

发酵蔬菜中乳酸菌的功能性与安全性研究进展

胡晓清¹, 潘露¹, 王汝毅²

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122) (2. 重庆涪陵出入境检验检疫局, 重庆 408000)

摘要: 乳酸菌是发酵蔬菜制作过程中发挥重要作用的一类优势微生物, 可利用蔬菜中的可溶性成分进行乳酸发酵, 还能抑制有害微生物并发挥多重功能。本文首先对其最新研究进展做了归纳。近年来食品发酵微生物出现可转移耐药性问题, 成为国际关注热点。作者结合研究实践, 综述了可转移耐药性及其在发酵蔬菜乳酸菌中的研究现状, 以及发酵蔬菜中乳酸菌的控制策略。

关键词: 发酵蔬菜; 乳酸菌; 细菌素; 可转移耐药性; 直投式发酵剂

文章编号: 1673-9078(2012)11-1606-1611

Advances in the Functionality and Safety of *Lactic Acid Bacteria* from Fermented Vegetable

HU Xiao-qing¹, PAN Lu¹, WANG Ru-yi²

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

(2.Fuling Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Chongqing 408000, China)

Abstract: *Lactic acid bacteria* were regarded as the predominant species involved in the processing of fermented vegetable, for participating in lactic acid fermentation through utilizing soluble contents in vegetable, and inhibiting hazard microbes and playing multiple functions. This article reviewed the newest advances in this area. Recently, a new problem has appeared that transferable antibiotic resistance was revealed in the microorganism in food fermentation, and thus received much attention in international society. Based on the practice experience, transferable antibiotic resistance and the investigation in lactic acid bacteria involving in vegetable fermentation were reviewed, and finally discussed the related control strategy.

Key words: fermented vegetable; *lactic acid bacteria*; bacteriocin; transferable antibiotic resistance; directed vat set

我国传统发酵食品种类居世界首位, 如各种酒、发酵肉制品、发酵奶制品及发酵蔬菜等。发酵蔬菜主要包括泡菜、腌菜、酱菜、发酵蔬菜汁饮料等^[1], 是以新鲜蔬菜及其汁液为材料, 在添加水及盐、糖等调味料情况下, 利用蔬菜自然附着或外源添加的微生物发酵而成。发酵蔬菜美味爽口, 富含各类维生素、矿物质等营养物质, 而且还蕴含多种功能性产物。

参与蔬菜发酵过程的微生物种类繁多, 其中乳酸菌是最为重要的一类。乳酸菌是利用葡萄糖发酵能产50%以上乳酸、过氧化氢酶阴性、不运动且不形成芽孢的一大类革兰氏阳性菌。蔬菜发酵中常见的乳酸菌分别属于乳球菌 (*Lactococcus*)、乳杆菌 (*Lactobacillus*)、肠球菌 (*Enterococcus*)、链球菌 (*Streptococcus*)、双歧杆菌 (*Bifidobacterium*)、明串珠菌 (*Leuconostoc*) 等。乳酸菌可从蔬菜表面带入,

也可由空气中自然落入, 其在蔬菜发酵中具有多种作用。而随着近年来抗药性微生物的大量涌现, 曾经被认为是安全的食品级乳酸菌也出现可转移耐药性问题, 为发酵蔬菜的安全性带来新的挑战。因此, 笔者综述了发酵蔬菜中乳酸菌功能性和安全性研究的最新进展, 并对其控制策略进行了讨论。

1 发酵蔬菜中乳酸菌的新功能

乳酸菌对于发酵蔬菜的品质发挥着多重作用, 如增进营养价值、改善食品风味、抑制杂菌生长等, 在此仅对近年报道的抑菌成分细菌素和重要生理功能加以介绍。

1.1 细菌素抑菌作用

危害蔬菜发酵的微生物分为致腐菌和致病菌, 其中致腐菌使产品产生不良气味, 甚至变质, 并浪费大量营养成分。致腐菌主要包括霉菌、酵母和腐败细菌。其中霉菌可使蔬菜组织软化, 甚至出现霉斑, 影响感官。产膜酵母能在发酵液表面形成白色菌膜, 严重影响感观。致腐细菌则使蔬菜发黑并生成恶臭物质如尸

收稿日期: 2012-09-08

基金项目: 江苏省自然科学基金 (BK2012114)

