

食用蓝色素及其使用现状研究进展

徐春明, 李婷, 王英英, 庞高阳

(北京工商大学食品学院 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048)

摘要: 我国允许添加在食品中的蓝色素有栀子蓝色素、藻蓝蛋白及靛蓝。栀子蓝色素是由茜草科植物栀子的果实制得的。藻蓝蛋白色素多从螺旋藻、蓝藻、念珠藻等藻类植物中提取加工而成。植物靛蓝是用蓼蓝、菘蓝、木蓝、马蓝等含有吲哚酸成分的植物叶子发酵制成。花青素也是食品中常见的色素, 某些花青素在一定条件下可作为食品中的蓝色着色剂使用。作为食品中的蓝色着色剂, 研究最多的为紫甘蓝色素。紫甘蓝色素是从十字花科红球甘蓝及紫球甘蓝等的叶子中提取分离得到的天然色素。本文对我国食用蓝色素的种类、来源进行了概括总结; 对食用蓝色素的生成过程进行详细阐述; 本文还对食用蓝色素的使用现状进行了简要概括, 以期今后我国蓝色素生产提供理论依据。

关键词: 食用蓝色素; 栀子蓝色素; 藻蓝蛋白; 靛蓝; 紫甘蓝色素

中图分类号: TS202.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-2513(2014)01-0208-07

Research progress of edible blue pigments and its application status

XU Chun-ming, LI Ting, WANG Ying-ying, PANG Gao-yang

(School of Food and Chemical Engineering, Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, Beijing Key Laboratory of Food Flavor Chemistry, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract: Gardenia blue, phycocyanin and indigo are the common blue pigment in food. Anthocyanins are also common in food. Gardenia blue is made from rubiaceae plant gardenia fruit. Phycocyanin pigment extracted from spirulina algae, cyanobacteria, algae beads and other plants. Indigo is made by fermentation of indigo leaves, wood leaves, Bahamas blue and other plants containing indole acid. Some of anthocyanins in certain conditions can form stable blue, which also can be used as in food. For blue pigment in food, purple cabbage pigment is studied the most. Purple cabbage pigment is one of natural pigment which extracted from cruciferous red cabbage and purple cabbage. In this paper, the author summarized the sources of the edible blue pigment and details the processing of blue pigment. This article also briefly summarized the present applications of edible blue pigment and provide theoretical basis for the future blue pigment production in China.

Key words: edible blue pigment; gardenia blue; phycocyanin; indigo; purple wild cabbage

目前, 允许添加到食品中的色素多以红色、黄色为主, 而蓝色素比较稀缺。可食用的蓝色素有栀子蓝色素、藻蓝蛋白和靛蓝。栀子蓝色素和

藻蓝蛋白属于天然蓝色素, 都可由植物提取加工而成。靛蓝有天然的也有人工合成的, 现工厂化生产的较多为人工合成靛蓝。众所周知天然色素

收稿日期: 2014-08-22

* 通讯作者

基金项目: 北京市食品学科特色教学科研创新平台建设 (PXM2012-014213-000063)。

作者简介: 李婷 (1990-), 女, 研究生, 研究方向为食品与生物化工。

具有安全, 营养, 保健等特点, 而人工合成色素容易在合成过程受到重金属等有毒化学物质的污染, 会对人体造成各种不良影响。随着大家对人工合成色素的质疑, 消费者更青睐于添加有天然色素或标有“非人造”“纯天然”的食品^[1]。所以, 众多学者依靠基因工程、酶工程等技术利用微生物来生产天然蓝色素某些微生物。研究发现链霉菌、假单胞菌、假交替单胞菌、杜榭氏菌、黄杆菌、出芽短梗霉及光合细菌可产生天然蓝色素, 基因工程菌株的某些菌种也可产生天然蓝色素。本文对食品中常见的蓝色素的种类、来源、生产过程及使用现状进行综述。

1 食用蓝色素的种类及来源

1.1 食用蓝色素的种类

目前可食用的蓝色素种类很少, 来源也非常有限。在我国 GB2760-2011《食品添加剂使用卫生标准》中列出的可添加在食品中的蓝色素只有栀子蓝色素和藻蓝蛋白(即藻蓝素)、靛蓝 3 种。然而, 花青素是食品中常见的色素, 不同花青素在不同环境下显示不同颜色。又因花青素较容易从蔬菜水果中提取分离得到。因此, 花青素也可作为食品中蓝色着色剂。

