

乳酸菌的抗氧化活性及其在水产品加工中的应用

王悦齐^{1,2}, 吴燕燕¹, 李来好^{1,*}, 王锡昌², 蔡秋杏¹, 杨贤庆¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 广东广州 510300;

2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要:近年来, 抗氧化活性研究已成为食品科学领域的研究热点。本文根据国内外乳酸菌抗氧化能力研究的现状, 从乳酸菌抗氧化评价体系、作用机制及其在水产品加工的应用现状进行论述, 旨在为水产加工行业更好地利用乳酸菌的抗氧化活性提供参考依据。

关键词:乳酸菌, 抗氧化, 评价体系, 机制, 应用

Antioxidant activity of lactic acid bacteria and its application in aquatic products processing

WANG Yue-qi^{1,2}, WU Yan-yan¹, LI Lai-hao^{1,*}, WANG Xi-chang², CAI Qiu-xing¹, YANG Xian-qing¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;

2. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The antioxidative activity had been become a hot topic in the field of food science in recent years. Research status on lactic acid bacteria in the world were introduced in this article. Then the evaluation system of antioxidative activity by lactic acid bacteria, their mechanism and applications in aquatic product were discussed. The main purpose of this study was to provide reference for utilizing antioxidative activity of lactic acid bacteria all the better in aquatic products processing industry.

Key words: lactic acid bacteria; antioxidation; evaluation system; mechanism; application

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)08-0356-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.08.066

水产品营养价值高, 具有高蛋白低脂肪的特点, 是人类摄取优质动物蛋白的重要来源之一^[1]。然而水产品容易发生脂肪氧化变质, 其主要原因是发生自动氧化反应, 产生过氧化物, 过氧化物进一步分解形成醛酮类物质, 从而产生强烈的哈喇味^[2]。目前防止水产品发生氧化的主要措施是添加化学抗氧化剂如苯酚类、吡啶类、醛酮类等, 随着水产品安全事件频繁发生, 消费者开始质疑化学抗氧化剂的安全性, 因此开发天然抗氧化剂成为水产加工行业的迫切需求^[3]。乳酸菌作为公认的食品级微生物, 经过乳酸菌发酵的食品营养丰富, 风味独特, 同时大量研究表明乳酸菌具有维持肠道平衡、降低血清胆固醇、抗肿瘤活性、控制内毒素、抗氧化活性等功效^[4-5], 但与其他功能的开发与研究相比, 乳酸菌的抗氧化活性还没

有充分利用。因此从食品的安全性和功能性出发, 筛选出具有高抗氧化活性的乳酸菌并将其应用于水产品加工过程中, 对水产品质量安全控制具有重要的现实意义和研究价值。

1 乳酸菌抗氧化活性的评价体系

乳酸菌的抗氧化活性是20世纪90年代发现的新特性, 国内外对此方面的研究有一定报道, 主要集中在美国、日本和中国台湾等国家和地区。乳酸菌的抗氧化活性的评价体系主要包括以下三个方面: 利用乳酸菌体外抗氧化活性实验对乳酸菌的完整细胞和无细胞提取物的抗氧化能力进行评价; 利用动物模型和离体组织模型对乳酸菌的抗氧化活性进行评价; 利用乳酸菌发酵制品进行临床实验对乳酸菌抗氧化活性进行评价。

收稿日期: 2014-06-09

作者简介: 王悦齐(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产加工与贮藏。

* 通讯作者: 李来好(1963-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 水产加工与贮藏。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371800); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201301C01, A201201H04); 中国水产科学研究院基本科研业务费资助(2014C05XK01)。

1.1 利用体外抗氧化活性实验评价

目前,利用体外实验对乳酸菌的抗氧化活性进行初步探讨已见诸报道。乳酸菌体外抗氧化活性的测定是以整合铜铁金属离子、清除自由基、抑制脂质过氧化和调控黄嘌呤氧化酶等作为评价指标,在体外产生自由基发生体系,对乳酸菌的完整细胞和无细胞提取物的抗氧化能力进行初步评定。Ng等^[6]研究了来自台湾银线兰的乳酸菌抗氧化活性,分析了总抗氧化活性、还原力、超氧自由基(O₂⁻)和过氧化物的作用,发现所筛选的乳酸菌都具有不同程度的还原活性,其中长乳杆菌的抗氧化活性最高,在700nm波长处测还原能力,其吸光度达到0.3,清除自由基的能力达27%~30%。Raffaella等^[7]报道了嗜酸乳杆菌(*L. plantarum* FP3)发酵樱桃茎的提取液的抗氧化活性,结果表明*L. plantarum* FP3对亚油酸过氧化反应的抑制率为33.2%,对DPPH·的清除率为52.1%,证明该嗜酸乳杆菌具有较高的抗氧化能。Matamoros等^[8]从MAP包装鲜鱼中分离筛选出了32株具有抗氧化活性的菌株,通过对清除自由基、抑制脂质过氧化和调控黄嘌呤氧化酶等指标测定,发现*Leuc. gelidum* EU2247抗氧化活性最高。刘宏宇等^[9]对25株乳酸菌的菌体和无细胞提取物进行体外抗氧化性,研究发现干酪乳杆菌GL-2体外抗氧化活性最强,菌体和无细胞提取物DPPH自由基清除率分别为37.22%、42.78%,还原活性分别相当于104.84、107.10μmol/L L-半胱氨酸。蹇宇等^[10]通过抑制脂质过氧化和整合金属离子等方法,分析了从青藏高原的自然发酵牦牛酸奶样品中分离纯化得到15株乳酸菌的抗氧化能力。综上所述,具有抗氧化活性的乳酸菌以乳酸链球菌属和乳杆菌属为主,并且不同菌株间的抗氧化活性存在明显的差异性,其主要原因是菌体表面的某些活性成分随菌体及自由基的不同而产生差异,因此体外实验通过体外环境模拟氧化体系可对乳酸菌抗氧化活性做初步评定。

