

文章编号: 1673-1689(2006)05-0121-06

植物乳杆菌素研究进展

沈莲清, 苏光耀, 王向阳

(浙江工商大学食品系, 浙江杭州 310035)

摘要: 植物乳杆菌素是植物乳杆菌产生的一类具有抑菌活性的肽类, 可以抑制许多革兰氏阳性菌。作者简述了细菌素的分类、植物乳杆菌素的抑菌范围和抑菌机制, 并简要介绍了几种植物乳杆菌素的性质。尽管目前植物乳杆菌素还未被批准作为防腐剂在食品中使用, 但植物乳杆菌已被广泛地应用到食品工业中, 相信不久的将来植物乳杆菌素作为一类理想的天然食品防腐剂, 应用前景将十分广阔。

关键词: 细菌素; 植物乳杆菌; 植物乳杆菌素

中图分类号: TS 202.3

文献标识码: A

Progress on Plantaricin by *L. plantarum*

SHEN Lian-qing, SU Guang-yao, WANG Xiang-yang

(Department of Food Science and Technology, Zhejiang Gongshang University Hangzhou 310035)

Abstract: Plantaricin is a kind of antibacterial peptide produced by *L. plantarum* that could inhibit a wide range of gram-positive bacteria. The classification of bacteriocin, spectrum of action, mode of action and characteristic of plantaricin were briefly introduced in this manuscript. Although the application of plantaricin in food has not been authorized, *L. plantarum* has been broadly used in food industry. It is believed that the application of plantaricin as a kind of natural food preservative will be very broadly in the future.

Key words: bacteriocin; *L. plantarum*; plantaricin

长期以来, 乳酸菌广泛应用于乳制品、蔬菜、水果及肉食品的发酵与防腐中。许多乳酸菌除产生乳酸、乙酸和过氧化氢外, 还可产生一些具有抑菌生物活性的细菌素(bacteriocin), 在食品的防腐保鲜方面起重要作用^[1]。随着人们生活水平的提高, 食品防腐剂的安全卫生条件日益受到人们关注, 消费者对添加化学防腐剂的食品心存顾忌。此外, 化学防腐剂潜在的安全隐患不容忽视, 寻找一种新的代用品以减少化学防腐剂所造成的潜在危害已为各

国科研工作者所瞩目。这推动了人们对乳酸菌细菌素的研究, 以期找出多种安全、高效的天然食品防腐剂。

细菌素是某些细菌产生的具有抗菌活性的多肽、蛋白质或蛋白质复合物^[2], 最早由 Jacob 和其合作者于 1953 年提出。1982 年, Konisly 将细菌素定义为: 某些细菌通过核糖体机制产生的一类具有抑菌生物活性的蛋白质, 大多数细菌素只对近缘关系的细菌有损害作用, 产生菌对其产生的细菌素具自

收稿日期: 2006-03-07; 修回日期: 2006-05-06.

作者简介: 沈莲清(1946-), 江苏苏州人, 理学硕士, 教授, 博士生导师。
万方数据

身免疫性。细菌素不同于青霉素等抗生素,其为多肽或蛋白质;此外,传统的多肽抗生素是由细胞多酶复合体催化形成的,不存在结构基因^[3],而细菌素由基因编码,可以通过基因工程的手段加以改造。其中有些作为发酵菌种的细菌素对动物无毒副作用,无抗原性。其抑菌范围广,可以杀死或抑制食物中一些腐烂菌和病原菌,并有一定的热稳定性,延长了食品的保质期,同时不破坏食品的风味和组织状态^[4]。

国外对乳酸菌细菌素的研究比较早,报道的文献资料很多。而国内则起步比较晚,除了 nisin 的研究外,很少见到有关其他乳酸菌细菌素的报道。近年来,随着分子生物学和生物技术的发展,有关细菌素尤其是乳酸菌细菌素的研究引起了广泛的关注。目前开发乳酸菌细菌素作为新型的天然食品防腐剂和饲料添加剂已成为研究热点^[5]。

