乳酸菌; 功能性食品; 选择标准

## Progress of Selection Criterion on Lactic Acid Bacteria in Functional Foods

ZHOU Bo, GAO Hong-liang, CHANG Zhong-yi\*

(School of Life and Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** This paper reviewed the application of lactic acid bacteria in functional foods and the criterion of selection, such as viability, adhesion to gastrointestinal, acid and bile tolerance, proteolytic enzymes activity and  $\beta$ -galactosidase activity and so on. The application prospect of the lactic acid bacteria in functional foods was discussed.

**Key words:** lactic acid bacteria; functional foods; criterion of selection

中图分类号: TS261.15

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2005)02-0255-05

功能性食品一般指具特定功能、适宜特定人群适用、具调节机体功能、不以治疗疾病为目的, 对人体健康、体能、及心智状态产生积极影响作用的食物<sup>[1]</sup>。功能性食品在食品中加入一些对人类有益的成分, 如一些植物化学药物、生物活性肽、 $\omega$ -3-多不饱和脂肪酸、益生菌或益生菌因而具有一些传统食品所不具有的功能, 如表1<sup>[2]</sup>。

乳酸菌是一种被公认的益生菌, 被应用到食品行业至今已有几个世纪了, 传统的食品如酸奶、奶酪就是通过乳酸菌发酵产生的, 目前它的功能性作用越来越被人们认识, 如刺激免疫系统, 从而起到抵抗疾病的作用<sup>[3]</sup>。

有人曾研究指出, 乳酸菌刺激免疫系统是通过最初的细胞表面信号接受受体或通过直接的淋巴细胞活动来调节免疫系统的<sup>[3]</sup>。现在乳酸菌在临床上已有应用, 如治疗腹泻等。但是并不是所有的乳酸菌都具有功能性作用, 有一些乳酸菌并没有功能性作用, 甚至有害。所以, 在选择乳酸菌作为功能性因子加到食品中去时, 应有一定的选择标准。作为益生菌的乳酸菌的选择标准不仅从最初的功能性结果目标逐渐转到现在的功能性作用的分子作用基础, 而且更重要的是要知道它的作用机制, 这是美国FDA对于食品和药物投放市场的一个标准。现在对于乳酸菌功能性作用的基础除了做一

表1 功能性食品中添加的功能性成分种类及其可能的功能

Table 1 The kinds of functional ingredients and it's functional effect which in functional foods

添加成分 Ingredients	可能的功能 Effect
植物化学成分	抗氧化剂, 降低CHD和癌症的发生率, 降低血压
生物活性肽	增强免疫能力, 降低血压提高对矿物质的生物利用率
膳食纤维	预防便秘, 降低结肠癌的发生, 降低血清胆固醇的含量
$\omega$ -3-多不饱和脂肪酸	减少心脏病和一些癌症的发生, 增强免疫能力
益生菌	增强胃肠道功能, 提高免疫能力, 降低结肠癌的发生
益生菌	增强胃肠道的功能, 提高免疫能力, 降低结肠癌的发生

收稿日期: 2003-12-01

\* 通讯作者

作者简介: 周波(1978-), 男, 硕士, 研究方向为食品微生物发酵。

些体外研究,如乳酸菌的粘附能力<sup>[4,5]</sup>、免疫反应的活性等。还运用现代高分子生物技术如PCR, cDNA 等对乳酸菌进行基因分析<sup>[6,7]</sup>,以了解那些同种但具不同功能性作用的乳酸菌在基因上的不同。本文就功能性食品中的乳酸菌的选择性问题作一综述。