作者简介: 胡晓清 (1978-), 男, 副教授

通讯作者: 王汝毅 (1980-), 女, 工程师

胺、腐胺、硫化氢、吲哚等。致病菌则因蔬菜产地、生产环境不同而差异较大,如报道的有各种大肠杆菌致病血清型、粪链球菌、沙门氏菌、志贺氏菌等。在采用自然接种的蔬菜发酵过程中,这些有害微生物一般初期都广泛存在,而中末期绝大多数会消亡。前期研究认为乳酸、醇类的积累导致了有害菌的抑制,近年来对包括发酵蔬菜在内的发酵食品研究揭示,相当数量的乳酸菌可产生对其他微生物有拮抗或杀灭作用的蛋白或多肽类物质-细菌素(bacteriocin)^[2],某些乳酸菌细菌素甚至对与其种属关系较远的微生物仍有拮抗作用,这对于食品安全控制具有重要意义^[3]。按照遗传和生化特征,乳酸菌产生的细菌素可分为3类^[4]:

I类,为羊毛硫抗生素(Lantibiotics),分子量小于5 KDa,包括Nisin, Lacticin 481, Carnocin U-149, Lactocin S, Sublancin 168等^[5]。

II类,为小分子量、非羊毛硫抗生素的膜活性肽,包括:II A类,为N末端具有“-T-G-N-G-V-X-C-”结构、拮抗李斯特菌的活性肽,包括Pediocin PA-1, Sakacin A, Sakacin P, Leucocin A和Mesentericin Y105^[6]; II B类,包括Lactococcin G, Lacto-coccin M, Lactacin F等^[7]; II C类,包括Divergicin A和Acidocin B^[8]。

III类,为分子量大于40 KDa、热不稳定性蛋白,包括Helveticin J, Helveticin V, Acidophilicin A, Lactacins A和Lactacins B^[9]。

大部分发酵蔬菜均为非加热方式食用,细菌素虽会进入人体食道,但由于易被肠道内蛋白酶降解,因此细菌素不会对肠道内正常的微生物菌群产生不利影响。将合成细菌素的乳酸菌用于蔬菜发酵已有成功应用。Harris等在制作德国发酵卷心菜过程中,利用能产生Nisin的乳酸乳球菌(*L. lactis*) NCK401菌株和抗Nisin的肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*) NCK293菌株混合培养发酵。在12天试验期内Nisin产量维持恒定,可有效抑制卷心菜上可能残存的有害菌。而*L. mesenteroides*的生长则几乎不受影响,可在蔬菜汁液中迅速繁殖,产生有机酸和二氧化碳^[10]。近年来,Lemos等从数百个食品来源的乳酸菌株中,筛选发现肠球菌能够产生抗多种菌的细菌素^[11], Lasta分离并鉴定了乳球菌产生的一种27肽细菌素T46,均是优秀的食品级抑菌物质^[12]。

1.2 其他新的功能

近年来发酵蔬菜被发现具有新的一些功能,或将特定功能物质合成能力的乳酸菌引入发酵过程,强化发酵蔬菜某些保健功能,主要包括:

1.2.1 γ -氨基丁酸

γ -氨基丁酸具有重要的生理活性,是人体中枢神

经系统中三大抑制性神经递质之一,可缓解焦虑、降血压、利尿、安眠镇定、调节心律失常等,因此具有重要保健作用。Hirose等利用乳酸乳球菌(*L. lactis*)发酵甘蔗汁制备富含 γ -氨基丁酸功能饮料,其条件为发酵液中甘蔗汁和脱脂奶含量分别为30%和10%,30℃培养48~72 h,该方法克服了天然甘蔗中GABA含量随品种和产季不同而变化的缺陷。此外,乳酸菌发酵可有效保护并提升甘蔗汁中具有自由基清除能力的多酚^[13]。笔者所在实验室从发酵食品中分离一株发酵乳杆菌(*Lactobacillus fermentum* CCTCC M 2011370),为 γ -氨基丁酸高产菌,也具有在发酵蔬菜中应用的潜力。

1.2.2 乳酸钙与B族维生素

蔬菜汁经发酵后,植物中的钙转换为乳酸钙,而乳酸钙易被人体吸收,从而提高了人体对植物性食品中钙的吸收效率,是老年人群补钙的新型饮品。而且蔬菜经发酵后,微生物可转化生成较多的B族维生素,尤其是维生素B12,其在植物中不存在。因此,这类发酵蔬菜汁可开发为特定人群的功能饮品。