1 多肽类细菌素的分类

目前大多数人是根据多肽类细菌素的结构来分类,这样可将多肽类细菌素分为4类^[6-7]:1)羊毛硫抗生素(Lantibiotics)是一类小分子的修饰肽,含19~50个以上的氨基酸分子,分子活性部位有羊毛硫氨酸(Lanthionine)、 β -甲基羊毛硫氨酸(β -methyllanthionine)、脱氢酪氨酸(Dehydrobutyrine)和脱氢丙氨酸(Dehydroalanine)等非编码氨基酸。Lantibiotics又可细分为两个亚类:I_a类是由在靶目标膜上形成孔道的阳离子和疏水基团组成的肽,它与结构稳定的I_b类相比,结构的伸展性更好;I_b类是球状的肽类,它不带电或带负电。2)小分子的热稳定肽(SHSP)相对分子质量小于10 000,具有疏水性和膜活性,其结构特征为:N-末端信号肽序列长度为18~21个氨基酸,前导肽链由一个蛋氨酸开始,并常随一个赖氨酸;有活性的细菌素其N-末端+1的位置上通常是赖氨酸或精氨酸。可以分为3个亚类:II_a类N-末端氨基酸序列为:Tyr-Gly-Asn-Gly-Val,并由两个半胱氨酸所构成的S-S桥,对利斯特氏杆菌有活性;II_b类孔道复合物由两个具有不同氨基酸序列的肽类寡聚体形成;II_c类能被硫醇激活,活性基团要求有还原性半胱氨酸残基。3)热敏感的大分子蛋白(LHLP),相对分子质量一般大于10 000,通常在100℃或更低温度30s内即失活,它们的抑菌谱较窄。4)复合型的大分子复合物,除蛋白质外还含有碳水化合物或类脂基团,目前这类细菌素还未被纯化。第2、3、4类细菌素由于不含羊毛硫氨酸,所以通常又被称为羊毛硫抗生

素(non-lantibiotic bacteriocin),其中第1、2类细菌素由于抑菌的高活性和专一性而作为食品防腐保鲜剂研究的较多,目前研究最深、应用最广的是第一类的乳链菌肽(nisin),植物乳杆菌素有的属于第一类,如 plantaricin W^[8]、plantaricin C^[9]等,有的属于第二类,如 plantaricin NC8^[10]、plantaricin S^[11]等。一般来说,羊毛硫抗生素的抑菌谱要比非羊毛硫抗生素抑菌谱要宽^[8]。

2 植物乳杆菌素的抑菌范围

植物乳杆菌(*L. plantarum*)属于乳杆菌科中的乳杆菌属,革兰氏阳性,最适生长温度为30~35℃,能在10℃生长,45℃不生长,兼性厌氧,在pH值4.5~9.5生长,最适pH值6.5左右。菌体呈短杆状,有时成对或成链状,不产芽孢,在LBS琼脂培养基中呈灰白色、不透明、圆形、光滑、微小细密的菌落^[12]。

植物乳杆菌素(plantaricin)是植物乳杆菌代谢过程中合成并分泌到环境中的一类对同种的或亲缘关系较近的有抑制作用的杀菌蛋白或多肽物质。许多研究表明,由*L. plantarum*产生的细菌素 plantaricin B、SIK83、A、BN、S、T、LC74、SA6和KW30对其密切相关菌如嗜热和嗜温菌 *Lactobacilli*、*Pediococi*和 *Leuconostoc* 有抑制作用。植物乳杆菌素具有较宽的抑菌谱,抑菌谱不仅包括乳酸菌,也包括其他革兰氏阳性菌如 *Listeria*、*Staphylococcus aureus*、*L. tyrobuiyricum*、*Listeria grayi*。plantaricin LP84和上述报道的细菌素性质不同,它主要抑制革兰氏阴性和阳性菌,它和 plantaricin F 性质相似,不抑制关系密切的乳酸菌^[13]。随着研究的进展,已经发现有些细菌素不仅能够抑制与其产生菌关系密切的菌株,还能抑制一些食品腐败菌,乳酸菌产生的细菌素在食品发酵生产中能抑制其他杂菌^[14]。因而,目前普遍认为,由发酵剂产生的细菌素对于改善和提高各种发酵食品的质量和具有重要的意义。

3 植物乳杆菌素的抑菌机制

3.1 Lantibiotic 型

属此型的 plantaricin 抑菌机制仍不甚明了。目前主要认为 plantaricin 等 Lantibiotic 型细菌素的靶细胞是细胞膜,在一定的膜电位的存在下,吸附于感受菌的细胞膜上。侵入膜内形成通透孔道,可允许小分子的亲水溶液通过,导致离子从胞浆中流出,细胞膜去极化及 ATP 泄漏,细胞外水分子流入,