1.2 利用动物模型进行体内实验评价

体外实验能够初步评定乳酸菌抗氧化活性,但要评价乳酸菌对机体是否也具有抗氧化能力,则需要通过建立动物模型或细胞模型,测定动物血液或细胞组织的生理指标^[11],如抗氧化酶系的变化、丙二醛(MDA)含量、抗脂质水平等来评价乳酸菌对机体的抗氧化活性^[12]。Marcela等^[13]通过对德式乳杆菌187、嗜酸乳杆菌180、瑞士乳杆菌LAT179等多种菌株进行复配添加到鸡饲料中,研究该复合菌对鸡的抗氧化水平和体内环境的影响。结果发现鸡口服益生菌后体重增加,血清中MDA含量明显下降,抗氧化水平得到提高。Tsai等^[14]研究了用干酪乳杆菌(*L. paracasei* subsp. NTU 101)及植物乳杆菌(*L. plantarum* NTU 1020)发酵的牛奶豆奶混合液喂养后的大颊鼠,通过与不经过乳酸菌发酵的牛奶豆奶混合液相比,发现两种乳酸菌都能提高大颊鼠血液的超氧化物歧化酶(SOD)活性,分别提高16.7% ($p < 0.05$)和31.3% ($p < 0.05$)。结果表明经过干酪乳杆菌和植物乳杆菌发酵的混合乳能有效地预防和抑制高血脂引起的动脉硬化。闻平

等^[15]报道了明串珠菌*L.SP.HXQ 001*对家兔抗氧化能力影响的体内实验,通过对比家兔口服该菌液前后的SOD酶活性、血清中MDA含量及GSH-px水平,结果发现家兔服用该菌液后红细胞SOD活性和血清GSH-px活性明显增高 ($p < 0.05$),而血清MDA含量明显下降 ($p < 0.05$),表明菌株*L.SP.HXQ 001*能显著改善家兔机体的总抗氧化能力。综上述学者的研究发现,不同乳酸菌菌株在不同体内实验模型下表现出显著的菌株特异性,乳酸菌菌液能提高实验动物血液的SOD活性和降低血清MDA含量,因此从体内实验的角度证明乳酸菌对机体同样具有抗氧化活性。

1.3 利用临床实验评价

由于人体与动物的新陈代谢存在一定差异性,因此评价乳酸菌对人体的抗氧化活性需要临床实验来验证^[16],然而临床实验对乳酸菌抗氧化活性的研究一般是通过测定发酵产品在人体中血清MDA含量、清除自由基以及SOD活性等各项指标在人体的变化,来确定乳酸菌对人体抗氧化作用的影响^[17]。人体实验具有局限性和复杂性,导致目前关于乳酸菌抗氧化活性的临床研究较少,其抗氧化活性对人体影响的研究尚鲜见报道,目前仅局限于利用几株已获得专利认证的乳酸菌如Bh12、ME-3来进行研究。Ejtahed HS等^[18]在观察双歧乳杆菌Bh12和嗜酸乳杆菌Las对II型糖尿病人的氧化应激水平影响的临床实验中发现,每天给病人服用300g经过双歧乳杆菌Bh12和嗜酸乳杆菌Las发酵的酸奶,并以传统普通酸奶为参照,糖尿病患者摄入含有Bh12和Las的酸奶后,机体红细胞的红细胞SOD总活性和血清谷胱甘肽(GSH-px)活性明显增高,而血清MDA含量明显下降,并且这些指标能够维持较长的时间,机体总抗氧化能力得到显著的提高。Kullisaar Tiiu等^[19]报道了乳酸菌ME-3对人体抗氧化活性的实验,21名自愿者每天饮用150g经发酵乳杆菌ME-3发酵的羊乳(10⁹CFU/mL),并以新鲜的羊奶为对照。3周后发现,ME-3发酵的羊乳能显著降低自愿者血浆中氧化低密度脂蛋白和尿液中的前列腺素水平,提高了机体的总抗氧化水平。Tijana等^[20]报道了以荞麦、麦胚、大麦和黑麦这四种谷物为对象研究,发现人体食用通过酿酒酵母菌和乳酸杆菌发酵后的谷物机体抗氧化水平得到提高。总之,目前的人体实验研究结果表明乳酸菌在机体抗氧化方面有特定的效果,但随着菌株种类、产品形式和有效剂量的不同其抗氧化作用存在着明显的差异,因此临床实验对乳酸菌抗氧化活性的评价需更深层次的研究。