1.2.3 其他重要活性

乳酸菌作为益生菌,其产生的胞外多糖具有抗肿瘤、免疫刺激和降低血液中胆固醇的作用^[14],卫生部批准的肿瘤辅助抑制物中就有乳杆菌^[1]。对腌制6星期的韩国大白菜泡菜的调查表明,在人体胃癌细胞AGS实验中其癌症抑制率为57~77%,而在人体肠癌细胞HT-29的实验中抗癌率为62~73%。此外,发酵蔬菜来源的乳酸菌还有抗氧化^[15]、抗衰老^[16]和抗诱变等活性^[17]。胞外多糖之外的其他成分很可能也对乳酸菌活性发挥了作用,这有待进一步揭示。

此外,乳酸菌还可抑制重要致病菌沙门氏菌的入侵。Chiu等从台湾大白菜、橄榄、黄瓜、甜菜等发酵产品中分离乳酸菌。其中的1株戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)和1株植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)除能抑制常见致腐致病菌外,还可抑制小鼠中沙门氏菌的入侵,其原因在于可粘附于小鼠小肠上皮细胞,因此该乳酸菌对于采用自然发酵的蔬菜产品安全控制具有重要意义^[18]。

2 可转移耐药性及在发酵蔬菜乳酸菌中的分布

2.1 可转移耐药性及其在发酵食品中危害

长期以来,发酵食品中的乳酸菌被认为是安全的,但是近年研究发现,某些乳酸菌菌株具有可转移耐药性,极可能引发食品安全问题。抗生素的滥用对环境微生物造成了选择压力,使得各种耐药性微生物不断涌现,导致相当部分抗药性致病菌无药可医,因

为一种临床抗生素的研制远远落后于微生物的进化速度。在获得性耐药性菌株中, 耐药基因的来源可分为自身基因突变和从外界获得两种方式, 外界获得的耐药性基因具有在微生物之间水平转移的可能, 其大多位于质粒或转座子这类活跃的可移动元件上, 而通过接合作用等实现跨种属界限转移。目前, 国际上关于乳酸菌抗药性的研究集中在医学领域。临床上耐药性转移能力强的菌株往往传播范围广, 蔬菜种植过程中接触的水体、土壤、空气及肥料中不可避免存在耐药菌株。而且农药中滥用的抗生素也会造成选择压力, 促进耐药性乳酸菌的富集。传统发酵蔬菜多采用自然接种, 一旦这些耐药性乳酸菌随食物进入人体并定植肠道后, 耐药性基因会向其他肠道微生物转移, 给疾病的治疗埋下了隐患。

国外发酵食品多为发酵奶制品和肉制品, 因此国际上耐药性乳酸菌的报道侧重于此^[19], 如发酵香肠、牛奶及肉制品^[20], 这些耐药性乳酸菌均携带可转移耐药质粒或活跃的转座子, 如粪肠球菌 (*Enterococcus faecalis*) 具有活跃的转座子 Tn916、Tn1545、Tn920 和 Tn925^[21], 有的菌株甚至同时携带多种耐药因子^[22]。在可可芋头及发酵粟米粥中, 嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*), 副干酪乳杆菌 (*Lactobacillus paracasei*), 鼠李糖乳杆菌 (*Lactobacillus rhamnosus*), 干酪乳酸杆菌 (*Lactobacillus casei*), 长双歧杆菌 (*Bifidobacterium longum*) 和分叉双歧杆菌 (*Bifidobacterium bifidum*) 中分别检测出阿伯拉霉素、粘菌素、新霉素、壮观霉素、四环素、甲氧苄氨嘧啶、万古霉素等抗性^[23]。

为评价可转移耐药基因的危害程度, 可考察各种耐药性基因在特定环境条件下的转移频率, 这将为食品安全性评价提供参考^[24]。Jacobsen 等从发酵食品中分离到分别携带 *erm* (B) 和 *tet* (M) 抗药性基因的 *L. plantarum*, 当以 *E. faecalis* JH2-2 为受体菌时, 耐药质粒在无菌小鼠体内的转移频率为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ^[25]。Flórez 等分离到携带接合转座子 Tn916 (带有四环素耐药基因 *tet* (M)) 的两株 *L. lactis*, 滤膜杂交显示 Tn916 对肠球菌的转移频率为 10^{-7} ^[26]。Hummel 针对串联有 *tet* (M) 和 *tet* (L) 的转座子, 发现其在 *E. faecalis* 间的水平转移频率为 1.4×10^{-8} ^[27]。

