

# 鱿鱼内脏活性物质的制备与功能研究进展

刘倩茹, 柏圣达, 赵国雨, 徐云峰, 杨最素\*

(浙江海洋大学食品与医药学院, 浙江省海洋生物医用制品工程技术研究中心, 浙江舟山 316022)

**摘要** 综述了鱿鱼内脏中生物活性物质的制备和功能研究进展, 以期进行回收利用, 提高经济价值, 并减少下脚料引起的环境污染。

**关键词** 鱿鱼; 内脏; 制备; 功能

**中图分类号** TS254.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)33-0090-03

## Research Progress on Activities Extraction and Function of Squid Organ

LIU Qian-ru, BAI Sheng-da, ZHAO Guo-yu, YANG Zui-su\* et al (Zhejiang Provincial Key Engineering Technology Research Center of Marine Biomedical Products, School of Food Science and Medical of Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316022)

**Abstract** This paper summarized the research progress on activities extraction and function of squid organ to recycle them, improve the economic value and decrease the viscera offal environmental pollution.

**Key words** Squid; Organ; Extraction; Function

近年来,随着国内外深海捕捞技术的发展,鱿鱼已成为我国主要的海洋捕捞和水产加工品种。目前,我国每年鱿鱼加工量高达40万~50万吨,居世界第1位,加工品种主要为北太平洋鱿鱼、阿根廷鱿鱼和秘鲁鱿鱼。在鱿鱼的加工过程中一般对其胴体进行加工,鱿鱼头、足、内脏及表皮等下脚料产出量约有35%。而鱿鱼加工方法仍是粗放型的,除部分下脚料加工成鱼粉外,其他的一般都采用掩埋处理<sup>[1]</sup>。因此,许多生产企业和学者们试图开发和利用鱿鱼加工后的下脚料,除可变废为宝、减少浪费和环境污染外,可极大地提升深海鱿鱼加工产品的经济价值,从而形成海洋生物技术加工的新型产业链。对鱿鱼皮制备胶原蛋白和胶原蛋白肽已有许多的研究,如具有良好保水性、吸油性、湿润性及乳化性的胶原蛋白,已在化妆品、摄影用的明胶等方面表现出良好的应用前景<sup>[2]</sup>。而胶原蛋白肽所具有的降血压、调血脂、抗氧化及抗肿瘤活性等,在食品、保健品及医疗方面具有良好的应用前景<sup>[3-4]</sup>。为此,笔者综述了近年来开展的鱿鱼内脏及各个组成部分的活性物质制备与功能研究进展。

### 1 鱿鱼内脏

鱿鱼内脏约占鱿鱼湿重的20%,内脏中含有约19%的蛋白质,鱿鱼内脏中的消化液不仅含有能促进对虾等摄饵的氨基酸,同时水解产物中的小肽、氨基酸和甜菜碱对虾具有生长促进作用。因此,水产品加工企业将鱿鱼内脏的掩埋处理,造成巨大浪费的同时又对环境造成了污染。

鱿鱼内脏水解物可以通过鱼体本身含有的消化酶和添加商业酶酶解2种方法获得。而酶解鱿鱼内脏蛋白因条件可控等更具有明显优势,是一种较好的方法。李圣艳等<sup>[5]</sup>应用胰蛋白酶酶解鱿鱼内脏,经大孔树脂和乙醇洗脱后,短肽分子量在100~2400,其中以60%梯度洗脱的水解液分子量

范围在200左右为主,对DPPH自由基清除力为40.21%。鱿鱼内脏蛋白水解液通过美拉德反应制作成鱿鱼味香精,条件为木糖与葡萄糖比1:4、丙氨酸与精氨酸比为1:1、硫酸铜0.1%、牛磺酸0.3%、pH 8.0时,在温度为115℃时反应后获得的鱿鱼味香精风味较好。当鱿鱼内脏蛋白水解度的增大,美拉德反应过程中氨基酸的消耗量增加,其中Arg、Glu、Lys、Leu的消耗量较大;多肽和还原糖的消耗量则先升高后降低,水解度为26.47%(水解4h)时二者的消耗量达到最大;MRPs的吸光度及光谱扫描值也呈现先升高后降低的趋势,其色泽先加深再变浅<sup>[6-7]</sup>。另外,利用鱿鱼内脏废弃物经初级加工后形成的鱿溶浆、鱿鱼内脏粉等可作为鱼类和虾水产饲料<sup>[8]</sup>,或直接用于肉食性较强的鲈、塘虱鱼等鱼类饲料,但利用率及经济效益都不太高<sup>[9]</sup>。通过利用鱿鱼内脏得到的鱿鱼内脏粉含有较高的牛磺酸、维生素和锌等成分,被用作强化食品的原料。另外,也可采用酶解发酵等方法,作为制造酱油或天然调味品的原料<sup>[10]</sup>。西班牙和日本已经有鱿鱼酱油的生产与销售<sup>[11]</sup>,而我国也有天然调味品或产品的研究报道<sup>[12-13]</sup>。