1.2 食用蓝色素的来源

天然蓝色素制取的原材料多以植物和微生物为主。栀子蓝色素和藻蓝蛋白属于天然蓝色素, 靛蓝分为天然植物靛蓝和人工合成靛蓝, 合成靛蓝问世后逐渐取代了天然植物靛蓝。

栀子蓝色素是由茜草科植物栀子的果实制得的^[2]。栀子果实中含有丰富的京尼平苷(即栀子苷), 京尼平苷经葡萄糖苷酶水解得到京尼平, 京尼平再与含氮化合物(如氨基酸, 多肽)反应, 即可制得栀子蓝色素。工业中多以栀子全果粉为原料, 并添加其它营养成分, 接种于产酶菌株进行一次性发酵, 而后利用柱层析、高速逆流色谱、超临界流体法、微滤和超滤等技术对栀子蓝色素进行分离纯化。

藻蓝蛋白色素多从螺旋藻、蓝藻、念珠藻等藻类植物中提取加工而成。藻蓝蛋白属于胞内蛋白, 从藻类植物中提取藻蓝蛋白首先要将植物细胞破碎, 使藻蓝蛋白溶解到提取液中, 然后将藻

蓝蛋白沉淀, 分离得到藻蓝蛋白。

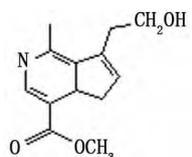
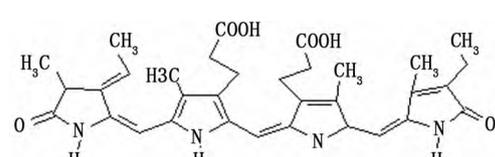
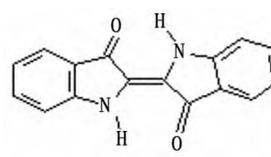
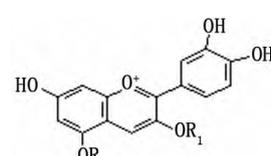
靛蓝分为植物靛蓝和人工合成靛蓝。植物靛蓝是用蓼蓝、菘蓝、木蓝、马蓝等含有吲哚酸成分的植物叶子发酵制成的, 但是工厂应用的靛蓝染料多是人工合成的。而人工合成靛蓝需使用苯胺和邻苯二甲酸酐, 它们对人体呼吸道、中枢神经及肝脏均有一定损害, 会导致人体记忆性或慢性中毒而且污染环境。随着靛蓝在食品、化妆品及印染业的大规模应用, 市场对靛蓝的需求量逐渐扩大, 人们越来越重视通过环保途径合成靛蓝的方法。科研学者通过合成生物转化合成酶的方法生产天然靛蓝染料。Schmid 等人利用定点突变技术定向进化来自于 *Bacillus megaterium* 的细胞色素 P450BM-3, 并获得具有三个突变位点的突变酶 P450BM-3 (A74G, F87V, L188Q), 并且意外地发现该突变酶能催化吲哚生成靛蓝^[3]。李红梅^[4]等人又以 P450BM-3 (A74G, F87V, L188Q) 为亲本酶, 通过易错聚合酶链式反应体外定向进化技术, 获得了具有更高活力突变株。在已有高活力突变菌株的基础上进一步提高 P450BM-3 催化吲哚的活力, 成功获得了三个突变高活力菌株。利用高活力菌株可催化吲哚的衍生物生成靛蓝类染料^[5]。通过基因工程, 克隆细胞色素 P450BM-3 突变酶基因, 将其导入大肠杆菌, 构建了生产靛蓝染料的工程菌。

近年来, 微生物产蓝色素是科学家的研究热点, 已经鉴定和分离出了能够合成不同种类蓝色素的多种微生物, 包括链霉菌-ZLT (*Streptomyces*)^[6]、假交替单胞菌^[7] (*Pseudoaltermonas* sp. E18)、杜榭氏菌 B2 菌株^[8] (*Duganella* sp. B2)、出芽短梗霉^[9] (*Aureobasidium pullulans*)、红杆菌属 (*Rhodobacter*)、紫色非硫细菌^[8] 属等。虽然目前大多数天然蓝色素产品仍是以动植物材料为原料制取的, 但是这类材料的获取容易受到季节、气候、产地等因素的制约, 因此微生物产蓝色素正逐渐成为食用蓝色素的重要来源之一。