### 1 乳酸菌的生活力

乳酸菌必须以高浓度( $> 10^7$ cfu/g)存在时才能起到有益的作用。但研究结果表明,在一些乳酸菌食物中,乳酸菌的存活力很低<sup>[8]</sup>。这可能有多种因素导致的如产物的酸度、在贮存过程中的酸化作用、产物中氧的浓度、氧通过包装袋的渗透进入、对其它菌种产生的抗菌物质的敏感作用和牛奶中营养物质的缺少等<sup>[9]</sup>,乳酸菌的生活力低使它功能性效果也降低,有关这方面研究得很多<sup>[10]</sup>。有人在25种不同类型的酸奶中,并且在两种不同的温度(12℃和6℃)下研究乳酸菌的生活力,发现不同类型的酸奶对乳酸菌的生活力有很大的影响,不同类型的酸奶在不同的温度下,它的生活力也有很大的区别,如有一种酸奶在6℃下保藏60d,它的乳酸菌的浓度还在 $10^7$ cfu/g以上<sup>[11]</sup>。

### 2 对酸和胆汁的忍耐能力

因为食品最终是要进入人的肠道和胃里才能消化,而人的肠道和胃里是高胆汁和强酸值的环境。所以筛选作为功能性因子的乳酸菌的一个最重要的标准就是它们能在强酸和高胆汁浓度肠道环境中有良好的忍耐能力。有人在体外研究13种乳酸菌对胆汁和酸的忍耐程度,发现绝大多数乳酸菌能在低的酸值(pH2、pH2.5和pH3)和高胆汁MRS培养基上能很好的生长,但其中仅有两种能在高于0.3%(W/V)的胆汁下能很好的生长<sup>[12]</sup>。但是有人研究也表明,在*L.acidophilus*和*Bifidobacterium* spp中仅有几种菌株在强酸和高胆汁浓度的环境中能很好的生存<sup>[13]</sup>,这说明并不是所有的乳酸菌能适应强酸和高浓度胆汁的环境。有人研究表明*Bifidobacterium longum*在酸性环境中能很好的生存,并且能适应比正常胆汁浓度高出4%的生存环境<sup>[14]</sup>。有人用羟丙基甲基纤维素,乙酸和丁二酸的混合物(HPMCAS)在体外研究乳酸菌对胆汁的忍耐程度,研究表明一定浓度的HPMCAS可以提高乳酸菌对胆汁的忍耐程度<sup>[15]</sup>。所以,酸度和胆汁浓度成为筛选乳酸菌的一个条件。

### 3 乳酸菌的黏附能力

黏附能力是筛选乳酸菌另一重要标准。乳酸菌在胃肠道强的黏附能力能提高它与其它细菌抢占在胃肠道中适合生存的能力,乳酸菌在胃肠道能很好生存的必要条

件就是与胃肠道细胞膜的黏附<sup>[16]</sup>。

然而并不是所有的乳酸菌能在胃肠道壁上黏附并生存繁殖。一般而言,选择的乳酸菌作为功能性食品中的功能性因子在肠道中要有竞争性优势和长期性的功能性效果<sup>[17]</sup>。如乳酸菌属中的双歧杆菌仅有一部分的菌株如*Bifidobacterium breve*, *B.longum*, *Bifidobacterium bifidum*和*Bifidobacterium infants*能很好黏附在胃肠壁上并生存繁殖,并且他们的黏附性质被研究<sup>[11]</sup>。双歧杆菌的黏附性质主要是以它们对上皮细胞尤其是Caco2和Ht-29细胞的黏附。研究表明,与Caco-2和Ht-29细胞直接接触是乳酸菌对于免疫系统的功能性作用条件,如增强白细胞和吞噬细胞对肠杆菌的吞噬能力的先决条件。研究表明,嗜酸乳酸菌的黏附部位是在肠的上部,而双歧杆菌却在肠的下部,尤其是在结肠。

在另一方面乳酸菌的黏附性质与乳酸菌的种类有关,研究表明,*Bifidobacterium* spp的黏附性质比*L.acidophilus*好,尤其是*B.infantis*和*B.longum*两种菌株。有人研究在6种嗜酸乳酸菌中仅有一种具黏附性质,而在9种双歧杆菌中就有两种<sup>[18]</sup>。

