

花生四烯酸的生理学功能 及利用真菌生产的研究进展

蒋加拉, 刘素纯*, 陈学武, 陈敏娜, 张雪娇
(湖南农业大学食品科技学院, 湖南长沙 410128)

摘要:花生四烯酸是人体必需脂肪酸, 具有极高的保健价值, 利用真菌发酵生产花生四烯酸已成为国内外研究的热点。本文对花生四烯酸的生理功能以及利用真菌生产的研究进行概括。

关键词:花生四烯酸, 生理功能, 真菌, 发酵

Research progress in the biological function of arachidonic acid and its production by fungi

JIANG Jia-la, LIU Su-chun*, CHEN Xue-wu, CHEN Min-na, ZHANG Xue-jiao

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Arachidonic acid was a kind of essential fatty acid with great function for human. The study of arachidonic acid production by fungi fermentation had become a hotspot in both domestic and overseas. The biological function of arachidonic acid and the research progress in its production by fungi were reviewed.

Key words: arachidonic acid; biological function; fungi; fermentation

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2010)06-0389-05

花生四烯酸 (Arachidonic Acid, 简称 ARA 或 AA) 系统命名为全顺-5, 8, 11, 14-二十碳四烯酸, 相对分子质量为 304.5, 分子式为 $C_{20}H_{32}O_2$, 熔点 -49.5°C , 沸点为 245°C , 属于 n-6 系列多不饱和脂肪酸。AA 是一种人体必需的多不饱和脂肪酸, 它不仅作为一种极为重要的结构脂类 (磷脂) 广泛存在于哺乳动物的器官、肌肉和血液组织中, 而且还是许多具有特殊活性的二十碳酸衍生物的直接前体。AA 经环加氧酶 (CO) 途径形成的前列腺素 (PG)、前列环素 (PGI_2)、血栓烷素 (TXA_2), 经脂加氧酶 (LO) 途径形成的过氧化物花生四烯酸 (HPETE) 和白三烯 (LT), 经环氧化酶 (EPO) 生成的多种环氧化物在人体中发挥着极其重要的生物学功效^[1]。AA 具有明显的药理作用和广泛的生物活性, 被誉为“21 世纪功能性食品的主角”, 已经在保健食品、化妆品、医药等领域得到了广泛的应用。AA 广泛存在于动物体内, 商业生产的 AA 主要来源于猪肝, 但质量分数低, 开发费用很高。AA 的药学价值、营养保健功能优异, 但资源非常有限, 促使人们寻找富含 AA 的生物资源。真菌发酵法生产 AA 具有生产周期短、培养简单且不受场地、气候、原料的限制, 越来越受到人们的重视, 为

AA 的生产开辟了新的途径, 国内外专家已对此做了大量的研究, 并取得了显著的成效。

1 花生四烯酸的生理功能

AA 及其代谢衍生物具有很强的生物活性, 它能益智健脑、酯化胆固醇、增加血管弹性、保护皮肤、抗炎症, 并在许多疾病的病理生理过程中起着重要的作用。1999 年我国卫生部正式批准 AA 为新型的营养强化剂。到 2001 年底, 已有近百个国家批准了 AA 在婴幼儿食品中添加。

1.1 促进大脑发育

AA 是构成大脑皮质区磷脂质的两种主要长链多不饱和脂肪酸之一, 对大脑发育起着关键作用。AA 是胎儿和婴幼儿大脑发育的物质基础, 缺乏 AA 会造成智力和认知能力发育的损害。Prado^[2]等用同位素示踪法发现母乳里 90% 的 AA 主要来自于母体内长期储存的 AA, 而非直接的肠道吸收, 所以产妇在孕前或孕期有计划地补充 AA 是有必要的。有研究表明, 与用非强化 AA 和 DHA 婴儿配方奶粉喂养的婴儿相比, 用贝莱智力量表 (Bayley Mental Development Index) 测出的智商分数显著提高, IQ 平均高出 7 分之多^[3]。