一些植物原材料如麦冬果实、爵床科植物山蓝、紫甘蓝、蓝粒小麦种子等都可用于制取相应的蓝色素。有报道称, 在一些转基因产品如转基因玫瑰, 转基因棉花中也可分离出蓝色素, 但由于转基因产品的较稀缺, 这类转基因产品还不能作为提取蓝色素的原材料^[10-11]。

表 1 添加在食品中的蓝色素及其主要成分的化学结构

Table 1 the blue pigments added in food and the chemical structures of its main ingredients

色素类别	来源	主要组分的化学结构式
栀子蓝色素	京尼平苷水解得京尼平，再与含氮化合物反应制得	 <p>京尼平 (Genipin) 与氨基化合物聚合物</p>
藻蓝蛋白色素	螺旋藻、念珠藻、蓝藻中提取加工而成，主要成分为藻青素	 <p>藻青素 (phycocyanin)</p>
靛蓝	蓼蓝、松蓝、木蓝、马蓝等含有吲哚酸成分的植物叶子发酵制成，也有人工合成的	 <p>靛蓝 (Indigo) C₁₆H₁₀N₂O₂</p>
花色苷类	十字花科红球甘蓝及紫球甘蓝等的叶子为原料提取得到的天然色素	 <p>以矢车菊苷 (cyanidin3 - glucosides) 为主的花色苷 (R1R2 为糖基配体)</p>

2 食用蓝色素的生产过程

栀子蓝色素、藻蓝蛋白色素、靛蓝以及某些花色苷类色素作为食品中的蓝色着色剂，它们在生产过程、呈色机理及其在不同食品基质中产生的蓝色色调都不同。深入了解各色素的生产过程、呈色机理及稳定性，对生产高品质的色素以及对其在食品等其他领域的应用至关重要。本文对目前工厂生产蓝色素的生产过程及其在生产过程中的重要影响因素进行概括总结。

2.1 栀子蓝色素的生产过程

栀子蓝色素是由茜草科植物栀子的成熟果实加工而成。栀子果实中富含京尼平苷 (geniposide)，京尼平苷是一种环烯醚萜类糖苷，易溶于水。京尼平苷经 β -葡萄糖苷酶水解后得京尼平 (Genipin)。京尼平也属环烯醚萜类化合物，具有羟基、羧基等多个活性基团，1 位碳上的羟基最

活泼，多与糖成苷，如图 1 所示京尼平与京尼平苷之间的相互转化。京尼平和含氮化合物发生一系列的聚合重排反应生成蓝色物质，分离得到的蓝色物质即为栀子蓝色素^[12]。

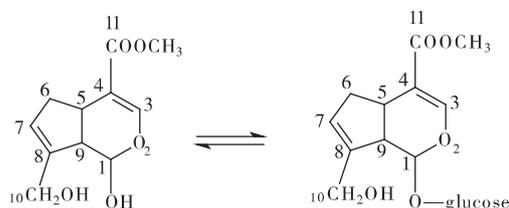


图 1 环烯醚萜类化合物 1 位 C 上的活泼羟基多与糖成苷

栀子蓝生产的关键步骤在于京尼平苷经葡萄糖苷酶水解得到京尼平。当前栀子蓝的制备主要采用高产 β -1,4-葡萄糖苷酶的微生物进行发酵，这样比传统酶解得到京尼平的方法效率高。工厂一般采用大孔树脂对发酵液进行脱盐、

精制和纯化。通过进行氨基酸与京尼平反应得蓝色素的实验研究表明氨基酸的种类对所形成色素的色泽影响较大,氨基酸分子量与其形成色素的最大吸收波长成正相关,要得到较大吸收峰的蓝

色素,宜采用分子量大的氨基酸。实验表明,苯丙氨酸、甘氨酸、赖氨酸及精氨酸所形成的蓝色素色泽最佳^[13]。因此,生产栀子蓝色素时应采用含这三种氨基酸较多的物质为原料。