2 乳酸菌抗氧化活性机制

研究已证实乳酸菌具有体内缓解氧化应激能力和体外抗氧化性能,其本质是清除各种活性氧和自由基,抑制核酸、蛋白质和脂类氧化^[21-22]。但是到目前为止,乳酸菌抗氧化的具体过程和分子机制尚不明确,根据目前的研究结果,乳酸菌抗氧化作用机制主要有以下四种。

2.1 清除活性氧和自由基系统

清除活性氧和自由基系统的功能主要是防御清

除活性氧和自由基对细胞的攻击。乳酸菌中常见的活性氧和自由基包括过氧化氢(H_2O_2)、超氧自由基(O_2^-)和羟自由基($\cdot OH$),其中 $\cdot OH$ 的活性最高。 $\cdot OH$ 主要是由 O_2 、 H_2O_2 通过Fenton反应 $Fe^{2+}+H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+}+\cdot OH+OH^-$ 和Haber-Weiss反应 $O_2+H_2O_2 \rightarrow O_2+OH^-+\cdot OH$ 产生的。Tomomi^[23]、刘洋等^[24]都报道了植物乳杆菌和瑞士乳杆菌能够发酵乳糖,并且具有清除 O_2 和DPPH·自由基的能力。

2.2 抗氧化酶系统

乳酸菌具有抗氧化酶系统,包括SOD酶、NADH酶、过氧化氢酶(CAT)等。抗氧化酶在防御活性氧中扮演了重要角色,SOD酶通过歧化反应 $O_2+2H^+ \rightarrow H_2O_2+O_2$ 从而实现消除 O_2 对乳酸菌的毒害作用^[25]。Kullisaar^[26]和李璇^[27]都认为抗氧化酶之间存在着协同保护作用,单一的抗氧化酶无法发挥抗氧化酶的抗氧化效果,只有多种抗氧化酶的协同作用才能有效提高乳酸菌的抗氧化活性。黄玉军等^[28-29]研究了6株分离自江苏如皋长寿村人群肠道的乳酸菌,结果发现发酵乳杆菌L2、L4,屎肠球菌E2对 H_2O_2 耐受能力较强与SOD、CAT和GSH-Px的产生量有关。

2.3 还原调控系统

乳酸菌中的氧化还原调控系统主要由谷胱甘肽系统、硫氧还蛋白系统和“NADH氧化酶/NADH过氧化酶”系统组成^[30-31]。Sule Coskun等^[32]报道了用保加利亚乳杆菌A13和B13的菌悬液($10^{10}mL^{-1}$)给小鼠连续灌胃15d,发现小鼠小肠内GSH-px的含量分别提高了 $2.9\mu mol/g$ 和 $1.7\mu mol/g$,从而证明了这两株具有改善小鼠的非酶抗氧化能力的功效;Lountos等^[33]研究发现,NADH氧化酶能够抵抗氧化胁迫,大多数的乳酸菌之所以不能够合成亚铁血红素主要是由于缺乏基于亚铁血红素的氧化酶或过氧化酶。

2.4 氧化损伤修复系统

较多学者认为氧化损伤修复系统是抗氧化应激的最终机制。当机体被活性氧和自由基严重氧化时就会造成蛋白质、核酸、生物膜和脂类等破坏性的损坏,其中以蛋白质氧化损伤和DNA氧化损伤为主^[34]。蛋白质氧化损伤修复主要指蛋白酶和调控基因使氧化损伤的蛋白质降解成基本单位,而降解后的基本单位再合成氧化损伤掉的新蛋白质^[21]。DNA氧化损伤修复主要是指蛋白酶和调控基因修活性氧和自由基对碱基和单双链的破坏^[35]。Kirsi等^[36]从乳酸链球菌中发现HdiR转录调节因子和recA基因在DNA损伤时能诱导靶基因的表达,证明了乳酸菌主要依靠HdiR转录调节因子和recA基因修活性氧和自由基对DNA氧化损伤作用。

3 乳酸菌抗氧化活性在水产品中的应用现状

乳酸菌作为益生菌家族重要一员,广泛地应用于水产品加工业,国内外研究者利用乳酸菌发酵技术对鱼糜制品、腌鱼制品、鱼米制品和水产调味品进行了研究^[37]。从现有文献看,研究主要集中在对比发酵前后,乳酸菌对水产制品感官性能、滋味、气味、营养和贮藏品质的影响。