1.2 第二信使作用

AA 及其代谢物具有第二信使作用, 在神经传导过程中起着重要作用, 如调整神经元的跨膜信号、神经元之间有效信号传递、调节神经递质的释放以及

收稿日期: 2009-09-25 * 通讯联系人

作者简介: 蒋加拉 (1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全与调控。

基金项目: 湖南农业大学人才科学基金项目。

葡萄糖的摄取等。陈丁丁^[4]研究发现海绵的感觉神经元对神经活性肽四肽 FMRF 酰胺的抑制性应答,是以花生四烯酸脂氧合酶代谢物为第二信使介导的。这类新的第二信使既可在胞内也可在胞外传递信号。AA 亦能促进或放大其他第二信使系统,如 cAMP 和 cGMP,并且细胞内形成的 AA 及其代谢物还可以作为第一信使作用于产生它们的细胞或邻近细胞,通过另外的第二信使产生效应^[5]。

1.3 调节免疫、抗炎作用

在人体免疫细胞的磷脂中,AA 的含量高达 15%~25%,AA 在 T 淋巴细胞、B 淋巴细胞与单核细胞含量比为 70:20:10^[6]。PGs 对免疫活性细胞产生双向功能^[5]:对巨噬细胞抗肿瘤作用的抑制与恢复,对抗体产生的抑制与促进作用;对细胞毒性 T (Tc) 细胞活性的抑制与增强,对自然杀伤 (NK) 细胞活性的抑制与增强。炎症肿胀是各种炎症介质产生的血管扩张和血浆渗出相互作用的结果。AA 的代谢物 PGE₂、PGI₂ 和 LTs 是一类重要炎症介质,它们引起的血浆渗出和白细胞趋化正是炎症的两个重要特征。Ferreira^[7]研究发现 PGEs 增加血管通透性,PGEs 增加血管通透性的机制除直接作用外,一部分是通过刺激炎症反应中重要介质组胺的释放而产生促炎作用。而 PGF_{2α} 具有抗炎作用,二者的平衡与否影响炎症过程发展。LTB₄ 有很强的白细胞趋化作用,当形成 LTB₄ 时,炎症反应扩大和发展。因此,对 PGEs 及 LTs 前体物环氧酶、5-脂氧酶同时具有抑制作用的新型非甾体抗炎药的研究,是近年来开发非甾体抗炎药的新方向。

1.4 预防与治疗冠心病

研究表明,AA 及其代谢物能引起血管舒张,某些血管含有环氧化酶(EPO),AA 需经 EPO 代谢后生成多种环氧化物发挥作用。离体和活体实验都发现 5,6-环氧化物具有扩张血管作用。而 EPO 代谢物则能抑制血小板环(加)氧酶 CO 活性,减少 TXs 产生,从而抑制血小板聚集^[8]。丁国良^[9]等用膜片钳全细胞记录技术记录应用花生四烯酸前后人心房肌细胞钠电流的方法,发现 AA 对冠心病患者心房肌细胞钠电流具有抑制和延长复活时间作用,从而达到抗心律失常作用。

1.5 降血脂作用

AA 对心脑血管疾病的预防具有重要的作用,AA 具有促进生物体内脂肪代谢,降低血脂、血糖、血液黏度,降低 LDL-C、vLDL-C,脂化胆固醇,升高 HDL-C 和 apoA,提高血管弹性,调节血细胞等功能^[5]。王海堂^[10]研究了花生四烯酸对高脂大鼠血脂及抗氧化指标的影响。发现 AA 在有效降低高脂大鼠血脂的同时,可以降低血中丙二醛(MDA)含量(P<0.01),升高肝组织超氧化歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性。且 AA 的降血脂、降血压和降血胆固醇的效果均强于亚油酸和亚麻酸,对氯化钡、乌头碱等引起的心律不齐具有不同程度的抵抗作用。