细胞自溶而死亡^[15]。因其作用需膜电位的存在,通过在膜上形成通道,降低膜电位和 pH 梯度,导致细胞内溶物外泄而抑菌,故又称为能量依赖型细菌素。对于细菌素的疏水基团作用于膜的方式,存在不同的看法,大致可分为“栅栏”和“楔形”两种模式。“栅栏”模式是指每一个细菌素分子都垂直插入膜中,形成栅栏形的、横跨膜的离子通道;而“楔形”模式则是一定数量的细菌素分子同时插入膜中形成一个楔形的通道^[16]。

3.2 非 Lantibiotic 型

此型的细菌素是在细胞膜上形成一个亲水通道,但这个亲水通道是经膜上特定的受体蛋白自导的,与膜电位无关。故称该类细菌素为非能量依赖型细菌素。与 Lantibiotic 型相比,此型细菌素的作用主要是破坏膜功能的稳定性(如能量传导),而不是破坏膜结构的完整性^[17]。

因为植物乳杆菌素并不是对每种菌都有抑制作用,故进行了其对特殊菌株的亲合力实验研究,发现菌株的磷酸酯组成和 pH 值与最低抑菌浓度(MIC)有关。研究显示,通道的形成与靶细胞膜表面的“耦合分子基团”有关,耦合分子基团使得细菌素与靶细胞的相互作用更易于进行,从而提高细菌素的抑菌有效性^[18]。

4 植物乳杆菌素的性质

L. plantarum 产生的细菌素有许多报道,包括来自肉和肉制品、乳、奶酪、发酵胡瓜、橄榄、发酵谷物、果汁的 *L. plantarum*。大部分植物乳杆菌素是呈阳离子性质的疏水性小分子肽类^[19],具有一定的热稳定性,经蛋白酶或胰蛋白酶作用以后,植物乳杆菌素的抑菌活性明显下降,表明其具有蛋白质性质,用淀粉酶和过氧化物酶处理不能改变其活性,说明 H_2O_2 不影响其活性,具有广泛的 pH 值活性范围,如 plantaricin ST31、plantaricin C、plantaricin LP84 等。目前报道的 plantaricin 仅有 plantaricin BN 不受胰蛋白酶、胃蛋白酶和内脏酶的影响^[9,13,20]。许多来自 *L. plantarum* 的细菌素被分离出来,也有部分特征被描述。例如 plantaricin A、plantaricin C、和 plantaricin 149 等。plantaricin A 是一种由两条肽组成的细菌素,*L. plantarum* C11 分泌 3 种细菌素 PlnA,据推测还存在着其他 5 种细菌素 PlnE、PlnF、PlnJ、PlnK 和 PlnN。当 PlnE 和 PlnF、PlnJ 和 PlnK 结合时,在毫微克浓度水平可测定到细菌素的活性,PlnEF 和 PlnJK 清晰的是两种肽细菌素系统,PlnA 22-、23-、26-^{万方数据}的结合以及这些肽和 PlnEF 或 PlnJK 的

结合产生增效的抑菌效果,因此 PlnA 不能归类于上述两类细菌素,plantaricin C 是一种相对分子质量为 3 500 的细菌素,plantaricin 149 是一种 22 个氨基酸的肽,其氨基酸顺序和 PlnA 不同,这些细菌素的氨基酸顺序没有明显的同源性,和其他乳酸菌分泌的细菌素也没有同源性。由 *plantarum* WHE 92 分离的 pedicvicin ACH 是一种相对分子质量为 4 600、44 个氨基酸的肽类,其一级结构和 *Pediococcus acidilactici* 菌株分泌的细菌素 pedicvicin ACH 相同^[20]。下面以几种具有广阔开发应用前景的 plantaricin 为例来说明 *L. plantarum* 产生的细菌素的性质。

4.1 植物乳杆菌素 plantaricin ST31 的性质

Todorol 等^[20](1999)从近 100 株 *L. plantarum* 菌中分离出 plantaricin ST31,它是相对分子质量为 2 755.63 的具有 20 氨基酸残基组成的肽类,由 *L. plantarum* ST31 分泌的细菌素。研究结果表明,这种细菌素几乎可抑制全部的 *Lactobacillus*,例如 *Leuconostoc*、*Pediococcus*、*S. thermophilus* 等。*L. plantarum* ST31 在 pH 6.0 的 MRS 培养基中,30 °C 培养 24 h 获得最大的 plantaricin ST31 产量(600 AU/mL),进一步培养至 48 h,plantaricin ST31 的产生逐渐下降。研究还发现,在菌的平衡期,plantaricin ST31 的活性最大,至少能保持 10 h 的稳定。