乳酸菌在宿主肠道粘膜上的黏附性质不光与黏附部位及菌种的种类有关,它还与宿主的年龄有关。有人在体外研究乳酸菌在不同年龄阶段人的肠道上的黏附能力,发现44%~46%的常用*Lactobacillus* GG, 23%~30%的*Bifidobacterium lactis* Bb-12, 9%~14%的*Lactobacillus johnsonii* LJ-1, 3%~10%的*Lactobacillus salivarius* LM2-118, *Lactobacillus crispatus* M247, *Lactobacillus paracasei* F19和2% of *L. crispatus* Mu5具有黏附能力,而且,所有的菌株在成年人的肠道粘膜上的黏附能力比在婴儿上的好<sup>[19]</sup>。

### 4 乳酸菌具有的蛋白水解酶的活性

乳酸菌的蛋白水解系统是其牛奶中生长和发酵牛奶所必需的先决条件。这些蛋白水解系统是由许多蛋白酶组成,其分子量较大,达到140,000kD,并且最适pH值在5.5~6.5间,它们把蛋白质水解成肽,进而肽酶水解肽成寡肽和氨基酸,以有利于乳酸菌的生长<sup>[20]</sup>。而这些由各种蛋白水解酶水解成的生物活性肽是影响功能性食品的最主要因素之一,所以乳酸菌在功能性食品中的应用应考虑它的各种蛋白水解酶的活性问题<sup>[21]</sup>。

最开始酸奶是用*Streptococcus thermophilus*和*L.delbrueckii* spp.*bulgaricus*作为发酵的菌株。*L.delbrueckii* spp.*bulgaricus*因为其具蛋白水解性质而产生必须氨基酸,从而与*S.thermophilus*具有很好的共生关系,前者为后者提供氨基酸。韩国研究者从15种奶酪中分离出十五种乳酸菌,发现有许多乳酸菌具蛋白水解活性<sup>[16]</sup>。有人从非洲的传统发酵食品中分离出许多乳

酸菌, 其中有的具有蛋白水解活性, 有的具有肽酶的活性, 但是并不是一种乳酸菌都具有这么多的性质, 只是一种乳酸菌只具有其中的一种或两到三种性质<sup>[22]</sup>, 因此, 乳酸菌混合在一起培养能有更好的效果。

在另一方面, 因为 *L.acidophilus* 和 *Bifidobacteria* 缺少蛋白水解活性, 所以在牛奶中生长很慢。如仅用一种乳酸菌发酵牛奶的话, 发酵时间长达 24h, 而混合应用乳酸菌的话, 大约只需 4h<sup>[9]</sup>。

不同的乳酸菌代谢产生的蛋白水解酶的活性高低和多少是不同的, 研究表明, *L.delbrueckii* spp. *bulgaricus* 和 *S.thermophilus* 比 *L.acidophilus* 和 *B. ifidobacteria* 高<sup>[23]</sup>。Shihata 和 Shah<sup>[24]</sup> 研究 *S.thermophilus*, *L.delbrueckii* spp. *bulgaricus*, *L.acidophilus* 和 *Bifidobacteria* 的蛋白水解能力, 发现 *S.thermophilus*, *L.delbrueckii* spp. *bulgaricus* 与一般的益生菌相比具高的蛋白水解活性, 在 7 株 *L.acidophilus* 菌株中就有一株具一些蛋白水解活性, 而在 14 株双歧杆菌中仅有 1 株具一些蛋白水解活性。也有人研究 9 种 *Streptococcus thermophilus*, 6 种 *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, 14 种 *Lactobacillus acidophilus* 和 13 种 *Bifidobacterium* spp. 的蛋白水解活性、氨肽酶、二肽酶、三肽酶和内肽酶活性。把那些表现出高的和低的蛋白水解活性的菌株在胞外和胞内进一步研究它们的肽酶活性, 发现有许多种氨基酸被 *S. thermophilus*, *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *L. acidophilus* strains 释放, 并且比 *Bifidobacterium* strains 释放的多。