1.6 预防与治疗糖尿病

金开山^[11]等探讨花生四烯酸对链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠的糖化血清蛋白、丙二醛和总抗氧化能力的影响,发现 AA 能降低糖尿病大鼠糖化血清蛋白、丙二醛,提高糖尿病大鼠的抗氧化能力。此外 AA 可以调节胰岛素活性,改善胰岛素抵抗。血液中升高的游离脂肪酸与胰岛素抵抗的发生和乙型糖尿病的发病有密切关系。Wu MianYun^[12]分别检测了正常喂养的小鼠、高脂肪食物喂养的小鼠以及添加了 AA 的高脂食物喂养的小鼠的胰岛素感性情况,发现 AA 对改善因血液中升高的脂肪酸引起的胰岛素抵抗有显著性的效果,从而避免了由此引起的肝糖输出升高与体内代谢紊乱。近年又发现了 AA 的一些新的代谢产物^[13]:前列腺素物质,如 8-表氧-PGF_{2α}、DH-TXB₂、TXB₂。其生理、病理与药理意义已被逐渐认识。8-表氧-PGF 可作为一个衡量脂质过氧化反应的特有的可靠指标,而 DH-TXB₂ 能准确地反映体内血小板活化。专家推测这些物质可能会造成糖尿病微血管内皮细胞化学和机械损伤,使内皮素等缩血管物质增加,从而导致糖尿病血管病变。

1.7 营养与保护皮肤

AA 在许多皮肤病的病理生理过程中起重要作用。如在银屑病、痤疮、荨麻疹、掌跖脓疱病及接触性皮炎、异位性皮炎中,AA 及其衍生物(尤其是 LTs)都发挥着重要的作用^[5]。Steenfeldt^[14]等对海洋鱼进行实验,发现缺乏 AA 的海洋鱼,色素不能沉着,导致了白化病,并且生长速度缓慢,不能完成整个回游活动。这提示人们,干预 AA 代谢的物质对皮肤病具有极大的治疗潜能。AA 对人体皮肤的影响有待进一步研究。

此外,AA 还能预防癌变,PGs 有抗癌活性,在日本,癌症研究的一个分支就是以 PGD₂(PGJ₂)的抗癌效果为基础,寻求 PGs 系列的抗癌剂^[5];AA 还参与形成视网膜的感光体,对视力发育非常重要。在肥胖症、病毒感染,抑制血小板聚集等方面也有独特的活性。

2 花生四烯酸的生产

AA 的传统来源是动物的肾上腺、肝脏、沙丁鱼油和蛋黄等,但含量很低,约为 0.2%,且受季节的限制,用这种方法制备的 AA 成本过高,且产量过低,难以满足社会的需求。利用微生物发酵生产 AA 具有产量高成本低的特点,克服了传统生产方法的缺陷,成为近年来国内外的研究热点。

2.1 产 AA 的真菌及 AA 合成途径

大量的研究发现,部分细菌、酵母菌、某些特定微藻类和多数丝状真菌均能合成 AA,其中产量较高的绝大多数集中在藻状菌纲^[2-3,15]:*Conidiobolus*(耳霉属)、*Cunninghamella Matrucho*(小克银汉霉属)、*Mortierella*(被孢霉属)、*Mucor*(毛霉属)、*Rhizopus*(根霉属)、*Diasporangitum*(枝霉属)等。尤其以高山被孢霉(*M.alpina*)、深黄被孢霉(*M.isabellina*)、*Mortierella polycephala*(多头被孢霉)、长被孢霉(*M.elongata*)、拉曼被孢霉(*M.ramarii*)、终极腐霉(*Pythium ultimum*)为最。

在微生物体内,以糖类为底物,经脂肪酸合成途

径与脱氢酶的两步脱氢作用合成亚油酸,再由亚油酸在脂肪酸延长酶与 Δ^5 -脱饱和酶作用下分别发生碳链延长(乙酰辅酶A和或丙二酰辅酶A为碳原子受体)和去饱和作用,完成AA的合成。见图1^[16]。