4.2 植物乳杆菌素 plantaricin C 的性质

Plantaricin C 是相对分子质量为 3 500,具有 27 个氨基酸序列的肽类,由 *L. Plantarum* LL441 分泌的细菌素,对恶劣环境具有抵抗作用,在 pH 2.0 ~ 7.0 有抑菌活性。这种细菌素能抑制很多的革兰氏阳性菌,例如 *Clostridium*、*Bacillus*、*Staphylococcus* 和 *Listeria monocytogenes*。Bruno 等^[21](1998)对 *L. Plantarum* LL441 产生 plantaricin C 的最佳条件进行研究,结果表明,恒化器中培养的 *L. Plantarum* LL441 菌在 pH 5.0,30 °C,150 r/min,0.5 g/dL 的葡萄糖为碳源和 0.05 h⁻¹ 稀释率的条件下,plantaricin C 的产生量最大。当用蔗糖或果糖来代替葡萄糖时,在 0.10 ~ 0.12 h⁻¹ 稀释率的条件下,plantaricin C 的产生量最大。

4.3 植物乳杆菌素 plantaricin LP84 的性质

Plantaricin LP84 是 *L. plantarum* NCIM 2084 分泌的一种细菌素,Suma 等^[13](1998)对其性质进行了研究。plantaricin LP84 主要抑制革兰氏阴性菌和阳性菌,不抑制关系密切的乳酸菌,最佳 pH 4.5 ~ 4.8,在 40 °C 有较高活性,30 °C 时无活性,121 °C 保持 20 min 不失活,在这些方面它和其他 *L. plantarum* 产生的细菌素具有不同性质。对 plantaricin LP84

的抑菌作用机理的研究表明:这种细菌素对指示菌细胞壁具有溶解作用,这种溶解作用对于 *B. cereus* 更为明显。plantaricin LP84 对细胞壁的溶解特征不同于早期报道的其他细菌素 plantaricin C、F 和 KW30,这些细菌素的抑菌机理不包括细胞壁的溶解。

5 植物乳杆菌及其细菌素在食品工业中的应用

细菌素由于无毒、无副作用、无残留、无抗药性,并可以抑制或杀死一些食物腐败菌,具有一定的热稳定性,易被人体消化道的部分蛋白酶降解,因此不会在体内积蓄引起不良反应,也不会影响抗生素的活性,在食品中易扩散,使用较方便,同时也不污染环境,因而受到食品工业的青睐^[4]。如 nisin 是惟一被允许作为防腐剂在食品中使用的细菌素,它已经作为一种安全、无毒、天然的食品防腐剂在国际上进行了广泛的应用,其应用领域主要包括牛奶制品(包括鲜牛奶、奶粉、酸奶、奶酪等)、罐头食品、饮料、肉类食品、鱼类以及酒精饮料,等等。细菌素也可以作为发酵底物和发酵副产物存在于成熟奶酪、酸奶、腊肠、泡菜等食品中。许多研究已经证明(郭本恒 2001,马桂荣等 1998),在具有产细菌素能力的发酵过程中,可以防止和控制不良菌群引起的污染。因此,一般认为添加产细菌素的乳酸菌到食品中比直接添加细菌素更可取^[18]。我国于 1994 年批准使用的益生菌有 6 种:芽孢杆菌、乳酸杆菌、粪链球菌、酵母菌、黑曲菌、米曲菌^[4]。植物乳杆菌属于同型发酵乳酸杆菌,在发酵过程中只产生乳酸,能利用葡萄糖、麦芽糖、蔗糖、L-山梨糖、乳糖、纤维二糖、木糖、蜜二糖、果糖、核糖、葡萄糖酸钠产酸,但发酵葡萄糖和葡萄糖酸钠均不产气,属于同型发酵类型中的兼性异型发酵群,有很强的发酵碳水化合物的能力,较耐盐,与其它乳酸菌有协同作用^[12]。目前 plantaricin 还未被批准作为防腐剂在食品中使用,但 *L. plantarum* 已被广泛地应用到食品工业中。