### 2 鱿鱼肝脏

梁佳等<sup>[14]</sup>通过酶解技术和凝胶蛋白分离技术等,将20kD鱿鱼肝脏蛋白酶解液经超滤和Sephadex G-100初步分离,发现组分II降血压活性最强,IC<sub>50</sub>为1.8mg/mL,认为鱿鱼肝脏可开发为降血压活性肽。王林等<sup>[15]</sup>用胃蛋白酶酶解鱿鱼肝脏,以水解度和α-葡萄糖苷酶(AG)抑制活性为指标,得出最佳条件:底物浓度为0.4%,酶与底物的质量比为3.0%,pH为3.0,温度为37℃,反应时间为12h。水解液用Sephadex LH-20凝胶层析柱分离后,得到6个组分,组分III的AG抑制活性最高,IC<sub>50</sub>达0.215mg/mL,组分III对酸碱、热及消化道酶系统有较高的稳定性。郭无瑕等<sup>[16]</sup>研究发现鱿鱼肝脏中提取精炼后的鱿鱼油澄清透明,呈淡黄色,带有鱼腥味,各项指标均符合SC/T3502-2000鱼油一级标准;精炼鱿鱼油中含多不饱和脂肪酸(PUFA)的量占36.5%,其中EPA和DHA的含量分别为13.1%和20.3%。

**基金项目** 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目(2016R411059);浙江海洋大学大学生科技创新项目(xj201549)。

**作者简介** 刘倩茹(1996—),女,浙江衢州人,本科生,专业:药学。  
\*通讯作者,教授,从事海洋药学、海洋生物资源综合利用研究。

**收稿日期** 2017-09-28

### 3 鱿鱼墨汁

鱿鱼墨的主要成分是黑色素和蛋白多糖的复合体。其中,黑色素几乎为纯净的真黑色素<sup>[17]</sup>,以 DHI 及 DHICA 组成为主,仅含 5% 左右的结合蛋白<sup>[18]</sup>。在碱性 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 条件下,DHI 和 DHICA 分别被氧化为 2,3-二羧酸吡咯和 2,3,5-三羧酸吡咯<sup>[19-22]</sup>。而黑色素具有很强的阳离子络合特性,主要通过羧基和去质子化羟基等阴离子起作用<sup>[23]</sup>,能与 Fe(III)络合形成黑色素铁。

李丽等<sup>[24]</sup>用酸法提取鱿鱼墨多肽的最佳条件组合是 0.02 mol/L 盐酸、酸提料液比为 1:1、酸解时间为 2 h、酸解温度为 35 ℃;获得的鱿鱼墨多肽对人 DU-145 癌细胞和 PC-3 癌细胞株有增殖抑制作用,能诱导肿瘤细胞凋亡。王芙蓉等<sup>[25]</sup>研究发现,鱿鱼墨黑色素铁可提高大鼠的血红蛋白含量,使血清、肝和脾的铁含量升高,提升血清铁蛋白和促红细胞生成素(EPO)含量,使血清和肝的抗氧化能力提高,而使血清总铁结合力和转铁蛋白受体含量下降,改善了缺铁性贫血,比 FeSO<sub>4</sub> 和 FeCl<sub>3</sub> 的效果更佳,因此鱿鱼墨黑色素铁可作为潜在的有效补铁剂。经鱿鱼墨黑色素铁体内诱导所制备的 LCM、SCM 条件培养液可促使正常大鼠骨髓细胞增殖,增加 CFU-GM、CFU-E 的集落形成,骨髓细胞的 GM-CSF 和 EPOR mRNA 的表达上调,诱导机体产生 GM-CSF、EPO 等造血细胞因子,促进粒细胞单系、红细胞系的造血细胞增殖分化<sup>[26]</sup>。同时可显著促进缺铁性贫血大鼠的贫血症状,认为是改善营养型贫血类保健食品的良好原料<sup>[27]</sup>。左涛等<sup>[28]</sup>将鱿鱼墨上清液经木瓜蛋白酶酶解、醇沉、丙酮洗,再经乙酸等除去杂蛋白后得鱿鱼墨粗多糖,其多糖得率约为 1.5% (m/V),样品中多糖含量为 68.9%,蛋白含量为 8.9%。经小鼠灌胃后,发现鱿鱼墨多糖可改善免疫力低下小鼠的免疫功能,呈剂量依赖性,使胸腺指数升高,脾指数升高;同时提高小鼠肠黏膜 SIgA 的分泌功能,使肠道固有层中 IgA 明显增加,且小鼠小肠 pIgR 的蛋白表达量明显增加。

