

专家论坛专栏

编者按:膳食纤维摄入不足已经成为引发糖尿病、肥胖等多种慢性疾病的主要因素,而我国居民膳食纤维摄入量远低于推荐值。不同食物来源的膳食纤维的生理功效不同,但膳食纤维都具有完全不被小肠吸收或部分吸收、低热量,在肠道菌作用下发酵产生短链脂肪酸可促进益生菌发挥健康作用的共同特性。为此,本期栏目特邀专家对椰果、魔芋两种富含膳食纤维食品的发展现状和研究进展进行系统阐述,希望为膳食纤维食品的开发提供理论指导,为公众了解膳食纤维食品提供有益帮助。

(栏目策划:李 宁)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.02.002

文章编号:2095-6002(2017)02-0013-03

引用格式:陈正行,于秋生,徐晖.椰果发酵技术及食品中应用[J].食品科学技术学报,2017,35(2):13-15.



CHEN Zhengxing, YU Qiusheng, XU Hui. Fermentation technology and food application of nata de coco[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017,35(2):13-15.

椰果发酵技术及食品中应用

陈正行, 于秋生, 徐 晖

(江南大学 粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江苏 无锡 214122)

摘 要:发酵技术生产的椰果,即微生物纤维素,是纤维素在自然界存在的一种形式,很久以前就用于食品制造。椰果的原料天然、生物合成过程温和、最终产物绿色,具有高持水量、高温态,柔韧性、高原位反应活性等优异性能。在综述 30 多年来世界上微生物纤维素发酵制备技术的基础上,提出我国椰果发酵产业今后的发展方向。

关键词:椰果;膳食纤维;微生物纤维素;发酵技术;功能特性

中图分类号:TS255.1

文献标志码:A

1 膳食纤维、微生物纤维素与椰果

膳食纤维既不能被胃肠道消化吸收,也不能产生能量,曾一度被认为是一种“无营养物质”而长期没得到足够的重视。19世纪60年代,首次提出的“粗纤维”概念,用来表示不能被稀酸、稀碱所溶解,不容易被家畜消化的部分。粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分,其主要成分是纤维素、半纤维素、木质素及少量含氮物质。通常认为粗纤维对人体不具有营养作用,甚至吃多了还会影响人体对食物中营

养素(尤其是微量元素)的吸收,对身体不利,故一直未被重视。因此,膳食纤维一词在20世纪70年以前的营养学中不曾出现。随着饮食结构、生活方式和生存环境改变导致的高血脂、糖尿病、肥胖症患者不断增多,促使营养学、食品科学和预防医学等相关学科深入研究,逐渐发现膳食纤维具有相当重要的生理作用,继而把膳食纤维作为除碳水化合物、水、蛋白质、矿物质、维生素、脂肪以外的第七大必需营养素。

自然界最不缺的高分子材料是天然纤维素,但

人类最缺的是生理活性优越的功能性纤维素。功能性纤维素是膳食纤维体现其生理活性的根本,已成为膳食纤维概念诞生以来食品科学的主要研究方向之一。椰果就是一种在国外得到广泛认同的优质功能性膳食纤维,是以椰子水或椰子汁为原料经微生物培养形成的一种乳白色半透明凝胶状厚膜,主要成分为微生物纤维素。

1886年, Brown等^[1]发现在酿醋过程中漂浮于液面的凝胶状薄膜,经分析证实其在化学结构上与天然纤维素组成一致,故称之为微生物纤维素(microbial cellulose, MC)或细菌纤维素(bacterial cellulose, BC),都是吡喃型葡萄糖单体通过 β -1,4-糖苷键连接而形成的一种无分支、大分子直链聚合物,具有 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 的组成,直链间彼此平行,不呈螺旋构象,无分支结构。到1954年, Schramm等^[2]提出了HS培养基,微生物纤维素才开始被批量化制备。今天,微生物纤维素以椰果、面膜、创伤敷料、音响振膜、强度纸张和人造血管等多重身份出现在人们的生活中。其中,椰果即食品形式的微生物纤维素。

2 微生物纤维素的制备技术

自然界中,能够产生纤维素的微生物种类繁多,而醋杆菌以其胞外合成纤维素特性与较高的纤维素产率被作为模板微生物(archetype microorganism)广泛用于微生物合成纤维素的研究。微生物纤维素实为醋杆菌的代谢产物,其生物合成过程主要分为2个部分:细胞内生物合成(intercellular biosynthesis)和细胞外生物自组装(extracellular biogenesis)。由于葡萄糖小分子在微生物体内经历了4个主要的酶参与反应,形成糖核苷酸前驱体(sugar nucleotide precursor)——尿苷二磷酸葡萄糖(uridine-diphosphate-glucose, UDP-glucose),并最终经由细胞侧壁呈线性排列的终端合成器,以 β -1,4-葡萄糖链的形式排出细胞体外,后者通过分子链间氢键结合,经过纤维素微纤(cellulose microfibril)、纤维素丝带(cellulose ribbon)、纤维素丝束(cellulose bundle)等步骤,最终形成各向异性的纤维素网状结构(cellulose network)^[3]。因此,醋杆菌也被称为纤维素合成的微生物“工厂”。