3.1 国外应用研究现状

据报道,L-JYin等^[38]将植物乳杆菌、乳酸乳球菌、干酪乳杆菌以及乳杆菌这四株菌株的混合菌株对鲮鱼进行接种,在 $37^\circ C$ 条件下发酵72h后发现鱼制品中乳酸菌大量增殖,其他杂菌的生长得到抑制,水溶性和盐溶性肌肉蛋白均被降解,产品游离氨基酸大幅增加,风味得到提高,脂肪氧化也得到抑制。Katikou等^[39]研究了两株具有优良抗氧化活性的乳酸菌*Lb. sakei* CECT4808和*Lb. curvatus* CECT 904对红鳟鱼块真空冷冻贮藏过程中的品质的影响,结果发现菌株*Lb. sakei* CECT4808的抗氧化活性更好,不仅能延长货架期,而且能一定程度上抑制贮藏过程中脂肪的氧化。Kang等^[40]报道了短乳杆菌对人体抗氧化活性的实验,食用短乳杆菌发酵海带能够显著降低48名健康自愿者血清中丙二醛含量,同时血清SOD酶和CAT酶活力也有显著的提高。Tomomi等^[23]从鲫鱼寿司分离筛选出4株植物乳杆菌和1株肠膜明串珠菌,经过体外实验测定,两株乳酸菌7FM10和1RM3呈现出优良的抗氧化活性,经过这两株菌株发酵后的豆奶和果汁对清除超氧自由基(O_2^-)能力明显提高,同时两株菌株的抗氧化活性比单一菌株的作用明显增强。Sanni等^[41]研究了经过乳酸菌发酵的加纳鱼调味品Momoni的理化性质,分析了产品的发酵特性和发酵前后的清除自由基能力。Uchida等^[42]研究了乳酸菌及大豆酱曲等对鲤鱼加工性能的影响,结果表明乳酸菌有效抑制了脂肪氧化、去除了鲤鱼的腥味及产品各项营养指标也得到提高。

3.2 国内应用研究现状

国内对乳酸菌抗氧化活性的应用较少,主要集中在乳酸菌对产品发酵工艺的优化和风味的改善,而具体将乳酸菌做为抗氧化剂应用于水产品加工只是初有涉及。王乃富等^[43]报道了鳙鱼肉糜经过乳酸菌发酵后抗氧化活性的变化。结果发现,乳酸菌发酵可显著提高鳙鱼肉糜还原能力、清除DPPH·能力和 O_2^- 自由基清除能力,说明乳酸菌发酵是改善鳙鱼肉糜抗氧化活性的一种有效方式。周长艳等^[44]用干酪乳杆菌、香肠乳杆菌、乳酸乳杆菌作为混合菌株对腊鱼进行接种,结果发现发酵后的腊鱼质地良好,咸度低,保留了传统腊鱼的香腊味,其TVB-N值(挥发性盐基氮)和过氧化值分别降低了34.9%和51.6%,说明乳酸菌不仅能改善腊鱼的品质还起到抗氧化的功效。吴燕燕等^[45-47]发现采用低盐结合乳酸菌法制备腌干鱼,不仅能提升腌干鱼肉特有的风味,而且显著提高产品的品质和安全性,同时也发现从传统腌制鱼中分离纯化得到的植物乳杆菌和戊糖片球菌具有降低亚硝酸盐的能力。林胜利等^[48]将乳杆菌Z40应用于鱼糜发酵,结果发现鱼糜体系中pH快速降低,TVB-N值也明显降低,说明该乳酸菌适合发酵鱼制品的生产。刘忠义等^[49]研制了乳酸菌发酵红曲鱼的方法,克服了自然发酵难以保证的卫生安全且含盐量高的缺陷。胡永金等^[50]研究了乳酸菌对淡水鱼糜发酵的影响,利用乳酸菌发酵技术开发出了更符合中国人饮食特点的优质发酵鱼糜。曾雪峰等^[51]发现从传统酸

鱼中分离的乳酸菌菌种更适合作为生产发酵鱼的发酵剂,乳酸菌发酵能够有效改善酸鱼的品质和保留传统酸鱼的独特风味,研制出能够实现酸鱼工业化生产的发酵技术。

3.3 应用关键点

水产品易发生氧化酸败,使其质量和经济价值受到影响,基于乳酸菌的抗氧化活性改进水产品的加工工艺,对提高水产品的质量和安全具有重要的意义。目前在水产品加工业中主要通过浸泡法和喷淋法^[52]将乳酸菌作用于水产品,但这两种方法难以将乳酸菌渗透到水产品中,导致作用效果不明显,因此可选用浸泡法和多点注射法结合,使菌液与水产品接触更充分、作用更均匀。乳酸菌属于兼性厌氧菌受环境因素影响较大,一般适合在密封环境,pH6.5左右、温度30~37℃、盐度低于8%的环境下生长,因此,将其应用于水产品加工过程中需综合考虑乳酸菌的生长特性从而优化出最佳的工艺条件。另外,大多数乳酸菌会产生抗菌的细菌素,因此使用复合菌种发酵时应对菌种之间的拮抗性进行验证,以便于达到最佳的复配效果。