### 4 鱿鱼生殖腺

鱿鱼的生殖腺(雄性的精巢、雌性的缠卵腺、卵巢等)占了鱿鱼内脏的 20% 左右。鱿鱼生殖腺中富含丰富的磷脂,主要为磷脂酰胆碱和 PE。从鱿鱼中提取的磷脂支链脂肪酸主要是以 DHA 和 EPA 为主的不饱和脂肪酸,因此鱿鱼磷脂具有其独特的优点<sup>[29]</sup>。袁延强等<sup>[30]</sup>用 HPLC-ELSD 法测定鱿鱼生殖腺中 PC 的含量,快速准确,重现性好。也有采用分光光度法测定鱿鱼生殖腺提取物中总磷脂,方法简便、快速、准确度较高<sup>[31]</sup>。因此,鱿鱼生殖腺作为一种有潜力的磷脂来源,将会有非常广阔的市场前景。

**4.1 鱿鱼雄性精巢** 雄性鱿鱼的生殖腺称精巢,又称鱼白或鱼精,包含核蛋白、酶类以及多种微量元素(较多的是锰、锌、铜、钼等)。

核蛋白由 DNA 和鱼精蛋白组成,其中鱼精蛋白占 1/3<sup>[32]</sup>。鱼精蛋白是一个富含核酸、蛋白和微量元素的宝库,鱼精蛋白具有非常强的抗菌特性,使得鱼精蛋白的活性成分相比于人工调配有着无可比拟的优势<sup>[33]</sup>。通过对鱼精蛋白

抑菌作用的深入研究发现,鱼精蛋白的抑菌活性受使用条件(自身浓度、金属离子、有机成分、温度、pH 等因素)的影响<sup>[34-35]</sup>。钟立人等<sup>[36]</sup>采用抽提、水解,再逐渐沉淀的方法,制得纯度较高的鱿鱼鱼精蛋白,其得率约为 2.1%。王海明等<sup>[37]</sup>将精巢组织的粗提物小鼠灌胃后,发现可提高小鼠的爬杆和负重游泳时间,提高自然杀伤细胞的活性、巨噬细胞的吞噬指数和细胞免疫水平,具有抗疲劳、抗氧化及免疫调节作用,认为可以开发成海洋保健食品。

**4.2 鱿鱼雌性生殖腺** 鱿鱼雌性生殖器官包括缠卵腺和卵巢等,缠卵腺在头足类动物中普遍存在,位于直肠两侧的内脏囊壁上,位居墨囊的两侧,呈白色卵状,与头足类动物的生殖活动密切相关<sup>[38]</sup>。Yu 等<sup>[39]</sup>在柔鱼(*Ommastrephid squid*)的缠卵腺中发现一种特殊的海洋黏蛋白,可用于制成高保湿和保护皮肤的化妆品。王倩等<sup>[40-41]</sup>通过响应面法从鱿鱼缠卵腺中提取得到糖蛋白,提取率为 12.7%,糖蛋白中糖含量为 72.5%,蛋白含量为 22.7%,硫酸根含量为 3.0%,是一种硫酸化的黏蛋白。该糖蛋白经灌胃小鼠体内试验,能明显延长小鼠的力竭游泳时间;提高运动后小鼠 LC 的储备量和 GLU 含量,提高 LDH 的活性,降低 LD 的含量,并减少了乳酸在肌肉及血液中的沉积,延缓了疲劳的发生,具有较好的抗疲劳作用。而缠卵腺糖蛋白 MGS 还具有降低血脂及提高非特异性免疫的功能<sup>[42]</sup>。尽管国内对于鱿鱼缠卵腺的研究已有报道,但仅限于糖蛋白的提取,而多肽、多糖的提取制备等研究报道甚少,如能用现代生物提取方法从中得到活性物质,并开展抗氧化、抗疲劳、提高免疫力等方面的研究,并开发功能食品,相信对于鱿鱼下脚料的综合利用会更加广阔与有效,也可避免优质资源的浪费。