Schramm等^[2]发现静态与动态摇瓶2种发酵培养条件下得到的微生物纤维素,在形貌、理化性质等方面差异较大。这为之后的相关研究定下了基调:

从实际应用的角度出发,静态发酵培养得到的微生物纤维素具有规则的外形与均质的结构,更具应用价值。但是,受制于醋杆菌的赖氧特性,静态培养条件下微生物纤维素形成于培养液与空气的界面。在很长的一段时间内,静态发酵培养依赖于手工操作,受人为因素影响大。20世纪80年代的微生物纤维素发酵产率低下,产品批次间差异大,菌膜染菌、鼓泡等问题突出。Masaoka等^[4]和 Okiyama等^[5]对发酵培养过程中外界因素对微生物纤维素产量、产率以及结构等方面的研究较为深入,为微生物纤维素的规模化生产做出了突出的贡献。其研究成果有,静态发酵培养时,培养容器应是具有较大上表面积 of 的浅盘,既节约空间,又可提高纤维素产率;同时,在静态培养之前,用发酵罐动态培养,在短时间内将细胞体积浓度提升到静态培养时微生物纤维素快速生长时的水平,先动态后静态的2步法培养方式能够缩短发酵培养微生物纤维素的周期,同时得到的微生物纤维素膜也更均质。

微生物纤维素的生物合成过程是一个受菌种特性、培养液组成、环境参数、培养条件等多种因素协同影响的复杂过程,单纯依靠静态培养或动态培养都无法实现微生物纤维素发酵生产的机械化、高效化。通过建立数学模型,量化表达微生物纤维素生物合成过程中纤维素产量与主要影响因素之间的函数关系,对于微生物纤维素发酵培养自动化、机械化、可控化具有非常重要的意义。近20年来,微生物纤维素发酵培养技术得到了巨大的进步,今后必将摆脱传统作坊式、批次化的手工模式,全面进入机械化、连续化、低成本化的生物工程时代。

3 微生物纤维素的食品化应用

微生物纤维素是经过美国FDA认证的一般公认安全(generally recognized as safe, GRAS)的食品添加物^[6]。由于其高含水率以及高纤维素含量,经过漂水、脱酸以及调味加工后,口感耐嚼爽滑,质地与鲍鱼、鱿鱼、墨鱼类似,弹性则类似魔芋,作为膳食纤维食品、增稠剂、脂肪替代物、分散剂、乳化剂、稳定剂以及质地改良剂等广泛应用于食品加工行业^[7-8]。

20世纪40年代开始,菲律宾、越南、印度尼西亚等东南亚国家通常选择资源充足的椰子水作为微生物纤维素的天然培养液,因此微生物纤维素在食

品行业中有着非常好听的名字——椰果、椰纤果(nata de coco)。20世纪90年代,美国与日本已将椰果制成各种类型的食品产品,如冰淇淋、面包、人造奶油、功能性饮料等,品种超过20种^[9]。

在我国,椰果产业发展始于1996年并主要集中于海南地区。此后十余年的不断探索和实践,不论在生产技术、工艺设备方面,还是在产品开发、市场推广方面,都取得不小进步。为规范椰果产业发展,经海南省标准化主管部门批准,2003年成立了由卫生、科研机构和生产企业共同组成的椰果地方卫生标准起草组,2005年出台了海南省地方标准DB 46/42—2005《椰果卫生标准》。在此基础上,2007年农业部出台了农业行业标准NY/T 1522—2007《椰子产品 椰纤果》,这是椰果行业唯一的行业标准。但令人遗憾的是,消费者对于椰果知之甚少,基本上还停留在奶茶、果汁等饮料添加物的层面。同时,由于高昂的生产成本和狭窄的应用范围,部分生产厂家为牟取暴利联系越南地区椰农进行家庭作坊式生产粗制椰果并通过走私途径非法销售。因此,我国椰果发酵制备技术有待提高的空间还很大。

2013年,国内椰果饮料龙头企业喜多多集团与江南大学国家工程实验室合作建立了国内首家“椰果技术研究中心”,致力于椰果生产的国产化、工业化和标准化。2014年,经过一年多的合作研发,喜多多集团在福建省泉州喜多多食品有限公司建成日生产1t椰果的恒温恒湿椰果发酵车间、菌种扩培车间,将东南亚地区粗犷的椰果生产方式转变成程序可控的标准化生产模式,并以国际领先的水平经评价通过中国轻工业联合会组织的科技成果鉴定,此成果获得2015年中国轻工业联合会“科技进步三等奖”。2015年,椰果技术研究中心通过感官评定与质构、白度检测相结合的方法,制定了《椰果质量分级标准》,这是对农业行业标准NY/T 1522—2007《椰子产品 椰纤果》的一个补缺。