图2 形成栀子蓝色素的主要化学反应

Fig. 2 Main chemical reactions during gardenia blue pigment's generation

2.2 藻蓝蛋白的生产过程

藻蓝蛋白是从螺旋藻、蓝藻、念珠藻等藻类植物中提取加工而成。藻蓝蛋白属于胞内蛋白,从藻类植物中提取藻蓝蛋白首先要将植物细胞破碎,细胞破碎的方法主要包括反复冻融法、化学试剂处理法、溶胀法、超声法及捣碎法。植物细胞破碎后,藻蓝蛋白溶解到提取液中。采用盐析法、结晶法、等电点沉淀法等将藻蓝蛋白沉淀,分离得到藻蓝蛋白。对藻蓝蛋白提取工艺的研究主要集中在植物细胞破碎的方法及藻蓝细胞沉淀的方法上。研究表明酶法破壁适应于大量藻蓝蛋白制备,现主要用酶法破壁及盐析法沉淀提取纯化藻蓝蛋白。

2.3 靛蓝的生产过程

靛蓝分为天然植物靛蓝和人工合成靛蓝,现对植物靛蓝和人工合成靛蓝的呈色过程进行分别介绍。植物靛蓝的呈色过程,首先将蓼蓝、菘蓝、木蓝等含有吲哚酸的植物浸泡在发酵池中,与此同时微生物会大量繁殖,分泌出的糖化酶水解糖苷键得到游离吲哚酚,而水解出的葡萄糖会进一步发酵成乳酸,使糖化酶活力增强从而加速吲哚酸的游离。向发酵池中加入石灰,发酵液呈碱性,吲哚酸在碱性条件下会发生酮式互变异构。两分子的吲哚酸在碱性条件下缩合,经氧化形成不溶于水的靛蓝。

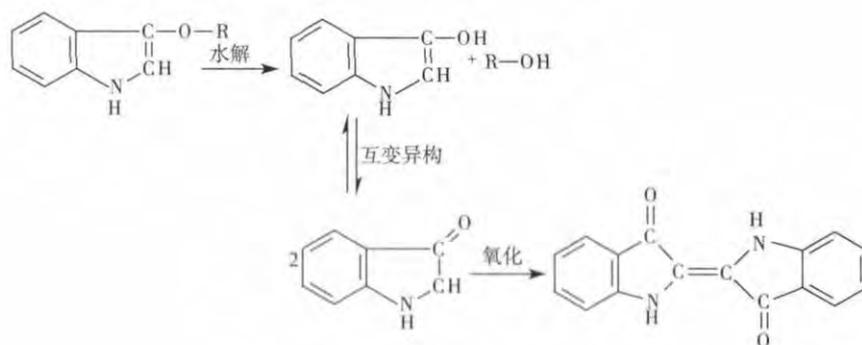


图3 植物靛蓝生成过程

Fig. 3 Process of plant indigo generation

我国合成靛蓝已有上百年的历史，靛蓝的合成方法也在不断改进，其中有五种方法在工业化合成靛蓝史上起了非常重要的作用，分别是邻硝基苯基丙酸法、 β -苯胺乙醇法、均二苯硫脲法、苯基甘氨酸-邻甲酸法和苯基甘氨酸法。邻硝基苯基丙酸法在十九世纪九十年代实现了工业化生产，但因为其合成路线太长，合成率低现在已被淘汰。 β -苯胺乙醇法、均二苯硫脲法、苯基甘

氨酸-邻甲酸法和苯基甘氨酸法是随着对合成靛蓝工艺的不断改进，依次出现的方法，目前工业上较多使用的是苯基甘氨酸法合成靛蓝。用氯乙酸法得到苯基甘氨酸钾盐后，在氨基钠存在条件下用干燥的 NaOH 和 KOH 混碱碱熔，该方法制得的靛蓝收率高，纯度也较高^[14]。靛蓝合成反应方程式如下：