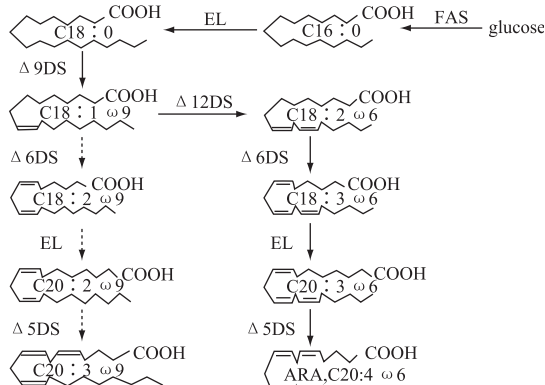


图1 PUFAs的合成途径

注:FAS-脂肪酸合成;EL-延长;DS-去饱和作用。

2.2 国外花生四烯酸的生产研究

从20世纪70年代开始,国外就开始利用真菌生产AA,英国、加拿大、美国及日本在这方面研究得较多。Higashigama^[17]等研究了无机盐对被孢霉IS-4的菌丝形态和AA产量的影响,在以大豆粉和葡萄糖作为碳源的50L发酵罐中,加入0.3% KHPO_4 、0.1% Na_2SO_4 、0.05%的 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、0.05% $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,菌体形态为有利于积累AA的1~2mm的小球团,AA产量达9.8g/L,在10kL的放大生产发酵罐中,AA的产量高达10.9g/L。接着又研究了溶解氧对该菌种的菌体形态和AA产量的影响,发现溶解氧在10~15ppm最有利于AA生产^[18]。James P. Wynn^[19]等研究AA合成过程的限制速率的环节,发现在AA合成起始时,脂肪酸的去饱和与延长是分别进行的,限制AA合成速率是从18:3(n-6)到20:3(n-6)这一环节。Tsunehiro Aki^[20]等从淡水池塘里分离了几株被孢霉,选育出被孢霉YN-15,在25L发酵罐中,以葡萄糖与酵母提取物作为培养基,发现添加一定量的油酸、豆油、硫化铵、磷酸钾,能使产量显著提高,达7.1g/L。同年,Koike^[21]发现了C/N比对菌丝体及AA产量的影响,在C(葡萄糖)+N(大豆粕)=50g/L的前提下,N源较C源多时,主要增加生物量,而C源较N源多时,则可以提高AA及总脂肪酸的产量。C/N小于20,菌丝球的大小和宽度不变,大于20时,随着C/N的增加而变大,C/N在15~20,花生四烯酸的产量最高。Takeno S^[22]等找到限制AA合成速率的分子证据,在18:3(n-6)到20:3(n-6)这一环节,存在一种脂肪酸延长酶调控着合成速率。Koizumi^[23]等采用图象分析技术研究了氨基酸对被孢霉菌丝形态及菌落形成速率的影响,发现丙氨酸和缬氨酸能促进菌丝生长,谷氨酸、丙氨酸和缬氨酸能促进菌落中心快速形成,其中谷氨酸促进能力最强。

2.3 国内花生四烯酸的生产研究

相对国外,国内起步得较晚,但国内含AA的菌种与选育方面具有一定的优势,而且部分菌种已经

实现工业化的生产。中国等离子物理研究所于1992年开始了选育AA高产菌的研究。在菌种的筛选和改良上,朱敏^[24]研究出一种快速而有效的AA高产菌选育方法,即用氯化三苯基四氮唑染色法,分离AA高产菌,发现染色越深,AA在菌体内含量越高,并用此方法选育出了被孢霉M6,AA占油脂含量的72.3%,产量为4.82g/L。袁成凌^[25]等利用低能离子束生物技术对花生四烯酸产生菌(*M. alpina* N₇)进行诱变选育,在离子注入(10keV, $3 \times 10^{14} \text{N}^+/\text{cm}^2$)条件下,后代菌株离散程度明显高于自然分离,并最终获得一株高产菌I₉-N₁₈,比对照组N₇菌株产量提高126.2%。王安琪^[26]等以轮梗霉(*Diasporangium* sp.)作为出发菌株,利用紫外线作为诱变剂,分别通过15℃的低温和0.09mg/mL乙酰水杨酸的筛选作用,筛选到LT1.12菌株(AA产量提高46.41%)和A1.13菌株(AA产量提高53.15%),通过对脂肪酸组分的分析,确定乙酰水杨酸为更加具有针对性的筛选条件。赵沫^[27]等对产AA菌轮梗霉的原生质体进行诱变育种并连续采用紫外线、微波及硫酸二乙酯作为诱变剂进行多轮诱变,通过15℃低温和0.12g/mL乙酰水杨酸初筛及摇瓶发酵复筛,得到突变株MW40+DES20II-4,其AA占总脂肪酸的含量从出发株的8.034%提高到15.098%。此法说明多轮诱变对于脂肪酸生产菌是有效的育种手段。