再者, 乳酸菌代谢产生的蛋白水解酶是胞外酶还是胞内酶也与它的种类有关系。在所有被研究的乳酸菌中, 它们都能水解蛋白质成多肽或寡肽, 并且氨基酸肽酶的活性在胞外和胞内水平上都能检测得到, 但是胞外酶比胞内酶高很多, 并且 *L.delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *L. acidophilus*, 和 *Bifidobacterium* spp. whereas, *S. thermophilus* 在胞外有很高的二肽酶活性<sup>[25]</sup>。

因此, 一个筛选乳酸菌株的标准是它的蛋白水解活性。蛋白水解酶能水解牛奶中的酪蛋白, 使之降解为寡聚肽, 而寡聚肽最终被寡肽酶降解为寡肽和氨基酸。这对于 *L.acidophilus* 和 *Bifidobacteria* 这样难培养的微生物十分有利, 并且水解肽本身具有生物活性。

## 5 $\beta$ -半乳糖苷酶的活性

$\beta$ -半乳糖苷酶为降解乳糖所必须的酶, 要提高乳糖的水解效率就必须筛选高产  $\beta$ -半乳糖苷酶的益生菌株。乳酸菌产生的  $\beta$ -半乳糖苷酶的活性比一般的益生菌高, 乳酸菌产生的  $\beta$ -半乳糖苷酶在 50℃ 时, 它的活性和稳定性都还很高, 这样就提高了它在水解乳糖的效率, 由嗜热乳酸菌产生的  $\beta$ -半乳糖苷酶是胞外酶, 一

般产量很低, 近几年有人在进行提高其产量的研究, T Vasiljevic 等用不同的培养基研究其产量, 发现在乳清培养基中加入 MRS 有利于嗜热乳酸菌提高  $\beta$ -半乳糖苷酶的产量, 其活性在每毫升培养基中达到 5.491±0.116U<sup>[26]</sup>。有人研究常用于发酵牛奶的四种乳酸菌, 在连续超声波处理条件下细菌生长得比传统的差, 但是在静态的超声波处理条件下, 超声波能刺激乳酸菌释放  $\beta$ -半乳糖苷酶到培养基上来, 从而使得  $\beta$ -半乳糖苷酶总的活力提高。但是只有当  $\beta$ -半乳糖苷酶有效的释放出来, 乳糖才能很好的水解, 尤其是 *L.delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B-5b 和 *L.helveticuse* LH-17, 它们的乳糖水解程度高达 75%, 这相对于传统的发酵(40%)高很多<sup>[27]</sup>。

## 6 菌间的拮抗作用

菌间的拮抗作用主要是通过乳酸菌产生的代谢物起到拮抗的作用。乳酸菌一般产生三类物质, 一类是有机酸如乳酸和乙酸。由乳酸菌产生的乙酸或乳酸导致了肠道内的 pH 值的下降和低的氧化还原电势, 从而起到杀菌和抑菌的效果。

二类是一些如过氧化氢, 双乙酰和细菌素等一些抗菌物质<sup>[28,29]</sup>, 而所有乳酸菌产生的细菌素主要分三类, 一类是那些很小的肽, 如  $\alpha$ ,  $\beta$  不饱和酸。二类是那些热稳定的, 大分子量的肽类细菌素, 如 PA-1(ACH), 三类是那些热不稳定的, 他们大多数能有效的杀死致病微生物, 如肠溶素 A 等<sup>[30]</sup>。细菌素一般除了作用于细胞壁或细胞膜上外, 也能抑制细胞壁的生物合成或者是在细胞壁上形成孔, 导致细胞内液体的流失, 从而加速细菌的死亡。

三类是乳酸菌产生的有机物。它们也具有保护细菌本身的作用, 如麦芽糖<sup>[31]</sup>。

据报道, 有一些乳酸菌之间有相互拮抗作用<sup>[9]</sup>, 如 *L.acidophilus* 产生的细菌素能抑制几种细菌如 *L.acidophilus* spp. *bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus jugurti*, 和 *L.casei* 等, 酸奶中有一种或几种这样的菌, 由 *L.acidophilus* 产生的细菌素可能影响了 *L. delbrueckii* spp. *Bulgarcus* 和 *L.casei* 的生活力。有人发现 *B.infantis* 和 *B.longum* 在大豆牛奶中都能对 *L. bulgaricus* 有不利的影响<sup>[32]</sup>。