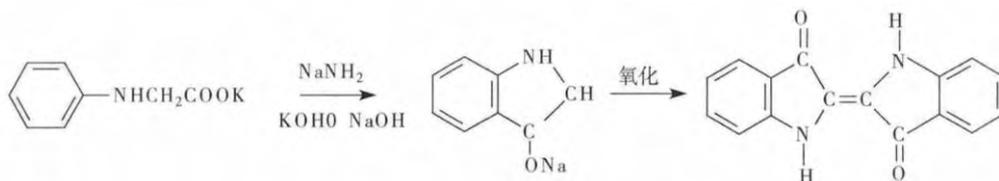


图 4 靛蓝的合成过程

Fig. 4 Synthesis process of indigo

2.4 花青素的呈色及其稳定性

近年来，许多学者试图用花青素作为食品中的蓝色着色剂，并采取一定措施加强其在食品基质中的稳定性。花青素化学结构基本骨架如图 5 所示。花色苷苯环取代基甲氧基增多，红色加强；羟基取代基增多，蓝色加强。作为食品中的蓝色着色剂，研究最多的为紫甘蓝色素。紫甘蓝色素是从十字花科红球甘蓝及紫球甘蓝等的叶子中提取分离得到的天然色素。紫甘蓝色素正是以矢车菊色素、飞燕草色素及天竺葵色素这类含羟

基较多，甲氧基较少的色素为主的天然色素。杨晓玲等^[15]人研究的紫甘蓝色素在不同 pH 下色素颜色变化及对应最大吸收波长的结果如表 1。当 pH < 2 时，紫甘蓝色素呈现稳定的红色，随着 pH 值逐渐增大，色素逐渐由红色向蓝色再向绿色转变。pH = 3 ~ 8 时，紫甘蓝色素呈现蓝色，色素在中性及弱酸碱条件下呈蓝色。因为紫甘蓝色素在较大 pH 范围内呈蓝色，可作为某些食品的蓝色着色剂。

表 2 紫甘蓝色素在不同 pH 下的颜色变化及最大吸收波长

table 2 the color and the maximum absorption wavelength of purple wild cabbage under different pH

pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
λ , max/nm	530	570	590	606	610	614	614	616	620	610
溶液颜色	紫红色	紫蓝色	蓝色	蓝色	蓝色	蓝色	蓝绿色	蓝绿色	蓝绿色	绿色

食用花色苷色泽和稳定性与其自身分子结构、pH、温度、金属离子、氧化剂、还原剂、糖等因素有关。高度羟基化的花色苷比甲基化、糖基化或酰基化的花色苷的热稳定性差。光照通常会加速花色苷的降解，花色苷的结构对光的稳定性影响较大，酰化和甲基化的二糖苷比未酰化的稳定，双糖苷比单糖苷更稳定，且紫外光降解比可见光降解作用明显。花色苷是多酚化合物，结

构的不饱和特性使之对氧化剂和还原剂非常敏感。酸碱度对花青素的稳定性影响很大，一般花青素在酸性条件下比较稳定，碱性条件下不太稳定，且花青素在碱性条件下色素颜色和稳定性的差异也比较大^[16-17]。紫甘蓝色素花色苷具有邻位羟基，能和金属离子如 Fe^{3+} 络合成较稳定的蓝色络合物。在抗坏血酸、氨基酸、酚类、糖衍生物等存在时，紫甘蓝色素褪色会加快。

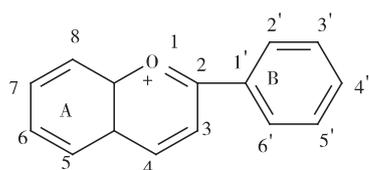


图5 花青素化学结构基本骨架

Fig. 5 Basic skeleton of anthocyanins chemical structure

3 食用蓝色素的使用现状

栀子蓝色素因其耐酸碱耐高温等优良特性，其在食品领域中有广泛应用。栀子蓝色素在食品加工中的直接着色并不多，主要用于与天然黄色素如栀子黄色素、红花黄色素等调配出不同色泽的绿色，与提取的叶绿素相比，用栀子蓝色素调配的绿色色调可以得到很好控制，且耐酸性好，可用于偏酸性的食品、饮料中。另外栀子蓝色素还可与各种天然的红色素调配出不同色调的紫色。栀子蓝色素主要用于硬糖、马希马洛糖、饼干、松蛋糕、蛋糕预制粉、稀奶油、冰淇淋、乳制品、蔬菜青豆等罐头、饮料、果汁、果胶、琼脂、布丁等的着色，使用量为0~1.5g/kg。藻蓝蛋白与蛋白质有相同的性质，溶于水，不溶于醇和油脂，对光、热、酸不稳定，其用途基本同栀子蓝色素相同。靛蓝又名酸性靛蓝、食品蓝，食品中所添加靛蓝为合成靛蓝。靛蓝易着色，有独特的色调，且合成靛蓝经动物实验，认为安全性高，为世界各国普遍许可使用。我国GB2760-2011《食品添加剂使用卫生标准》规定靛蓝可在蜜饯类、凉果类、装饰性果蔬类、腌渍的果蔬、熟制坚果与籽类、可可制品、除胶基糖果以外的其他糖果、糕点上彩装、饼干夹心、果蔬汁(肉)饮料、碳酸饮料、风味饮料、配制酒、膨化食品等食品中使用，允许添加量为0~0.3g/kg。