4 乳酸菌抗氧化活性在水产品中的应用前景

我国是最早利用乳酸菌发酵食品的国家之一,拥有丰富乳酸菌菌种资源,这为筛选天然乳酸菌作为抗氧化剂提供了良好条件。乳酸菌作为公认的益生菌,已有较多报道证明其具有突出的抗氧化活性,而目前关于乳酸菌的应用主要集中在乳制品、肉制品加工业,在水产品加工业中对乳酸菌的抗氧化活性的应用研究较少。首先乳酸菌可以作为抗氧化剂,通过清除自由基、抑制脂质过氧化、降低丙二醛含量和提高抗氧化酶活力等作用用于微加工水产品,有益于保持水产品的营养价值和改善水产品的风味。已有学者^[45]研究发现采用乳酸菌低盐发酵法制备的腌干鱼,不仅能改善腌干鱼的风味而且能降低亚硝酸盐含量,若结合具有抗氧化活性的乳酸菌进行发酵腌干鱼,这对提高腌干鱼的品质具有重要的现实意义。其次发酵食品是人们摄入外源乳酸菌重要途径,筛选安全的抗氧化活性乳酸菌菌株来生产发酵水产制品,如发酵风味咸鱼、发酵鱼糜、鲫鱼寿司等,有利于实现功能性发酵食品扩大化生产。

基于食品抗氧化活性研究已成为科研工作者新兴的研究热点,但我国对乳酸菌的抗氧化活性研究起步较晚,许多问题有待进一步阐明。其研究的重点一方面是对食品抗氧化活性的机理进行研究,另一方面是对天然抗氧化剂的筛选及某些疾病的治疗效果进行研究。从经济价值角度考虑,目前我国水产加工行业缺少具有突出抗氧化活性的天然抗氧化剂,因此如何借助生物技术筛选出具有高抗氧化活性的乳酸菌成为其在水产品加工中应用的关键。从理论研究角度考虑,开展对具有抗氧化活性的乳酸菌的筛选和评价工作,运用微生态观点研究抗氧化机制,也有助于丰富现有的抗氧化理论。总之,随着人们对乳酸菌抗氧化功能的认识和食品科学的迅速发展,开发乳酸菌抗氧化功能产品必将会受到科研工作者

的青睐和消费者的欢迎。

参考文献

- [1] 赵永强,李来好,杨贤庆,等. 臭氧在水产品加工中应用综述[J]. 南方水产科学,2013(5):159-164.
- [2] Kulawik Piotr, Ozogul Fatih, Glew Robert, et al. Significance of Antioxidants for Seafood Safety and Human Health[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012(3):298-305.
- [3] Ana Sanches-silva, Denise Costa, Tânia G Albuquerque, et al. Trends in the Use of Natural Antioxidants in Active Food Packaging: a Review[J]. Food Additives & Contaminants: Part a, 2014, 31(3):374-395.
- [4] AY Tamime. Lactic Acid Bacteria - Microbiological and Functional Aspects[J]. Int J Dairy Technol, 2013, 66(1):87-94.
- [5] D Morales-alamo, J AL Calbet. Free Radicals and Sprint Exercise in Humans[J]. Free Radical Research, 2014, 48(1):30-42.
- [6] Ng Chang-chai, Wang Chung-yi, Wang Ya-ping, et al. Lactic Acid Bacterial Fermentation on the Production of Functional Antioxidant Herbal Anoectochilus Formosanus Hayata[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2010, 111(3):289-293.
- [7] Di Cagno Raffaella, Surico Rosalinda Fortunata, Minervini Giovanna, et al. Exploitation of Sweet Cherry (prunus Avium L.) Puree Added of Stem Infusion Through Fermentation By Selected Autochthonous Lactic Acid Bacteria[J]. Food Microbiology, 2011, 28(5):900-909.
- [8] Matamoros S, Pilet M F, Gigout F, et al. Selection and Evaluation of Seafood-borne Psychrotrophic Lactic Acid Bacteria as Inhibitors of Pathogenic and Spoilage Bacteria[J]. Food Microbiology, 2009, 26(6):638-644.
- [9] 刘宏宇,汪立平,艾连中,等. 乳酸菌的抗氧化活性和耐酸耐胆盐性能的研究[J]. 食品工业科技, 2014(2):92-96, 99.
- [10] 骞宇,赵欣,李银聪,等. 青藏高原自然发酵牦牛酸奶中乳酸菌的抗氧化能力的研究[J]. 食品工业科技, 2014(3):119-122.
- [11] 张江巍,曹郁生. 乳酸菌抗氧化活性的研究进展[J]. 中国乳品工业, 2005(1):35-38.
- [12] Sahitya Chetan Pandanaboina, Shanmugam Ramudu Kondeti, Sangeetha Lakshmi Rajbanshi, et al. Alterations in Antioxidant Enzyme Activities and Oxidative Damage in Alcoholic Rat Tissues: Protective Role of Thespesia Populnea[J]. Food Chemistry, 2011, 132(1):150-159.
- [13] M Capcarova, P Hascik, A Kolesarova, et al. The Effect of Selected Microbial Strains on Internal Milieu of Broiler Chickens After Peroral Administration[J]. Research in Veterinary Science, 2011, 91(1):132-137.
- [14] TY Tsai, LH Chu, CL Lee, et al. Atherosclerosis-preventing Activity of Lactic Acid Bacteria - fermented Milk - soymilk Supplemented with Momordica Charantia[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(5):2065-2071.
- [15] 闻平,黄锡全,汪毅,等. L.SP.HXQ001菌对家兔抗氧化能力的影响[J]. 中国微生物学杂志, 2002(2):15.
- [16] 陈卫,田丰伟,赵鑫,等. 乳酸菌干预氧化应激的研究进展[J]. 中国食品学报, 2012(11):7-13.