在优化培养条件和代谢调控方面,通过对温度、pH、培养基组成、菌丝形态、补料方式、酶活性等多个方面的调控,以提高AA产率。在好氧发酵中,充足的物质转移和氧的提供对获得高生产率是必不可少的。鲍时翔^[28]等利用被孢霉菌M10生产AA时,分别在培养基上添加了玉米油、橄榄油和豆油,结果显示AA产量得到了提高,且添加0.02%橄榄油的效果最好。贡国鸿^[29]等利用中科院等离子体物理研究所提供的被孢霉,进行了5T发酵罐工业化发酵,干菌体平均收率为2.34g/100mL,干菌体中油脂含量平均为38.2%,油脂中AA含量平均为51.75%。周蓬蓬^[30]发现添加毛霉菌油对被孢霉生长与油脂产量没有影响,但可以提高AA在油脂中的含量。接着研究己糖单磷酸途径在高山被孢霉M3-18生产AA中的作用^[31],发现被孢霉M3-18菌体中的该途径的关键酶葡萄糖六磷酸脱氢酶(G-6-PDH)的活性变化与生物量、总油脂产量、AA产量成正相关。并通过调节G-6-PDH活性提高了AA的产量。兰文智^[32]等研究发现谷氨酸能提高AA产率,添加0.8g/L时效果最好,原因是谷氨酸有利于磷酸戊糖途径的激活。朱敏^[33]等用廉价的玉米淀粉水解物、大豆粕作为碳、氮源,碱法提取大豆粕的蛋白,添加一定量的硝酸钠,AA产量提高显著。接着对高山被孢霉中的AA合成的关键酶—— Δ^5 脱饱和酶基因进行分离与验证^[34]。2007年林炜铁^[35]等利用被孢霉(*Mortierella* sp.) M10,采用孢子接种,当使孢子量不低于 4.0×10^{-5} 个/mL时,可以得到菌体的最佳生长形态,即短而多分枝状菌体,AA的产量大于0.45g/L,并且发现油脂在菌体快速生长时期开始积累,在培

养的第5d达到最高。金明杰^[36]等研究了两步发酵法生产AA,在发酵的第5d和第7d后,分别添加了3% (w/v)和2% (w/v)的乙醇,AA产量高达19.8g/L,是至今为止发酵法产AA的最高产量。

国内外对微生物产AA的研究已取得一定的成绩,但在AA产生菌的选育、优化培养基与培养条件、代谢调控等方面一直没有较大的突破。菌体中AA的含量较低,培养工艺对AA的选择性还不高,这也是AA的市场价格居高不下的主要原因。AA的生物合成是通过很多酶促反应进行的,包括脂肪酸的合成、延长和脱氢等步骤,所以,在分子水平上,要大力研究这些步骤的相关酶及其基因的作用和调节机制,以便更好地在分子水平上调控培养工艺,从遗传角度上改造菌株,以提高AA产量。

3 结语

利用微生物生产花生四烯酸,其油脂脂肪酸存在于菌体内,产量受菌体得率、脂肪酸含量和脂肪酸成分三者的影响,并且适于细胞大量生长的条件和脂肪酸积累的条件往往不一致。目前,亟待解决的问题仍然是继续筛选高产菌株和改良现有菌种以提高AA产量。其次,寻求更优的发酵工艺。固态发酵法生产油脂已成为当前的一个发展趋势,与液态发酵法相比,它具有设备要求简单、无须严格无菌条件、材料来源广、投资少、加工成本低、无废水污染、易大规模生产等优点。目前已经有利用固态发酵生产 γ -亚麻酸的报道,所以固态发酵将成为AA生产的另一条捷径。此外,从发酵底物出发,寻求更优的菌株、工艺条件、原料,利用最廉价的材料如稻草、秸秆、玉米芯等,能够使成本降低、扩大工业化生产,同时加大对富含AA保健品的研发力度,扩大此类产品的市场占有率,繁荣产品种类。

随着人们对保健、美容意识的增强,AA作为一种重要的营养强化剂和功能因子,在食品、药品和化妆品等行业的需求必将大幅增长,有着广阔的市场前景。因此,对AA的研究无论对社会效益还是经济效益都有着极其重要的意义。