但是乳酸菌与一些酵母菌却有共生作用, 有人用酵母菌中的一种 *S. boulardii* 加到牛奶中, 它能刺激其他乳酸菌的生长。尽管 *S. boulardii* 没有能力利用乳糖, 但是它能利用有机酸, 半乳糖和葡萄糖, 并且它能产生一些气体和酒精, 这些都有利于乳酸菌的生长。有人研究乳酸菌与酵母联合发酵牛奶, 能使牛奶在 24h 后其酸度比单一乳酸菌发酵的酸度高 0.11%~0.21%。这说明酵母与乳酸菌联合发酵食品时能对后酸化起到一定的

缓冲作用,并且酵母可以为乳酸菌提供维生素,可溶性氮源,乳酸菌的代谢物也刺激了酵母的生长<sup>[33]</sup>。因此,乳酸菌混合应用于发酵食物中时,应首先被检测的是它们的拮抗作用和促进作用。

综上所述,筛选开发功能性食品的乳酸菌必须具最主要的几个标准:(1)必须有好的宿主来源,能刺激宿主本身固有益生菌的生长,本身及其代谢产物能够为宿主提供有益于健康的功能。(2)要有一定的生活力和足够的浓度,在使用和贮备期间,能够继续稳定地维持其活性。(3)必须具有黏附或生长在胃肠黏膜上的能力,并在与低 pH 值和高浓度胆汁接触时能很好的生长,能够在胃肠道内微生态环境中定植。(4)必须在宿主营养争夺,宿主微生物的拮抗作用及食品添加剂中能生活下来。(5)要有比较高的蛋白水解酶的活性和  $\beta$ -半乳糖苷酶的活性。

## 7 乳酸菌在功能性食品中应用的展望

虽然乳酸菌在食品中作为有益生菌的应用历史很久,并且它在体外对人体有益作用的研究目前已有许多,但对它在体内的作用机制还很不清楚,但它对人类健康的有益作用已得到承认,因此具很大的市场潜力价值,因此许多国家都在大力开发含有乳酸菌的产品,每年以 15%~20% 的速率增长,每年产值达三千三百万美元,其中欧洲、美国和日本占 90%,而我国在这几年也得到很快的发展。如果利用现代生物学技术如基因工程技术运用在食品上来,或者通过基因工程技术来改造乳酸菌,使她们大量表达我们所需的目的产物,通过基因工程手段来了解乳酸菌的代谢途径并加以改造,达到使乳酸菌提高目的产物。这已经在国外起得了一些成绩<sup>[34]</sup>,但是同样与其他基因技术的产品一样面临着安全和质量的问题<sup>[35, 36]</sup>。所以,就我个人认为,在将来要想充分发挥乳酸菌的益生作用,必须在以下几方面加以研究:

(1)首先要把它体内功能性作用机制从分子水平上研究透彻。

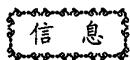
(2)研究好它与其他菌混合培养的问题,如拮抗作用,菌间促进作用。

(3)运用现代生物技术如基因工程技术,分子生物学技术等研究乳酸菌,并加以改造利用。

## 参考文献:

- [1] 张慧敏. 浅论功能性食品[J]. 北京农学院学报, 1999, 14(2): 34-37.
- [2] Berner L, O'Donnel J. Functional foods and health claims legislation: Application to dairy foods[J]. International Dairy Journal. 1998, (8): 355-362.
- [3] Martin L Cross. Microbes versus microbes: immune signals generated by probiotic lactobacilli and their role in protection against microbial pathogens[J]. FEMS Immunology and Medical Microbiology, 2002, 34(4): 245-253.
- [4] M H Coconnier, M F Bernet, G Chauviere, et al. Adhering heat-killed human *Lactobacillus acidophilus*, strain LB, inhibits the process of pathogenicity of diarrhoeagenic bacteria in cultured human intestinal cells[J]. J Diarrhoeal Dis Res, 1993, 11: 235-242.
- [5] M F Bernet, D Brassart, J R Neeser, et al. Adhesion of human bifidobacterial strains to cultured human intestinal epithelial cells and inhibition of enteropathogen-cell interactions[J]. Appl Environ Microbiol, 1993, 59: 4121-4128.
- [6] E E Vaughan, B Mollet, W M devos. Functionality of probiotics and intestinal Lactobacilli: lightn the tntestinal tract tunal[J]. Curr Opin Biotechnol, 1999, (10): 505-510.
- [7] J Walter, G W Tannock, A Tilsala-Timisjarvi, et al. Detection and identification of gastrointestinal *Lactobacillus species* by using denaturing gradient gel electrophoresis and species-specific PCR primers[J]. Appl Environ Microbiol, 2000, 66: 297-303.
- [8] Shah N P J F, Ravula R K. Populations of *L. acidophilus*, *Bifidobacterium* spp., and *Lactobacillus casei* in commercial fermented milk products biosci[J]. Microflora, 2000, 19(1): 35-39.
- [9] Dave R L, Shah N P. Viability of yogurt and probiotic bacteria in yogurts made from commerical starter culture[J]. International Dairy Journal, 1997, 7: 31-41.
- [10] Shah N P. Probiotic Bacteria: Selective encumbration and survival in dairy foods[J]. J Dairy Sci, 2000, 83: 894-907.
- [11] G A Birolo, J A Reinheimer, C G Vinderola. Viability of lactic acid microflora in different types of yoghurt[J]. Food Research International, 2000, 33: 799-805.
- [12] B Hyronimus, C Le Marrec. A Hadj Sassi A Deschamps acid and bile tolerance of spore-forming lactic acid bacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 61: 193-197.
- [13] Lankaputhra, W E V, et al. Survival of *L. acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. in the presence of acid and bile salts[J]. Cult. Dairy Prod, J, 1995, 30: 2-7.
- [14] Clark P A, et al. Selection of *Bifidobacteria* for use as dietary adjuncts in cultured dairy foods: II. Tolerance to simulated pH of human stomachs[J]. Cult. Dairy Prod, J, 1993, 28: 11-14.
- [15] M Stadler, H Viemstein. Optimization of a formulation containing viable lactic acid bacteria[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2003, 256: 117-122.
- [16] Bernet F M, et al. Adhesion of human bifidobacterial strains to cultured human intestinal epithelial cells and inhibition of enteropathogen-cell interaction[J]. Appl. Environ. Microbiol, 1993, 59: 4121-4128.
- [17] E J Schiffrin, D Brassart, AL Servin, et al. Immune modulation of blood leukocytes in humans by lactic acid bacteria: criteria