2.2 发酵蔬菜中乳酸菌可转移耐药性评价

笔者所在实验室对包括泡菜在内的市售发酵食品中乳酸菌耐药性进行评估^[28]。结果显示, 不同泡菜中乳酸菌均存在耐药性菌株, 其对红霉素、氯霉素、环丙沙星和卡那霉素耐药比例较发酵香肠中更高。如酸辣白菜中耐受卡那霉素的乳酸菌占到 31%, 其中多

株作为优势菌种的 *L. plantarum* 携带可转移抗药性质粒, 可能白菜种植或泡菜制作环境中存在较大抗生素污染。不同泡菜中乳酸菌耐药性的分布差异明显, 如泡白菜中乳酸菌耐受环丙沙星比例约为 25%, 而耐受四环素比例仅为 2%。

随后对几种常见抗性进行了分析。对四环素抗性而言, 菌株中都检测到了 *tetM*, 有的存在于质粒, 有的存在于基因组, 还有少数同时分布于质粒和基因组。对红霉素抗性而言, 相关基因 *ermB* 和 *erm* 定位情况类似。值得关注的是, 发酵蔬菜来源的少数乳酸菌携带多种抗药性基因, 如 *ermB*、*ahpA3* (编码卡那霉素修饰酶) 和 *tetM* 同时存在于 SZ109 质粒; *tetM* 和 *erm* 也同时出现在 SHC062 质粒, 这意味这些菌株的出现源于多重抗性压力。

3 控制策略

我国蔬菜播种面积已占全世界 43%, 成为全球最大“菜篮子”, 蔬菜发酵是重要的蔬菜加工方式。乳酸菌作为重要生产菌株, 近年来出现的可转移耐药性, 以及生物胺合成能力将导致食品安全问题。为解决这些问题, 国内外学者分别从以下几方面进行了探索。

3.1 菌株的安全性和功能性评价

菌株的安全性是关注的首要指标。韩国等国的发酵蔬菜种类远低于中国, 但其泡菜“Kimchi”已获国际精品认证, 这归因于其在乳酸菌菌株方面做了大量安全性和功能性评价。近年, Lee 等从韩国泡菜“Kimchi”中分离获得 20 株乳杆菌, 其中 9 株为清酒乳杆菌 (*Lactobacillus sakei*), 1 株为 *L. plantarum*。这些菌株安全性能良好, 能通过分解胆盐而降低胆固醇, 在缺少醋酸盐情况下仍可生成 L(+)型乳酸。与商业化的益生菌 *L. rhamnosus* GG 菌株相比, 其对 HT-29 细胞粘附能力更强, 因此具有更优良的益生菌特性^[29]。Nam 等利用基因组学探针分析技术, 对 39 株乳酸菌进行检测以分析 Kimchi 发酵过程中的微生物多样性和生物活力。通过周期性取样获得乳酸菌宏基因组和宏转录组, 并标记、杂交分析。宏基因组分析显示其中 23 株乳酸菌含量超过总数 1%。宏转录组显示除 2 株外, 所有乳酸菌均对发酵有贡献。优势菌株的含量基本保持不变, 其中最大值与最小值相差不到 1.5%。但宏转录组学分析显示发酵过程中, 乳酸菌的相对含量变化较大, 由 2.4% 变化到 9.5%, 显示低丰度的菌株在 kimchi 发酵中具有较高活力^[30]。

此外, 印度发酵蔬菜中乳酸菌也进行了评价。Tamang 等从 44 个发酵竹笋中分离出优势乳酸菌, 对其产酸能力、抑菌能力、植酸降解能力、胆盐耐受性

进行了分析。结果显示这些乳酸菌具有很强功能性,而且菌株不产生物胺^[31]。Kumar 等从印度发酵蔬菜和饮料中分离出乳酸菌,菌株在 pH 3.0 模拟胃液中生长良好,对包括万古霉素在内的抗生素敏感,苯酚耐受性强,细胞表面疏水性高,可刺激小鼠淋巴细胞增殖^[32]。这些乳酸菌可作为发酵竹笋及其他发酵蔬菜及饮料的优良生产菌株。