参考文献

- [1] 袁成凌,姚建铭,王文生,等.花生四烯酸的研究概况及应用前景[J].中国生物制品学杂志,2000,13(1):63-64.
- [2] Prado M D, Villalpando S, Elizondo A, et al. Contribution of dietary and newly formed arachidonic acid to human milk lipids in women eating a low-fat diet [J]. American journal of clinical nutrition, 2001, 74(2): 242-247.
- [3] 于长青,李丽娜.花生四烯酸研究进展[J].农产品加工·学刊,2007(4):10-12.
- [4] 陈丁丁.一类新的第二信使——花生四烯酸脂氧合酶代谢物[J].生物化学与生物物理进展,1989(5):19-22.
- [5] 袁成凌,姚建铭,余增亮.花生四烯酸及其代谢物的生物学作用[J].中国药物化学杂志,2000,10(1):75-78.
- [6] Calderl PC, Grimble R F. Polyunsaturated fatty acids, inflammation and immunity [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2002(56): 14-19.

- [7] 陈龙,朱祖康,王丙云,等.花生四烯酸代谢物在炎症中的作用[J].国外畜牧科技,2000,27(4):31-34.
- [8] 包建新,楼亚平.花生四烯酸及其代谢物的第二信使作用[J].中国药理学通报,1991,7(5):321-323.
- [9] 丁国良,胡大一,李洁,等.花生四烯酸对冠心病患者心房肌细胞钠电流的抑制作用[J].中华心律失常学杂志,2001,5(3):170-173.
- [10] 王海棠.花生四烯酸对高脂大鼠血脂及抗氧化酶指标的影响[J].食品工业科技,2003,24(7):70-71.
- [11] 金开山,秦文浩,施辉,等.花生四烯酸对糖尿病大鼠糖化血清蛋白、丙二醛和总抗氧化能力的影响[J].南通大学学报,2005,25(4):241-243.
- [12] Wu M Y, Wang X M, Duan Q H, et al. Arachidonic acid can significantly prevent early insulin resistance induced by a high-fat diet [J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 2007, 51(3): 270-276.
- [13] 卢国元,沈蕾,谢燕.血管内皮生长因子及花生四烯酸代谢紊乱在糖尿病肾病中的作用[J].苏州大学学报,2005,25(6):1020-1022.
- [14] Land I, Steinfeldt S J, Hansen B w. Effect of dietary arachidonic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on survival, growth and pigmentation in larvae of common sole (Solea solea L) [J]. Aquaculture, 2007, 273(40): 532-544.
- [15] 雷帮星,梁宗琦,刘作易.利用真菌生产GLA、Ara和EPA的研究进展[J].山地农业生物学报,2000,19(5):388-393.
- [16] Kenichi H, Shigeaki F, Enoch Y Park, et al. Production of Arachidonic Acid by Mortierella Fungi [J]. Biotechnol Bioprocess Eng, 2002(7): 252-262.
- [17] Higashiyama, Kenichi Y, Toshiaki A, et al. Effects of mineral addition on the growth morphology of and arachidonic acid production by Mortierella alpina 1S-4 [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1998, 75(12): 1815-1819.
- [18] Higashiyama K, Murakami K, Tsujimura H, et al. Effects of dissolved oxygen on the morphology of an arachidonic acid production by Mortierella alpina 1S-4 [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1999, 63(4): 443-448.
- [19] James P Wynn, Colin R. Evidence that the rate-limiting step for the biosynthesis of arachidonic acid in Mortierella alpina is at the level of the 18:3 to 20:3 elongase [J]. Microbiology, 2000, 146: 2325-2331.
- [20] Tsunehiro A, Yumiko N, Katsuyuki I, et al. Production of Arachidonic Acid by Filamentous Fungus, Mortierella alliacea Strain YN-15 [J]. JAOCs, 2001, 78(6): 599-604.
- [21] Koike Y, Cai H J, Higashiyama K, et al. Effect of consumed carbon to nitrogen ratio on mycelial morphology and arachidonic acid production in cultures of Mortierella alpina [J]. Biosci Bioeng, 2001(91): 382-389.
- [22] Takeno S, Sakuradani E, Murata S, et al. Molecular evidence that the rate-limiting step for the biosynthesis of arachidonic acid in Mortierella alpina is at the level of an elongase [J]. Lipids, 2005, 40(1): 25-30.