- for strain selection[J]. *Am J Clin Nutr*, 1997, 66: 515S-520S.
- [18] Lankaputhra W E V, et al. Adherence of probiotic bacteria to human colonic cells[J]. *Biosci Microflora*, 1998, 17: 105-113.
- [19] Pirkka V Kirjavainen, Arthur C Ouwehand, Erika Isolauri et al. The ability of probiotic bacteria to bind to human intestinal mucus[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 1998, 167(2): 185-189.
- [20] Jean law, Alfred haandrikman. Proteolytic Enzymes of lactic acid bacteria[J]. *International Dairy Journal*, 1997, (7): 1-11.
- [21] Emanuele Smacchi, Marco Gobetti. Bioactive peptides in dairy products: synthesis and interaction with proteolytic enzymes [J]. *Food Microbiology*, 2000, 17: 129-141.
- [22] Alan G Williams, Jean M Banks. Proteolytic and other Hydrolytic Enzyme Activities in Non-starter lactic acid bacteria (NSLAB) Isolated from cheddar cheese Manufactured in the United Kingdom. *International Dairy Journal*, 1997, (7): 763-774.
- [23] N A Olasupo, U Schillinger, W H Nolzappel. Studies on some technological properties of predominant lactic acid bacteria isolated from Nigerian fermented foods[J]. *Food Biotechnology*, 2001, 15(3): 157-167.
- [24] Dave R I, et al. Ingredients supplementation effects on viability of probiotic bacteria in yogurt[J]. *J Dairy Sci*, 1998, 81: 2804-2816.
- [25] A Shihata, N P Shah. Proteolytic profiles of yogurt and probiotic bacteria[J]. *International Dairy Journal*, 2000, 10: 401-408.
- [26] T Vasiljevic, P Jelen. Production of  $\beta$ -galactosidase for lactose hydrolysis in milk and dairy products using thermophilic lactic acid bacteria[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2001, (2): 75-85.
- [27] D Wang, M Sakakibara. Lactose hydrolysis and  $\beta$ -galactosidase activity in sonicated fermentation with *Lactobacillus* strains[J]. *Ultrasonic Sonochemistry*, 1997, (4): 255-261.
- [28] A Ostergaard, P K B. Embarek, C Wedell-Neergaard, et al. Characterization of anti-listerial lactic acid bacteria isolated from Thai fermented fish products[J]. *Food Microbiology*, 1998, 15: 223-233.
- [29] Sylvie Garneau, Nathaniel I Martin, John C Vederas. Tow-peptide bacteriocins produced by lactic acid bacteria[J]. *Biochimie*, 2002, 84: 577-592.
- [30] L O Sullivan, R P Ross, C Hill. Potential of bacteriocin-producing lactic acid bacteria for improvements in food safety and quality[J]. *Biochimie*, 2002, 84: 593-604.
- [31] H W Wisselink, R A Weusthuis, G Eggink, et al. Mannitol production by lactic acid bacteria: a review[J]. *International Dairy Journal*, 2002, 12: 151-161.
- [32] Yi-Chieh Wang, Roch-Chui Yu, Cheng-Chun Chou. Growth and survival of bifidobacteria and lactic acid bacteria during the fermentation and storage of cultured soymilk drinks[J]. *Food Microbiology*, 2002, 19: 501-508.
- [33] J K Mugula, J A Narvhus, T Sorhaug. Use of starter cultures lactic acid bacteria and yeasts in the preparation of togwa, a Tanzanian fermented food[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, 83: 307-318.
- [34] Michiel Kleerebezem, Jeroen Hugenholtz. Metabolic pathway engineering in lactic acid bacteria[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2003, 14: 232-237.
- [35] Pierre Renault. Genetically modified lactic acid bacteria: applications to food or health and risk assessment[J]. *Biochimie*, 2002, 84: 1073-1087.
- [36] Willem M de Vos. Safe and sustainable systems for food-grade fermentations by genetically modified lactic acid bacteria[J]. *International Dairy Journal*, 1999, (9): 3-10.



## 墨西哥科学家培育出防腹泻转基因蔬菜

墨西哥科学家最近利用转基因技术成功培育出可防治腹泻的蔬菜。动物实验结果表明,老鼠服用这些蔬菜之后可增强免疫力,预防腹泻的有效率达95%以上。

据当地媒体报道,这项科研项目的负责人塞尔希奥·罗萨莱斯介绍说,他们将大肠埃希氏菌基因植入菠菜、胡萝卜和莴菜等蔬菜后,这些蔬菜会在该基因编码控制下生成实际上对人体没有威胁的病菌蛋白质,进而刺激人体产生免疫反应,达到防治因大肠埃希氏菌引起的腹泻的效果。

科学家说,已培育出的这类转基因蔬菜具有良好性状,其种子也“继承”了防治腹泻的特性。罗萨莱斯说,动物实验目前已获成功,他们将在明年进行人体试验。科学家相信,这种新型转基因蔬菜将为缺少紧急医疗服务地区的居民以及贫困人口抵抗腹泻这一常见疾病提供帮助。