中国发酵蔬菜中的乳酸菌资源极其丰富,其安全性显得尤为重要。目前国内已开展这方面工作,如已对四川泡菜乳酸菌进行微生物资源标准化整理工作,包括菌株分离、鉴定和性能分析^[33]。和国外发酵蔬菜不同的是,中国蔬菜发酵中微生物种类繁多,如何从复杂微生物区系中获知关键生产菌株,可借助近年来发展的不依赖于培养的分子生态学技术^[34]。针对复杂生物体系中微生物区系结构,PCR-DGGE/TGGE、SSCP、FISH 等均是成熟有效的分析方法^[35,36]。不仅可解析微生物的空间分布,而且能获知微生物的时间分布^[5]。Xiong 等对当地发酵卷心菜中的微生物演变规律进行了研究,发现初期优势菌群为肠膜明串珠菌肠膜亚种 (*L. mesenteroides subsp. mesenteroides*),随后是 *E. faecalis*、*L. lactis* 和玉米乳杆菌 (*Lactobacillus zeae*),发酵结束时为 *L. casei*,这为进一步解析泡菜中微生物消长规律和优化发酵过程奠定了基础^[37]。

为增强标准化蔬菜发酵的安全性和风味性能,寻找具有新型抑菌物质产生能力、及良好风味形成能力的微生物菌株具有重要潜力^[29]。

3.2 直投式发酵剂的应用

多菌种纯种发酵是发酵蔬菜的发展方向之一。蔬菜发酵体系中加入经过筛选的种子培养液,如 *L. plantarum*,可在保证安全性前提下改善稳定性。这在果蔬汁(如蕃茄汁、苹果汁等)中应用相对较早。罗云波报道 *L. plantarum*、*L. fermentum*、*L. mesenteroides* 以 5:3:2 比例添加到发酵蔬菜^[38];沈国华按等比例将 *L. plantarum* 和干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*) 接种腌渍蔬菜^[39]。

乳酸菌可通过直投式发酵剂 (directed vat set, DVS) 的形式加入发酵食品。DVS 是高度浓缩并标准化生产的冷冻型或冷冻干燥型菌种发酵剂。采用乳酸球菌、乳杆菌和肠膜串连菌制备 DVS,用于发酵洋葱、甜菜等蔬菜已有报道。国内陆利霞等人利用 *L. plantarum*、复合弯曲乳杆菌 (*Lactobacillus crispatus*) 和乳酸链球菌 (*Streptococcus lactis*) DVS 进行泡菜制作^[40]。DVS 用于蔬菜发酵不仅适用于工业化生产,而且也可满足餐饮行业及家庭等安全、快速生产泡菜的需求。

3.3 发酵条件的优化控制

蔬菜发酵过程中的微生物群落组成及变迁受到发酵条件的直接影响。因此,蔬菜发酵条件的控制也是关键环节,目前这方面报道较多,在此不作赘述。值得提及的是 2011 年,Jeong 等对不同材质(聚乙烯或聚丙烯塑料容器、玻璃容器,陶器)容器制备韩国泡菜发现,陶器效果最佳更佳。利用陶器发酵可提高乳酸菌产酸量和增殖速率,促进功能性产物的合成,使得泡菜的抗氧化活力和抗恶性细胞增生活力更高,泡菜口感更好。其机制在于陶器的多孔结构导致气体渗透性好,有利于乳酸菌生长和泡菜后熟^[41],这对于开发新型的发酵蔬菜容器奠定了理论基础。

4 结语

乳酸菌是发酵蔬菜制作过程中的重要微生物,具有多种重要作用及功能,近年研究显示,相当数量的乳酸菌能合成细菌素,对特定致病致腐菌具有良好抑制效果。乳酸菌也被用来生产富含 γ -氨基丁酸、B 族维生素和乳酸钙的发酵蔬菜产品,而且乳酸菌发酵蔬菜的新功能不断被揭示。可转移耐药性的发现为乳酸菌的安全性敲响了警钟,研究显示,包括发酵蔬菜在内的某些发酵食品中存在着耐药性乳酸菌菌株,有向人体肠道菌群转移的风险。因此,亟待从菌株安全性和功能性评价、直投式发酵剂的应用和发酵条件控制优化等方面加强控制,在保障发酵蔬菜安全性的前提下,提升产品功能性。