- [17] Achuthan Anju A, Duary Raj Kumar, Madathil Anupama, et al. Antioxidative Potential of Lactobacilli Isolated From the Gut of Indian People[J]. Molecular Biology Reports, 2012, 39(8): 7887-7897.
- [18] Hanie S Ejtahed, Javad Mohtadi-nia, Aziz Homayouni-rad, et al. Probiotic Yogurt Improves Antioxidant Status in Type 2 Diabetic Patients[J]. Nutrition, 2012, 28(5): 539-543.
- [19] Kullisaar Tiiu, Songisepp Epp, Mikelsaar Marika, et al. Antioxidative Probiotic Fermented Goats' Milk Decreases Oxidative Stress-mediated Atherogenicity in Human Subjects[J]. The British Journal of Nutrition, 2003, 90(2): 449-456.
- [20] Tijana M Đorđević, Slavica S Šiler-marinković, Suzana I Dimitrijević-branković. Effect of Fermentation on Antioxidant Properties of Some Cereals and Pseudo Cereals[J]. Food Chemistry, 2009, 119(3): 957-963.
- [21] 杨郁荪, 白明. 乳酸菌抗氧化机理的初步探讨[J]. 中国乳业, 2011(7): 71-76.
- [22] Jones R M, Mercante J W, Neish A S. Reactive Oxygen Production Induced By the Gut Microbiota: Pharmacotherapeutic Implications[J]. Current Medicinal Chemistry, 2012, 19(10): 1519-1529.
- [23] T Kanno, T Kuda, C An, et al. Radical Scavenging Capacities of Saba-narezushi, Japanese Fermented Chub Mackerel, and Its Lactic Acid Bacteria[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2012, 47(1): 25-30.
- [24] 刘洋, 郭宇星, 潘道东. 4种乳酸菌体外抗氧化能力的比较研究[J]. 食品科学, 2012(11): 25-29.
- [25] Mahdi Ghanbari, Mansooreh Jami, Konrad J Domig, et al. Seafood Biopreservation By Lactic Acid Bacteria—a Review[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2013(2): 315-324.
- [26] Kullisaar Tiiu, Zilmer Mihkel, Mikelsaar Marika, et al. Two Antioxidative Lactobacilli Strains as Promising Probiotics [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 72(3): 215-224.
- [27] 李璇, 岳红, 王升, 等. 影响植物抗氧化酶活性的因素及其研究热点和现状[J]. 中国中药杂志, 2013(7): 44-49.
- [28] 黄玉军, 刘冬, 赵兰凤, 等. 6株人源乳酸菌体外抗氧化活性的比较[J]. 现代食品科技, 2013(7): 1518-1522, 1532.
- [29] 顾瑞霞, 刘东, 黄玉军, 等. 一株人源具有抗氧化功能干酪乳杆菌grx12及其应用: 中国, CN103343107A[P]. 2013-10-9.
- [30] JM Myers, WE Antholine, CR Myers. The Intracellular Redox Stress Caused By Hexavalent Chromium Is Selective for Proteins That Have Key Roles in Cell Survival and Thiol Redox Control [J]. Toxicology, 2011, 281(1): 37-47.
- [31] Li Yin, Hugenholtz Jeroen, Abee Tjakko, et al. Glutathione Protects Lactococcus Lactis Against Oxidative Stress[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2003, 69(10): 5739-5745.
- [32] Şule Coşkun, Belma Aslim, Zehra Nur Yuksekdog. Effect of Two Strains of *Lactobacillus Delbruckii* Subsp. *Bulgarius* on Nitric Oxide Generation and Antioxidant Status of Rat Small Intestine[J]. Medicinal Chemistry Research, 2010, 19(9): 1082-1091.