5.1 *L. plantarum* 在酸发酵性植物食品中的应用

L. plantarum 在许多酸发酵性植物食品中的作用被广泛认知,例如对于橄榄、茄子、泡菜、黄瓜和朝鲜辣泡菜等^[22]。在泡菜中,起始发酵主要靠肠膜状明串珠菌(*L. mesenteroides*),后被 *Lactobacilli* 代替,如短杆菌(*L. brevis*),最主要的是耐酸性的 *L. plantarum*。植物性食品如木薯中也发现类似的发酵

规律^[23]。Quintana 等^[24](1999)应用 *L. plantarum* 作为发酵菌种,低温条件下对绿橄榄进行发酵,研究表明:*L. plantarum* 菌株在最适发酵条件下快速、平行生长,10 d 后达最高活菌数。实际上是葡萄糖被消耗,果糖的利用非常慢,*L. plantarum* 菌株不能利用蔗糖和甘露醇,在实际发酵过程中,发生后两者的降解是由于后期发酵阶段或贮存时酵母的作用。Sanchez 等^[25](2000)对 Almagro 茄子发酵进行了研究,发现在起始阶段异型发酵的 *L. fermentum* 和 *L. brevis* 占优势,接下来更多的糖发酵发生,兼性异型发酵的 *L. plantarum* 在 25 h 发酵后不断增加,2 d 后成为优势菌。Tamang 等^[26](1996)在竹笋的发酵时发现了类似的结果,*L. plantarum* 的高盐耐受性和对底物较好地利用能力,可以说明为什么它成为最终产品中的优势菌。和橄榄、泡菜、黄瓜的发酵不同,竹笋发酵时 *Lactobacillus*、*Pediococcus*、*Leuconostoc* 全部参与。在茄子发酵时菌种的差异性相对较小,因为起始的低 pH 值抑制了 *Pediococcus* 和 *Leuconostoc* 的生长。

5.2 *L. plantarum* 在肉类制品中的应用

L. plantarum 在肉类制品中的应用,有发酵香肠、风干香肠。发酵香肠中的乳杆菌能使原料中的碳水化合物分解为乳酸,使产品的 pH 值快速下降,乳酸代谢过程中还会产生过氧化氢和细菌素,进一步抑制了腐败和有害微生物的生长繁殖^[27],对病原菌及有害菌生长起到了很强的抑制作用,又赋予产品特有的风味和坚实的质地^[28]。Hugas 等^[29](1993)证明了将植物乳杆菌接种于一种非发酵干牛肉(Dendeng Gilling)中,葡萄球菌、大肠杆菌等致病菌可分别被抑制 96%、77%。张兰威等^[30](2001)研究了接种植物乳杆菌的风干香肠成熟过程中微生物特性及理化性质。结果表明,风干香肠在发酵和成熟过程中细菌总数由低到高,再降低,过氧化物值和 pH 值较低,而酸价较高。由于其水分含量(水分活度)逐渐下降及微生物作用使肠成熟,接种植物乳杆菌的肠各项理化指标均优于自然发酵的,并推迟了脂肪氧化,有较好的感官质量。

5.3 *L. plantarum* 在乳制品中的应用

L. plantarum 在乳制品中的应用,如干酪、奶制品饮料。嗜温乳酸菌在干酪成熟过程中发挥着重要作用,对于这些菌的准确作用尚不完全清楚,一般认为它们参与蛋白质水解和形成氨基酸。Manu 等在 2000 年以 Fiore Sardo 干酪成熟为例,研究了非发酵剂乳酸菌在干酪成熟中的作用。研究表明,*L. plantarum* 是在 Fiore Sardo 干酪中的优势菌,它对

Fiore Sardo 的成熟起至关重要的作用^[31]。众所周知,共轭亚油酸具有很多营养和保健功能。与化学法相比,生物法具有选择性合成生物活性共轭亚油酸的优点,将具有转化亚油酸能力的植物乳杆菌接入奶制品饮料中,该菌能将 1 mg/mL 亚油酸转化成 152.05 μg/mL 共轭亚油酸^[32-33]。

6 结语与展望

综上所述,植物乳杆菌素有很多特点,已经引起广大从事乳酸菌、食品添加剂、益生菌及开发新药等领域研究人员的极大兴趣。近年来新的植物乳杆菌素不断出现,报道植物乳杆菌素的文献资料和专利数量也越来越多,但目前对于植物乳杆菌素的大规模生产和在食品工业上的应用,还面临以下困难:1)大多数植物乳杆菌素抑菌谱较窄,作用不