4 结束语

关于微生物纤维素的报道,最早可以追溯到我国北魏时期。我国古代杰出农学家贾思勰所著的《齐民要术》中就有关于酿醋过程中,发酵液表面生成凝胶状膜的记载。椰果的发酵生产与食品化应用至今已经历了60多个年头,发酵制备技术的不断发展在椰果产业化推进过程中起到了至关重要的作

用。随着生活水平的不断提高以及人口老龄化现象的不断加剧,人们对日常饮食健康的关注程度已不断提高。椰果作为一种优质功能性膳食纤维,必将得到越来越广泛的认同。目前,虽然已开发的椰果产品品种不少,但面市的椰果产品形式还较单一。今后,我国椰果发酵产业要充分利用椰果的功能特性优势,从健康食品的视角,开发不同消费群体理解和接受的产品功能和产品形式,以利于我国椰果发酵产业的可持续健康发展。例如,利用椰果极强的吸水性以及纤维素网络密集的活泼羟基,与不同中草药提取物进行复合,开发多种高附加值功能性保健椰果食品。

参考文献:

- [1] BROWN A J. The chemical action of pure cultivations of *Bacterium aceti* [J]. Journal of the Chemical Society Transactions, 1886, 49: 172-186.
- [2] SCHRAMM M, HESTRIN S. Factors affecting production of cellulose at the air/liquid interface of a culture of *acetobacter xylinum* [J]. Journal of General Microbiology, 1954, 11(1): 123-129.
- [3] ROSS P, MAYER R, BENZIMAN M. Cellulose biosynthesis and function in bacterial [J]. Microbiological Reviews, 1991, 55(1): 35-58.
- [4] MASAOKA S, OHE T, SAKOTA N. Production of cellulose from glucose by *acetobacter-xylinum* [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 1993, 75(1): 18-22.
- [5] OKIYAMA A, SHIRAE H, KANO H, et al. Bacterial cellulose: 1. 2-stage fermentation process for cellulose production by *Acetobacter aceti* [J]. Food Hydrocolloids, 1992, 6(5): 471-477.
- [6] KENT R A, STEPHENS R S, WESTLAND J A. Bacterial cellulose fiber provides an alternative for thickening and coating [J]. Food Technology, 1991, 45(6): 108.
- [7] OKIYAMA A, MOTOKI M, YAMANAKA S. Bacterial cellulose: 3. development of a new form of cellulose [J]. Food Hydrocoll, 1993, 6(6): 493-501.
- [8] OKIYAMA A, MOTOKI M, YAMANAKA S. Bacterial cellulose: 4. application to processed foods [J]. Food Hydrocolloids, 1993, 6(6): 503-511.
- [9] 戸田登志也, 桑名好惠, 桐山修八. ナタデココの新機能・血中コレステロール低下作用と應用開發 [J]. 食品と開發, 1994, 29(8): 16-21.

(下转第57页)

Study on Fermentation Conditions of Rare Yadong Edible Fungus in Tibetan Plateau

LI Zhaokun^{1,2}, WANG Fenghuan^{1,*}, CHEN Bin^{2,*}, JIANG Siping², XU Aiguo²

(1. *Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China*;

2. *Tibet Plateau Institute of Biology, Lasa 850001, China*)

Abstract: In order to utilize and develop the rare Yadong edible fungus (*Exidia* sp.) better, the growth and metabolism culture conditions of the mycelium were explored. Effects of the culture mediums and the different conditions on mycelium growth rate, biomass, and secondary metabolites production were investigated. The results showed that glucose was the most suitable carbon source for mycelial growth, and soluble starch was the most suitable carbon source to obtain maximum biomass and metabolic product yield. Yeast extract was the most suitable nitrogen source for growth and metabolism. CaCl_2 was the optimal inorganic salt while vitamin B₁ and B₂ had no significant effects on promoting mycelial growth. HPLC fingerprint results showed that compounds of secondary metabolites were as many as 200 kinds and initial pH and temperature factors had more obvious influences on the secondary metabolic diversity.

Keywords: edible fungus; Yadong edible fungus; culture conditions; secondary metabolism; HPLC analysis

(责任编辑:叶红波)

(上接第15页)

Fermentation Technology and Food Application of Nata De Coco

CHEN Zhengxing, YU Qiusheng, XU Hui

(*National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China*)

Abstract: As a kind of cellulose in nature and of excellent dietary fiber irreplaceable in physiological function, nata de coco (microbial cellulose) prepared by fermentation has attached much attention benefit from its natural raw materials, mild biosynthesis, product friendly and biodegradable, as well as its excellent food processing properties such as high water holding capacity, flexibility, and high reactivity. Therefore, it has also been used in foods for many years. Based on the overview of the fermentation technology for microbial cellulose in the past 3 decades, the future development trend of Chinese nata de coco fermentation industry was prospected.

Keywords: nata de coco; dietary fiber; microbial cellulose; fermentation technology; functional properties

(责任编辑:李 宁)