- [33] George T Lountos, Rongrong Jiang, William B Wellborn, et al. The Crystal Structure of Nad(p)h Oxidase From Lactobacillus Sanfranciscensis: Insights Into the Conversion of O₂ Into Two Water Molecules By the Flavoenzyme[J]. Biochemistry, 2009, 45(32): 9648.
- [34] Christiaan F Labuschagne, Edwin C A Stigter, Margriet M W B Hendriks, et al. Quantification of in Vivo Oxidative Damage in Caenorhabditis Elegans During Aging By Endogenous F3-isoprostane Measurement[J]. Aging Cell, 2013, 12(2): 12-19.
- [35] Ríos-Arrabal Sandra, Artacho-Cordón Francisco, León Josefa, et al. Involvement of Free Radicals in Breast Cancer[J]. Springerplus, 2013, 2(3): 40-44.
- [36] Savijoki Kirsi, Ingmer Hanne, Frees Dorte, et al. Heat and Dna Damage Induction of the Lexa-like Regulator Hdir From Lactococcus Lactis Is Mediated By RecA and Clpp[J]. Molecular Microbiology, 2003, 50(2): 609-621.
- [37] 彭新颜, 于海洋, 李杰, 等. 乳酸菌抗氧化作用研究进展[J]. 食品科学, 2012(23): 370-374.
- [38] L-jyin, C-lpan, S-tjiang. Effect of Lactic Acid Bacterial Fermentation on the Characteristics of Minced Mackerel [J]. Journal of Food Science, 2006, 67(2): 789-792.
- [39] Panagiotakatikou, Ioannisambrosiadis, Dimitriosgeorgantelis, et al. Effect of Lactobacillus Cultures on Microbiological, Chemical and Odour Changes During Storage of Rainbow Trout Fillets[J]. J Sci Food Agric, 2007, 87(3): 1166-1169.
- [40] Young Mi Kang, Bae-Jin Lee, Jung Il Kim. Antioxidant Effects of Fermented Sea Tangle (*Laminaria Japonica*) By Lactobacillus Brevis Bj20 in Individuals with High Level of Gamma-gt: a Randomized, Double-blind, and Placebo-controlled Clinical Study[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(3): 1166-1169.
- [41] AI Sanni, M Asiedu, GS Ayernor. Microflora and Chemical Composition of Momoni, a Ghanaian Fermented Fish Condiment [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2002, 15(5): 577-583.
- [42] Motoharu Uchida, Jie Ou, Bi-Wen Chen, et al. Effects of Soy Sauce Koji and Lactic Acid Bacteria on the Fermentation of Fish Sauce From Freshwater Silver Carp *Hypophthalmichthys Molitrix*[J]. Fisheries Science, 2005, 71(2): 422-430.
- [43] 王乃富, 李春阳, 阎征, 等. 乳酸菌发酵对鲮鱼肉糜抗氧化活性的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2010(8): 8-10, 14.
- [44] 周长艳, 黄泽元, 田国军. 乳杆菌在腌制腊鱼制品中的应用[J]. 食品科学, 2012(1): 215-218.
- [45] 吴燕燕, 游刚, 李来好, 等. 低盐乳酸菌法与传统法腌干鱼制品的风味比较[J]. 水产学报, 2014(4): 600-611.
- [46] 吴燕燕, 刘法佳, 李来好, 等. 改良离子色谱法测定咸鱼中亚硝酸盐的研究[J]. 南方水产科学, 2011(6): 1-6.
- [47] 吴燕燕, 刘法佳, 李来好, 等. GC-MS检测咸鱼中N-亚硝胺的条件优化[J]. 南方水产科学, 2012(4): 16-22.
- [48] 林胜利, 张琦琳, 聂小华. 发酵鱼制品中乳酸菌的筛选鉴定及其初步应用[J]. 食品与发酵工业, 2012(2): 61-65.
- [49] 刘忠义, 乐平, 侯芳, 等. 基于乳酸菌的混合菌种发酵的虹鲫鱼及其制备方法: 中国, 200910042552.8[P]. 2009-7-29.