### 5 展望

我国鱿鱼加工市场潜力很大,已成为庞大的原料加工和出口型产业。而目前鱿鱼加工业的产品种类比较单一,各鱿鱼加工企业产品品种不多,同质化严重,尽管对于鱿鱼中活性物质的提取与利用已有起步,但对于鱿鱼内脏下脚料的综合利用、产业化的关键技术研究 and 产业化进程仍显薄弱。21 世纪是海洋世纪,加强海洋生物医药产品的研发,加强鱿鱼内脏下脚料深加工技术,尤其是产业化关键技术的研究,开发高科技含量、高附加值的海洋生物医药产品,延伸到产业链,将具有光明的前景,将会带来海洋经济新的增长点,这正符合国家“十三五”的海洋经济的发展战略。

### 参考文献

- [1] 王燕,付万冬,郑斌. 酶法提取鱿鱼皮胶原蛋白[J]. 食品科技,2011,36(6):150-155.
- [2] 刘克海,秦玉青,徐海波,等. 鱿鱼皮胶原蛋白的提取及在化妆品中的应用[J]. 水产科学,2008,27(8):411-413.
- [3] MIZUTA S, NISHIZAWA M, SEKIGUCHI F, et al. Enzymatic solubilization of collagen in the skin of diamond squid *Thysanoteuthis rhombus*: Application of a fungal acid protease[J]. Fisheries science,2005,79(5):841-848.
- [4] 林琳,李八方. 鱿鱼皮胶原蛋白水解肽抗氧化活性研究[J]. 中国海洋药物,2006,25(4):48-51.
- [5] 李圣艳,李学英,杨宪时,等. 鱿鱼内脏制备功能性短肽的初步研究[J]. 中国农学通报,2015,31(20):39-43.
- [6] 董志俭,李冬梅,牛思思,等. 鱿鱼内脏蛋白酶解液制备鱿鱼味香精[J]. 中国食品学报,2014,14(12):51-64.