参考文献

- [1] 张岩,肖更生,陈卫东,等.发酵蔬菜的研究进展[J].现代食品科技,2005,21:184-186
- [2] De Vuyst L, and Leroy F. Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications [J]. J Mol Microbiol Biotechnol, 2007, 13: 194-199
- [3] Klaenhammer TR. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria [J]. FEMS Microbiol Rev, 1993, 12: 39-85
- [4] Nes IF, Diep DB, Havarstein LS, et al. Biosynthesis of bacteriocins in lactic acid bacteria [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 1996, 70: 113-128
- [5] Paik SH, Chakicherla A, and Hansen JN. Identification and characterization of the structural and transporter genes for, and the chemical and biological properties of, sublancin 168, a novel lantibiotic produced by *Bacillus subtilis* 168 [J]. J Biol Chem, 1998, 273: 23134-23142
- [6] Nieto Lozano JC, Meyer JN, Sletten K, et al. Purification and amino acid sequence of a bacteriocin produced by

- Pediococcus acidilactici [J]. J Gen Microbiol, 1992,138: 1985-1990
- [7] Diep DB, Havarstein LS, and Nes IF. Characterization of the locus responsible for the bacteriocin production in *Lactobacillus plantarum* C11 [J]. J Bacteriol, 1996,178: 4472-4483
- [8] Leer RJ, van der Vossen JM, van Giezen M, et al. Genetic analysis of acidocin B, a novel bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus* [J]. Microbiology, 1995,141 (Pt 7): 1629-1635
- [9] Vaughan EE, Daly C, and Fitzgerald GF. Identification and characterization of helveticin V-1829, a bacteriocin produced by *Lactobacillus helveticus* 1829 [J]. J Appl Bacteriol, 1992,73: 299-308
- [10] Settanni L, and Corsetti A. Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation [J]. Int J Food Microbiol, 2008,121: 123-138
- [11] Lemos Miguel MA, Dias de Castro AC, and Ferreira Gomes Leite S. Inhibition of vancomycin and high-level aminoglycoside-resistant enterococci strains and *Listeria monocytogenes* by bacteriocin-like substance produced by *Enterococcus faecium* E86 [J]. Curr Microbiol, 2008,57: 429-436
- [12] Lasta S, Fajloun Z, Darbon H, et al. Chemical synthesis and characterization of J46 peptide, an atypical class IIa bacteriocin from *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* J46 Strain [J]. J Antibiot (Tokyo), 2008,61: 89-93
- [13] Hirose N, Ujihara K, Tenuya R, et al. Development of GABA-enhanced lactic acid beverage using sugar cane and its functionality [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi 2008,55: 209-214
- [14] 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,2008,1:39-44
- [15] Lee YM, Kwon MJ, Kim JK, et al. Isolation and identification of active principle in Chinese cabbage kimchi responsible for antioxidant activity [J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 2004,36: 129-133
- [16] Kim JH, Ryu JD, and Song YO. The effect of kimchi intake on free radical production and the inhibition of oxidation in young adults and the elderly people [J]. Korean Journal of Community Nutrition, 2002,7: 257-265
- [17] Shin K, Chae O, Park I, et al. Antitumor effects of mice fed with cell lysates of *Lactobacillus plantarum* isolated from kimchi [J]. Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering, 1998,13: 357-363
- [18] Chiu HH, Tsai CC, Hsieh HY, et al. Screening from pickled vegetables the potential probiotic strains of lactic acid bacteria able to inhibit the *Salmonella* invasion in mice [J]. J Appl Microbiol, 2008,104: 605-612
- [19] Mathur S, and Singh R. Antibiotic resistance in food lactic acid bacteria--a review [J]. Int J Food Microbiol, 2005,105: 281-295
- [20] Temmerman R, Pot B, Huys G, et al. Identification and antibiotic susceptibility of bacterial isolates from probiotic products [J]. Int J Food Microbiol, 2003,81: 1-10
- [21] Zuniga M, Pardo I, and Ferrer S. Transposons Tn916 and Tn925 can transfer from *Enterococcus faecalis* to *Leuconostoc oenos* [J]. FEMS Microbiol Lett, 1996,135: 179-185
- [22] Wang TT, and Lee BH. Plasmids in *Lactobacillus* [J]. Crit Rev Biotechnol, 1997,17: 227-272
- [23] Ouoba LI, Lei V, and Jensen LB. Resistance of potential probiotic lactic acid bacteria and bifidobacteria of African and European origin to antimicrobials: determination and transferability of the resistance genes to other bacteria [J]. Int J Food Microbiol, 2008,121: 217-224
- [24] Toomey N, Monaghan A, Fanning S, et al. Assessment of horizontal gene transfer in Lactic acid bacteria--a comparison of mating techniques with a view to optimising conjugation conditions [J]. J Microbiol Methods, 2009,77: 23-28
- [25] Jacobsen L, Wilcks A, Hammer K, et al. Horizontal transfer of tet(M) and erm(B) resistance plasmids from food strains of *Lactobacillus plantarum* to *Enterococcus faecalis* JH2-2 in the gastrointestinal tract of gnotobiotic rats [J]. FEMS Microbiol Ecol, 2007,59: 158-166
- [26] Florez AB, Ammor MS, and Mayo B. Identification of tet(M) in two *Lactococcus lactis* strains isolated from a Spanish traditional starter-free cheese made of raw milk and conjugative transfer of tetracycline resistance to lactococci and enterococci [J]. Int J Food Microbiol, 2008,121: 189-194
- [27] Hummel A, Holzäpfel WH, and Franz CM. Characterisation and transfer of antibiotic resistance genes from enterococci isolated from food [J]. Syst Appl Microbiol, 2007,30: 1-7
- [28] Pan L, Hu X, and Wang X. Assessment of antibiotic resistance of lactic acid bacteria in Chinese fermented food [J]. Food Control 2011,22: 1316-1321
- [29] Lee H, Yoon H, Ji Y, et al. Functional properties of *Lactobacillus* strains isolated from kimchi [J]. Int J Food Microbiol, 2011,145: 155-161
- [30] Nam YD, Chang HW, Kim KH, et al. Metatranscriptome