(下转第364页)

民营养健康问题。

3.2.2 优化市场品种 功能食品高低端品种差异在于品牌、技术和价格三个方面。在我国功能食品产业经常出现一种结构性过剩,即低端市场产品过剩,高端市场产品短缺。要解决这个问题,只有依靠品牌积累和技术突破,在政策和资金上应该引导我国企业把加强技术进步作为企业的核心战略内容,只有走技术创新这条道路,才能使企业不仅实现低端产品市场的规模销售,还能获得高端产品市场的高利润。

3.3 评价审批方面

3.3.1 实行备案制取代非行政性审批 对于功效和机制明确的功能因子开发的功能食品推荐采用注册制,不需要再进行评价和审批,但前提条件是功能因子的安全性、构效、量效、代谢以及作用机制必须明确;对于已经能标准化生产的功能因子生产的功能食品可以实行备案制,但功能因子的标准化生产是作为备案制的前提。另外,要开展功能特性的长期跟踪评价实验(如5~10年的长期试食),确保功能食品的安全有效。此外,基于功能食品成分复杂、功能多样,不应当将目标仅仅放在所申报的1~2个功能上,或者政府列表的27个功能,对于新的功能食品或者畅销的功能食品,应持续开展功能声称的扩展研究。

3.3.2 完善监管体制 依法强化监管,充分发挥行业协会及其他社会团体监督作用,建立功能食品产品为主的全程监管的管理模式,应采用经济手段、法律手段和必要的行政手段相结合的方式,充分发挥行业协会等第三方力量,提高生产经营者诚实守信的自觉性。通过市场机制引导企业,规范发展,加强企业诚信的有效的外部监督。严格准入门槛,针对产品特点进行分类管理,加强功能食品标准体系建设,统一监管技术标准,尽快修订补充完善功能食品的法律法规,使功能食品管理有法可依。

3.4 消费引导方面

3.4.1 强调“保护健康,重在防御” 政府或协会有义务定期或适时的进行健康教育宣传。功能食品是调节生理节律,预防疾病以及促进健康和康复的食品,不是以治疗为目的药品。通过多形式、多渠道、多角度加强对公众安全意识的教育和消费观念的引导,改变科普滞后导致功能食品基本常识匮乏的普遍社会现象。着重强调“保护健康,重在防御”,短期食用不能立竿见影,需长期食用才会抵御疾病,保持健康。

3.4.2 规范市场宣传,避免错误导向 加强功能食品企业的销售模式管理,准确定位消费人群,加强法

律法规教育,引导相关企业守法经营,诚信经营。增强销售人员的专业知识教育,避免企业或销售人员对产品的错误宣传导向,使得老百姓对预期的功能食品功效产生悬殊落差,影响功能食品的社会声誉。

3.5 企业技术创新与商业模式方面

政策引导可以帮助功能食品企业找到商业模式创新的突破口,构建与环境相适应的最佳商业模式,提升功能食品企业竞争力,从而实现依靠自主创新完成功能食品产业升级的战略目标,形成持续的竞争能力。高度重视原始创新的技术创新,积极探索美国的低价销售的商业运行模式,建立电子商务的产品销售模式。

4 结论

功能食品产业是大健康产业的重要组成部分,是世界经济发达国家普遍重视发展的民生产业和朝阳产业。我国的功能食品产业正处于发展时期,虽然取得了一些令人瞩目的成绩,但仍存在着一些问题和不尽人意之处,致使功能食品的社会舆论质疑声势较大。尽管如此,国民的健康消费愿望却空前迫切,所以呼吁政府、企业、研发机构等有关部门依据我国功能食品的发展趋势、发展重点以及政策建议群策群力,确保我国功能食品产业健康有序发展。

参考文献

- [1] Andreas S. Functional foods and nutraceuticals[J]. Food Research International, 2012, 46(2):437.
- [2] 国家发改委,工信部. 食品工业“十二五”发展规划[R]. 2011.
- [3] 国家发改委,工信部. 医学科技发展“十二五”规划[R]. 2011.
- [4] 葛正炎. 目前中国保健食品研发、市场开发现状和存在问题及其对策[J]. 农学学报, 2013, 3(8):65-68.
- [5] 王玥玮. 我国保健食品发展现状及问题分析[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7):209-210, 225
- [6] 黄丽芸,刘鑫,杨景峰. 功能性食品科技创新体系现状及对策[J]. 广东农业科学, 2009, 3:168-171.
- [7] 金宗谦. 我国保健食品研发趋势及其产业发展走向[J]. 农产品加工, 2012, 12:4-5.
- [8] Galland L. Functional Foods: Health Effects and Clinical Applications. Biomedical Sciences Encyclopedia of Human Nutrition[M]: 2013: 366-371.
- [9] 李琳,李晓玺,陈玲,等. 健康食品功能化理性设计制造的基础研究进展及其发展方向[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2012, 41(10):69-76.
- [10] 杨月欣. 功能性食品评价技术的研究[J]. 食品科技, 2011, 7:52.

(上接第360页)

[50] 胡永金. 淡水鱼糜发酵及其凝胶形成机理研究[D]. 无锡:江南大学, 2007.

[51] 曾雪峰. 淡水鱼发酵对酸鱼品质影响的研究[D]. 无锡:江南大学, 2013.

[52] B M Corcoran, C Stanton, G F Fitzgerald, et al. Survival of Probiotic Lactobacilli in Acidic Environments Is Enhanced in the Presence of Metabolizable Sugars[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71(2):3060-3067.