栀子蓝色素、藻蓝蛋白及靛蓝除可添加在食品中作为蓝色着色剂外，在其他领域也有广泛应用。栀子蓝色素具有耐高温、耐酸碱、耐光照的性质，广泛应用于药品、化妆品中。栀子蓝色素还可作为交联剂与蛋白质、胶原、明胶和壳聚糖等交联制作生物材料，相比与其他交联剂其毒性

小纯天然^[18]。藻蓝蛋白除可作为食品着色剂、化妆品的添加剂外还具有医药保健等功效。藻蓝蛋白的离体实验表明其具有刺激红细胞集落生成，类似红细胞生成素(EPO)的作用。国外已成功的研制出多种藻蓝蛋白复合药品，有研究报道藻蓝蛋白能改善贫血、提高血色素。研究小鼠口服藻蓝蛋白提高注射肝肿瘤细胞小鼠的成活率，且实验组小鼠淋巴细胞活性明显比对照高，认为该蛋白有促进免疫和抗疾病功能。有学者发现螺旋藻藻蓝蛋白对一些癌细胞有抑制作用。藻蓝蛋白因其具有荧光特性，纯度较高的早蓝色素可作为生物学、细胞学一些光动力学的研究试剂如荧光试剂、荧光探针、荧光示踪物质等^[19-20]。同时藻蓝蛋白还是一种无毒副作用的理想光敏剂^[21]。靛蓝除可添加在食品中外，还作为服装的蓝色染料广泛应用。

4 总结

天然蓝色素因其复杂的结构，多样的组成使其在稳定性方面不比人工合成色素。人工合成色素因其纯度高，结构明确使其在颜色调配及应用方面较为方便。但人工合成的色素超过一定浓度或使用不当就会对人体产生很大危害。我们了解到天然蓝色素如栀子蓝、藻蓝蛋白的来源分别是京尼平和螺旋藻，它们不但不会对人体产生危害，还对人体有很好的保健作用。京尼平具有抗肿瘤、抗血栓、治疗糖尿病、抑菌等疗效；螺旋藻具有抗疲劳、抗辐射、抗病毒、抑制肿瘤、抗敏、增强免疫力等多种功能^[22]。这些事实使消费者更青睐于购买天然食品。虽然我国栀子产量和螺旋藻干粉产量位居世界第一，但我国栀子蓝色素的质量还远远落后日本。尽管在我国生产的98%的栀子蓝色素均为出口，但总体上我国天然蓝色素产量并不高，因此该类色素目前我国仍旧处于供不应求的状态。面对全球每年以10%速率增长的巨大天然色素市场，我国天然色素发展存在色素品种少，来源相对不足，成本较高的问题。我国乃至世界食用蓝色素的需求都在急剧上升，这都促使工厂加快技术改革与创新，以生产出更多更纯净的高质量环保型蓝色素，而且蓝色素在更多领域的应用前景也将非常广阔。

参考文献:

- [1] Souhila G, Brigitte R, Martin M, et al. A rapid tool for the stability assessment of natural food colours [J]. Food Chemistry, 2013, 139: 978 - 985.
- [2] 刘晓棠, 赵伯涛, 张玖, 等. 栀子的综合开发与利用 [J]. 中国野生植物资源, 2008, 27 (1): 19 - 26.
- [3] Li Q S, Schwaneberg U, Schmid R D, et al. Directed evolution of the fatty - acid hydroxylase P450BM - 3 into an indole - hydroxylating catalyst [J]. Chem Eur, 2000, 5 (9): 1531 - 1536.
- [4] 李红梅, 梅乐和. 催化吲哚生成靛蓝的细胞色素 P450BM - 3 定向进化研究 [J]. 生物化学与生物物理进展, 2005, 32 (7): 630 - 635.
- [5] Nakamura K, Martin M V, Guengerich F P. Random mutagenesis of human cytochrome P450A6 and screening with indole oxidation products [J]. Ach Biochem Biophys, 2001, 395 (5): 25 - 31.
- [6] 李一苇, 陈晓琳, 张明. 一株产蓝色素菌株生物学特性及色素基本性质的研究 [J]. 生物学杂志, 2007: 41 - 42.
- [7] 孙爱飞, 庄荣玉, 王国良. 海洋细菌 E18 菌株的生物学特性及其蓝紫色素稳定性的研究 [J]. 微生物学通报, 2007, 34 (4): 691 - 694.
- [8] 王海胜, 卢元, 薛园, 等. 杜榭氏菌 B2 的蓝色素成分的分 离及化学结构解析 [J]. 化工学报, 2008, 59 (3): 630 - 635.
- [9] 陈波, 蒲刚军. 出芽短梗霉的发酵性能研究 [J]. 食品技 术, 2002, (11): 15 - 17.
- [10] 宋晶, 孙勇如, 张利明, 等. 靛蓝色素酶基因表达载体的 构建及在大肠杆菌中的表达 [J]. 高技术通讯, 2003 (9): 39 - 42.
- [11] Vuorema A, John P, eskitalo M K, et al. Electrochemical and sonoelectrochemical monitoring of indigo reduction by glucose [J]. Original Research Article Dyes And Pigments, 2008, 76 (2): 542 - 54.
- [12] 李辉, 吴云. 产类胡萝卜素又产靛蓝的菌株的研究 [J]. 食品与发酵工业, 1997, 24 (2): 7 - 10.
- [13] Butler M F, Faing Y, Pudney P A. Mechanism and Kinetics of the Crosslinking Reaction between Biopolymers Containing Primary Amine Groups and Genipin [J]. J Polymer Sci: Part A: Polymer Chem, 2003, 41 (5): 39 - 41.
- [14] 徐尤智, 梁华正, 陈贺, 等. 高色价栀子蓝色素的制备及其稳定性研究 [J]. 现代食品科技, 2011, 35 (5): 440 - 443.
- [15] 杨晓玲, 郭金耀. 紫甘蓝红色素的部分性能研究 [J]. 食品科技, 2011, 36 (5) 233 - 235.
- [16] Yuko F, Yoshikazu T, Takaaki K, et al. A rationale for the shift in colour towards blue in transgenic carnation flowers expressing the flavonoid 3, 5 - hydroxylase gene [J]. Phytochemistry, 2003, 63 (5): 1523.
- [17] Luis C, Torgils F, yvind M, et al. Colour and stability of the six common anthocyanidin 3 - glucosides in aqueous solutions [J]. Food Chemistry, 2000, 68 (5): 101 - 107.
- [18] 余喜讯, 成敏, 等. 改造天然生物组织为血管支架材料的 预处理方法 [J]. 生物医学工程学杂志, 2004, 21 (3): 476 - 481.
- [19] 李建宏, 郇子厚, 等. 极大螺旋藻藻蓝蛋白的性质 [J]. 南京大学学报, 1996, 32 (1): 59 - 631.
- [20] 张成武, 殷志敏, 等. 藻胆蛋白的开发与利用 [J], 中国海洋药物, 1998, (4): 26 - 29.
- [21] Mi F L, Sung H W, Shyu S S. Synthesis and Characterization of a Novel Chitosan - Based Network Prepared Using Naturally Occurring Crosslinker [J]. J. Polymer Sci.: Part A: Polymer Chem, 2000, 38 (15): 28 - 34.
- [22] 侯建设, 薛风照, 等. 螺旋藻的主要生理调节功能 [J], 食品研究与开发, 2001, 22 (1): 31 - 341.

行业组织 品牌展览

2014 年第十一届全国秋季食品添加剂和配料展览会

2014 年 11 月 12 日~14 日

武汉国际博览中心展馆

主办: 中国食品添加剂和配料协会
《中国食品添加剂》杂志社