- analysis of lactic acid bacteria during kimchi fermentation with genome-probing microarrays [J]. *Int J Food Microbiol*, 2009,130: 140-146
- [31] Tamang B, and Tamang JP. Lactic acid bacteria isolated from Indigenous fermented bamboo products of arunachal pradesh in India and their functionality [J]. *Food Biotechnology*, 2009,23: 133-147
- [32] Kumar M, Ghosh M, and Ganguli A. Mitogenic response and probiotic characteristics of lactic acid bacteria isolated from indigenously pickled vegetables and fermented beverages [J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2012,28: 703-711
- [33] 王柱,张晓娟,周光燕,等.四川地区发酵制泡菜乳酸菌菌种资源的收集与标准化整理 [J]. *四川食品与发酵*,2008,44:5-10
- [34] Kennedy AC. Bacteria diversity in agroecosystems. [J]. *Agric.Ecosyst.Envirion*, 1999,74: 65-76
- [35] Rantsiou K, Drosinos EH, Gialitaki M, et al. Molecular characterization of *Lactobacillus* species isolated from naturally fermented sausages produced in Greece, Hungary and Italy [J]. *Food Microbiol*, 2005,22: 19-28
- [36] Ercolini D, Mauriello G, Blaiotta G, et al. PCR-DGGE fingerprints of microbial succession during a manufacture of traditional water buffalo mozzarella cheese [J]. *J Appl Microbiol*, 2004,96: 263-270
- [37] Xiong T, Guan Q, Song S, et al. Dynamic changes of lactic acid bacteria flora during Chinese sauerkraut fermentation [J]. *Food Control* 2012,26: 178-181
- [38] 罗云波,蔡同一.园艺产品贮藏加工学加工篇[M].中国农业大学出版社,2001
- [39] 沈国华,卢英,何丁喜,等.纯菌接种发酵技术在腌渍蔬菜加工上的应用研究(二) 纯菌接种发酵技术最佳发酵模式的确定与应用[J].*中国调味品*,2002,6:24-27
- [40] 陆利霞,孙芸,葛雅,等.直投式发酵剂制备几种泡菜的研究的研究[J].*南京晓庄学院学报*,2007,3:53-56
- [41] Jeong JK, Kim YW, Choi HS, et al. Increased quality and functionality of kimchi when fermented in Korean earthenware (onggi) [J]. *Int J Food Sci Tech*, 2011,46: 2015-2021