广泛;2)植物乳杆菌素产生的量较少,且有些植物乳杆菌素由质粒编码,产量不稳定;3)还需要相关试验来证明植物乳杆菌素用于人的食品是安全、无毒、易被分解、是无害的、可靠的。

我国是一个植物乳杆菌等乳酸菌资源丰富的国家,但对植物乳杆菌素等乳酸菌细菌素的研究起步较晚,除 nisin 外,对其他乳酸菌细菌素没有进行很好的基础研究和开发应用研究。因而大力进行植物乳杆菌素等细菌素的研究尤其是性质及其作用机理、基因调控及重组技术方面的研究,不仅具有重要的理论意义,而且具有广阔的应用前景。相信不久的将来植物乳杆菌素等细菌素作为一类具有广阔开发应用前景的天然食品防腐剂,将对人类的健康发挥巨大作用。

参考文献:

- [1] Dacachel M A. Antimicrobial substances from lactic acid bacteria for use as food preservatives[J]. **Food Technol**, 1989, 43: 164.
- [2] Entian K-D, De Vos W M. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria and their use in novel industrial application[J]. **Antonie van Leeuwenhoek**, 1996, 69: 109.
- [3] Ralph W, Jack John R. Bacteriocins of gram-positive bacteria[J]. **Microbiology Review**, 1995, 171: 200.
- [4] 田晓乐, 孟庆繁, 周杰, 等. 微生物防腐剂——细菌素的研究与应用[J]. **食品工业科技**, 2004, (1): 120-123.
- [5] 李平兰, 江汉湖. 乳酸菌细菌素研究进展[J]. **微生物学通报**, 1998, 25(5): 295-298.
- [6] Riley M A, Wertz J E. Bacteriocins: evolution, ecology and application[J]. **Annu Rev Microbiol**, 2002, 56: 117-137.
- [7] Kempeman R, Kuipers A, Karsens H, et al. Identification and characterization of two novel clostridial bacteriocins, Circularin A and Closticin 574[J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 2003, 69: 1589-1597.
- [8] Helge H, Zoran J, Mark D, et al. Plantaricin W from *Lactobacillus plantarum* belongs to a new family of two-peptide antibiotics[J]. **Microbiology**, 2001, 147: 643-651.
- [9] David L T, Lorraine B, Helmut E M, et al. Solution structure of plantaricin C, a novel antibiotic[J]. **Eur J Biochem**, 1999, 264: 833-839.
- [10] Antonio M, Jose L R B, Rufino J D. Purification and genetic characterization of plantaricin NC8, a novel coculture-inducible two-peptide bacteriocin from *Lactobacillus plantarum* NC8[J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 2003, 1: 383-389.
- [11] Antonio M, Jose L R B, Belen F, et al. The locus responsible for production of plantaricin S, a class IIb bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* LPCO10, is widely distributed among wild-type *Lact. plantarum* strains isolated from olive fermentations[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2002, 77: 117-124.
- [12] 肖仔君, 钟瑞敏, 陈惠音, 等. 植物乳杆菌的研究进展[J]. **广州食品工业科技**, 2004, 20(增刊): 84-86.
- [13] K Suma, M C Misra, M C Varadaraj. Plantaricin LP84, a broad spectrum heat-stable bacteriocin of *Lactobacillus plantarum* NCIM 2084 produced in a simple glucose broth medium[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 1998, 40: 17-25.
- [14] 许杨, 孙红斌, 谢俊杰. 细菌素作为生物防腐剂的研究现状[J]. **微生物学通报**, 1998, 25(2): 104-106.
- [15] Beatriz G, Erwin G, Edmund R S K, et al. Bactericidal mode of action of plantaricin C[J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 1996, (8): 2701-2709.
- [16] Cintas L M, Herranz C, Hernández P E, et al. Review: bacteriocins of lactic acid bacteria[J]. **Food Science and Technology International**, 2001, 7(4): 281-305.
- [17] 赖毅东, 宁正祥. 生物防腐剂——细菌素[J]. **广州食品工业科技**, 2002, 18(4): 54-56.
- [18] 刘媛媛, 冯杰. 细菌素在动物生产中的应用前景[J]. **饲料添加剂**, 2005, (7): 21-23.