- [7] 董志俭,李冬梅,蔡路昀,等. 鲑鱼内脏蛋白水解度对美拉德反应产物褐变程度的影响[J]. 食品科学,2014,35(19):57-61.
- [8] LIAN P Z,LEE C M,PARK E,et al. Characterization of squid-processing byproduct hydrolysate and its potential as aquaculture feed ingredient[J]. Journal of agricultural and food chemistry,2005,53(14):5587-5592.
- [9] 吴少杰,张俊杰,姚兴存,等. 我国鲑鱼的综合加工利用现状与展望[J]. 食品研究与开发,2011,32(1):154-156.
- [10] LI Y,GAO K,TIAN S,et al. Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* Y5 for ethanol production from enzymatic hydrolysate of non-detoxified steam-exploded corn stover[J]. Bioresource technology,2011,102(22):10548-10552.
- [11] CHEN K Q,ZHANG H,MIAO Y L,et al. Succinic acid production from enzymatic hydrolysate of sake lees using *Actinobacillus succinogenes* 130Z[J]. Enzyme and microbial technology,2010,47(5):236-240.
- [12] 段杉,司徒兰,何宝欣. 以鲑鱼内脏为原料酿制鲑鱼酱油的工艺研究[J]. 农产品加工·学刊,2015(5):52-55.
- [13] 田爱民. 鲑鱼膏的改良技术开发与产业化[D]. 广东:华南理工大学,2012.
- [14] 梁佳,谢超,林琳,等. 鲑鱼(Squid)肝脏蛋白酶解物中 ACE 活性抑制肽的分离纯化及活性分析[J]. 海洋与湖沼,2015,46(5):1175-1179.
- [15] 王林,王鹏,胡建恩,等. 鲑鱼肝脏蛋白中  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制肽的研究[J]. 食品科技,2015,40(4):315-321.
- [16] 郭无瑕,胡建恩,王秀武,等. 鲑鱼肝脏鱼油的制备及其脂肪酸组成分析[J]. 水产学院学报,2007,22(1):77-80.
- [17] PEZZELLA A,D'ISCHIA M,NAPOLITANO A,et al. An integrated approach to the structure of sepia melanin; Evidence for high proportion of degraded 5,6-dihydroxyindole-2-carboxylic acid units in the pigment backbone[J]. Tetrahedron,1997,53(24):8281-8286.
- [18] YAN L,SIMON J D. Isolation and biophysical studies of natural eumelanins: Applications of imaging technologies and ultrafast spectroscopy[J]. Pigment cell research,2003,16(6):606-618.
- [19] ITO S,JIMBOW K. Quantitative analysis of eumelanin and pheomelanin in hair and melanomas[J]. Journal of investigative dermatology,1983,80(4):268-272.
- [20] SMIT N,VAN NIEUWPOORT F,OUT C,et al. Measurement of eumelanin by detection of PDCA and PTCA after alkaline hydrogen peroxide degradation[J]. Pigment cell research,2001,14(5):409.
- [21] BORGES C R,ROBERTS J C,WILKINS D G,et al. Relationship of melanin degradation products to actual melanin content: Application to human hair[J]. Analytical biochemistry,2001,290(1):116-125.
- [22] 王鑫玉,孙守荣,周艳华,等. 黑色素分析指标的研究进展及其应用[J]. 中国畜牧兽医,2008,35(5):31-35.
- [23] BILIŃSKA B. On the structure of human hair melanins from an infrared spectroscopy analysis of their interactions with  $\text{Cu}^{2+}$  ion[J]. Spectrochimica acta part A,2001,57(12):2525-2533.
- [24] 李丽,朱亚珠,胡晓斐,等. 鲑鱼墨多肽制备及其诱导 DU-145 和 PC-3 细胞早期凋亡研究[J]. 中国食品学报,2014,14(2):35-41.
- [25] 王芙蓉,谢中国,叶纪乾,等. 鲑鱼墨黑色素铁对缺铁性贫血大鼠的影响[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(1):86-91.
- [26] 柳东,王静凤,张小哲,等. 鲑鱼墨黑色素铁对缺铁性贫血大鼠造血调控因子的影响[J]. 食品科学,2013,34(17):317-322.
- [27] 雷敏,王玉明,王静凤,等. 鲑鱼墨黑色素铁对大鼠缺铁性贫血的治疗作用[J]. 中国医药大学学报,2007,38(6):539-543.
- [28] 左涛,李学敏,曹露,等. 鲑鱼墨多糖改善小鼠肠粘膜免疫及作用机制的研究[J]. 中国药理学通报,2013,29(8):1168-1173.
- [29] LINEHAN L G,O'CONNOR T P,BURNELL G. Seasonal variation in the chemical composition and fatty acid profile of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. Food chemistry,1999,64(2):211-214.
- [30] 袁延强,韩利文,何秋霞,等. HPLC-ELSD 法测定鲑鱼生殖腺中 PC 的含量[J]. 中国药理学通报,2013,29(8):1168-1173.
- [31] 袁延强,侯海荣,王希敏,等. 分光光度法测定鲑鱼生殖腺提取物中总磷脂[J]. 现代药物与临床,2011,26(1):63-65.
- [32] 上官新晨,蒋艳,沈勇根,等. 鱼精的研究与开发[J]. 江西农业大学学报(自然科学版),2003,25(5):742-746.
- [33] 钟立人,毋瑾超,王南舟. 理化因素对鲑鱼鱼精蛋白抑菌性的影响[J]. 上海水产大学学报,1999,8(1):63-67.
- [34] 王南舟,钟立人,黄高雄,等. 鱼精蛋白抗菌特性的研究[J]. 食品科学,2000,21(4):43-46.
- [35] 王海明,任玉翠,周彦刚,等. 鲑鱼精核蛋白提取物的保健功能研究[J]. 浙江省医学科学院学报,2003(3):25-27.
- [36] 钟立人,毋瑾超,张燕平,等. 鲑鱼鱼精蛋白的提取、纯化及其生化特性[J]. 水产学报,1999,23(1):104-107.
- [37] 王海明,钱凯先,王懿娜. 鲑鱼精巢组织粗提物的保健功能研究[J]. 食品科学,2002,23(9):133-135.
- [38] 王津伟,王春琳,余红卫. 曼氏无针乌贼鳃腺组织学及超微结构的研究[J]. 水产科学,2010,29(2):87-90.
- [39] YU A,SHIGERU K. Development and application of marine mucin for cosmetics[J]. Fragrance,2006,34(3):14-20.
- [40] 王倩,刘淑集,林彩平,等. 响应面法优化鲑鱼卵腺糖蛋白提取工艺研究[J]. 食品工业科技,2014,35(3):261-265.
- [41] 王倩,刘淑集,苏永昌,等. 鲑鱼 MUCIN 型糖蛋白抗疲劳作用试验研究[J]. 福建农业学报,2014,29(2):113-116.
- [42] 刘淑集,王倩,王茵,等. 鲑鱼卵腺糖蛋白 MGS 降血脂及非特异性免疫功能研究[J]. 福建水产,2014,36(6):436-441.