- [19] Rufino J D , Jose L R B , Declan P C , et al. Purification and partial amino acid sequence of plantaricin S , a bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* LPCO10 , the activity of which depends on the complementary action of two peptides[J]. **Applied and Environmental Microbiology** , 1995 (2) :459 - 4463.
- [20] Todorov S , Onno B , Sorokine O , et al. Detection and characterization of a novel antibacterial substance produced by *Lactobacillus plantarum* ST 31 isolated from sourdough[J]. **International Journal of Food Microbiology** , 1999 (48) :167 - 177.
- [21] Bruno J M , Sineriz F , Gonzalez D , et al. Chemostat production of plantaricin C By *Lactobacillus plantarum* LL441[J]. **Applied and Environmental Microbiology** , 1998 , (9) 3512 - 3514.
- [22] 郭本恒. 益生菌[M]. 北京 : 化学工业出版社 2004. 422 - 433.
- [23] Kimaryo V M , Massawe G A , Olasupo N A , et al. The use of a starter culture in the fermentation of cassava for the production of “ kivunde ” , a traditional Tanzanian food product[J]. **International Journal of Food Microbiology** , 2000 56 :179 - 190.
- [24] Quintana M C D , Garcia P , Fernandez A G. Establishment of conditions for green table olive fermentation at low temperature [J]. **International Journal of Food Microbiology** , 1999 (51) :133 - 143.
- [25] Sanchez I , Palop L , Ballesteros C. Biochemical characterization of lactic acid bacteria isolated from spontaneous fermentation of ‘ Almagro ’ eggplants[J]. **International Journal of Food Microbiology** , 2000 (59) :7 - 9.
- [26] Tamang J P , Sarkar P K. Microbiology of mesu , a traditional fermented bamboo shoot product[J]. **International Journal of Food Microbiology** , 1996 29 :49 - 58.
- [27] 杨洁彬. 乳酸菌—生物学基础及应用[M]. 北京 : 中国轻工业出版社 , 1999. 3 - 8.
- [28] 孙雷. 发酵香肠成熟过程中微生物及理化变化[J]. 淮海工学院学报 : 自然科学版 2004 13(4) 64 - 67.
- [29] Hugas M , Garriga M , Aymerich T. Biochemical characterization of lactobacilli isolated from dry sausages[J]. **International Journal of Food Microbiology** , 1993 , 18 :107 - 113.
- [30] 张兰威. 植物乳杆菌对成熟过程风干香肠特性的影响[J]. 食品与机械 2001 (4) 21 - 25.
- [31] 张中义. 产共轭亚油酸乳酸菌的筛选及产物分析[J]. 中国农业大学学报 2004 9(3) 5 - 8.
- [32] 胡国庆. 植物乳杆菌在不同基质中转化生成共轭亚油酸的研究[J]. 郑州工程学院学报 2004 6 53 - 56.

(责任编辑 李春丽)

(上接第 120 页)

- [25] 沈晓盛 , 王锡昌. 鱼面的加工工艺[J]. 食品与发酵工业 , 2004 , 30(2) :135 - 137.
- [26] 杨贤庆 , 季来好. 冻模拟蟹肉加工技术[J]. 制冷 , 2002 , 21(2) :67 - 69.
- [27] Philip C. More good news about fish oil[J]. **Nutrition** , 2001 , 17 :158 - 160.
- [28] El Hassan B. A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil[J]. **Enzyme and Microbial Technology** , 2000 , 26 :516 - 529.
- [29] Isabel M V. The content and nutritional significance of mineral on fish flesh in the presence and absence of bone[J]. **Food Chemistry** , 2000 , 71 :503 - 509.
- [30] 张彩菊 , 张愨. 利用美拉德反应制备鱼味香精[J]. 无锡轻工大学学报 , 2004 , 23(5) :11 - 15.
- [31] Suganya C. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads[J]. **Food Chemistry** , 2000 , 69 :289 - 294.
- [32] Toshiyuki I. Physical properties of type I collagen extracted from fish scales of *Pagrus major* and *Oreochromis niloticas*[J]. **Biological Macromolecules** , 2003 , 32 :199 - 204.
- [33] Piotr S. Preliminary study on chemical and physical principles of astaxanthin sorption to fish scales towards applicability in fisheries waste management[J]. **Aquaculture** , 2004 232 :293 - 303.
- [34] 王彩理. 鱼鳞制胶及其综合利用[J]. 齐鲁渔业 , 2002 , 19(3) :40 - 41.
- [35] Takeshi N. Isolation of collagen from fish waste material—skin , bone and fins[J]. **Food Chemistry** , 2000 , 68 :277 - 281.

(责任编辑 杨萌)