(上接第 89 页)

### 3 结论

酿酒酵母在含有无机硒的环境中培养可以将无机硒转化为有机硒。但是菌株的生长及有机硒的转化能力同时又受到初始硒浓度、接种菌龄、培养温度等诸多因素的影响。其中培养基中的初始硒浓度对酵母菌的影响则较大,当浓度超过一定范围时,酵母菌的生长代谢受到强烈的抑制,不利于其对硒的富集。该研究以实验室保藏的酿酒酵母为出发菌株,通过将活化好的菌株接种于不同浓度的亚硒酸钠平板上,再通过进一步的液体发酵复筛,得到一株生物量及富硒含量较高的菌株 FX5。该酵母菌的最适硒浓度为 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,酵母将无机硒转化为有机硒的最佳培养条件:初始硒浓度 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,接种量 10%,装液量 50 mL/250 mL,温度 28  $^{\circ}\text{C}$ ,初始 pH 6.0,摇床转速 160 r/min,培养 60 h。在优化后的富硒发酵条件下进行酿酒酵母的发酵试验,其生物量达 40.1 g/L,富硒量为 1 120 mg/L。酵母在此最佳培养条件下有着较高的有机硒转化率,为发酵罐放大培养奠定基础,因此存在广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 印宏维,沈昌,顾振新,等. Box-behnken 设计优化富硒酵母培养条件

- 参数的研究[J]. 食品与发酵工业,2008,34(6):76-80.
- [2] TANGUY S,BOUCHER F,BESSE S,et al. Trace elements and cardioprotection; Increasing endogenous glutathione peroxidase activity by oral selenium supplementation in rats limits reperfusion-induced arrhythmias[J]. J Trace Elem Med Biol,1998,12(1):28-38.
- [3] BOLOGNA R,INDACOCHEA F,SHORPOSNER G,et al. Selenium and immunity in HIV-1 infected pediatric patients[J]. Journal of nutritional immunology,1994,3(1):41-49.
- [4] YIN H F,FAN G J,GU Z X. Optimization of culture parameters of selenium-enriched yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) by response surface methodology (RSM) [J]. LWT-food science and technology,2010,43(4):666-669.
- [5] JUNIPER D T,PHIPPS R H,BERTIN G. Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in commercial-line turkeys [J]. Animal,2011,5(11):1751-1760.
- [6] CHASTEEN T G,BENTLEY R. Biomethylation of Selenium and tellurium: Microorganisms and plants[J]. Chemical reviews,2003,103(1):1-25.
- [7] SUHAJDA Á,HEGÓCZKI J,JANZSÁ B,et al. Preparation of selenium yeasts: I. Preparation of selenium-enriched *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Journal of trace elements in medicine & biology,2000,14(1):43-47.
- [8] 刘扬,张涛,杨静,等. 运用 RPLC-ICP-MS 对富硒酵母中硒形态分析[J]. 食品与生物技术学报,2013,32(12):1261-1265.
- [9] 张超,尹礼国,朱文优,等. 富硒红发夫酵母补料分批培养研究[J]. 食品工业科技,2011(9):220-222.
- [10] 梁从从,孙宇杰,胡治铭,等. 富硒益生菌的筛选及其富硒条件的优化[J]. 食品与生物技术学报,2016,35(6):667-671.