(下转第395页)

分时,挥发物的形成受到抑制,这可能是由于甘油本身的粘性抑制了反应物的流动。作者还发现低水分含量的反应介质会改变挥发物整体的风味轮廓,会产生一些特别的化合物^[13]。

W.Grosch 等人将硫胺素、半胱氨酸和核糖混合发生美拉德反应,采用两种不同浓度的焦磷酸钠缓冲液作为反应介质,缓冲液浓度分别为 0.2mol/L 和 0.1mol/L,结果发现高缓冲浓度反应体系得到的肉香味化合物 2-甲基-3-呋喃硫醇含量比低浓度的高 2 倍(缓冲液 pH 都是 5.7)。

3 结语

经过近一个世纪的研究,虽然人们对美拉德反应已经有了较为深入的认识,但是以肽为前体物的美拉德反应研究仍较少,不同肽对反应活性的影响也没有得到系统的结论。

肽作为重要的风味增强剂和前体物,在食品风味研究中显得越来越重要。随着研究手段的不断改进,相信以肽为前体物的美拉德反应的研究会引起更多的关注并取得更大的进展。

参考文献

- [1] 付莉,李铁刚.简述美拉德反应[J].食品科技,2006(12):9-11.
- [2] 赵剑飞.谈肉制品的调香调味[J].肉品卫生,2005(6):47-49.
- [3] 刘梅森,何唯平.美拉德反应在肉类香精中的作用[J].中国调味品,2004(8):34-36.
- [4] 赵旭壮.肉品风味形成与美拉德反应[J].肉类工业,2006(1):14-16.
- [5] Aaslyng M D, Martens M, Poll L, et al. Chemical and sensory characterization of hydrolyzed vegetable protein, a savory flavoring [J]. J Agric Food Chem, 1998(46):481-489.
- [6] Shahidi F. Flavor of Meat, Meat Products and Sea foods [M]. New York: Blackie Academic & Professional, 1998: 15.
- [7] Suzuki H, Kajimoto Y, Kumagai H. Improvement of the Bitter Taste of Amino Acids through the Transpeptidation Reaction of Bacterial γ -Glutamyltranspeptidase [J]. J Agric Food Chem, 2002(50):313-318.
- [8] Mohr W, Landschreiber E, Severin Th. Zur spezifität des kakao aromas [J]. Fette Seifen Anstrichm, 1976(78):88-95.
- [9] Basha S M, Young C T. Changes in the polypeptide composition of peanut (Arachis hypogaea L.) seed during oil roasting [J]. J Agric Food Chem, 1985, 33:350-354.
- [10] Stark T, Hofmann Y. Structures, sensory activity, and dose/response functions of 2,5-diketopiperazines in roasted cocoa nibs (Theobroma cacao) [J]. J Agric Food Chem, 2005(53):7222-7231.
- [11] R Teranishi, G R Takeoka, M Guntert, et al. Peptides as flavor precursors in model Maillard reactions. In Flavor precursors: thermal and enzymatic conversion [M]. Washington DC: American Chemical Society, 1991:193-202.
- [12] De Kok P M T, Rosing E A E. Reactivity of peptides in the Maillard reaction. In Thermally generated flavor: Maillard, microwave, and extrusion process [M]. Washington DC: American Chemical Society, 1992:158-179.
- [13] Lu C T. Peptides as flavor precursors in Maillard reaction [D]. The State University of New Jersey, 2006.
- [14] 艾萍,张伟民.论述利用美拉德反应制备牛肉香味料 [J]. 中国调味品, 2002(7):33-35.
- [15] Werner G, Gabriele Z H. Formation of Meatlike Flavor Compounds. In Flavor precursors: thermal and enzymatic conversion [M]. Washington DC: American Chemical Society, 1991:183-192.
- [16] El-massry K, Farouk A, El-Ghorab A. Volatile constituent of glutathione-ribose model system and its antioxidant activity [J]. Amino Acids, 2003, 24:171-177.
- [17] 周蓬蓬,秦文敏,余龙江,等.毛霉菌油对被孢霉产生四烯酸的影响 [J]. 生命科学研究, 2002, 6(3):246-249.
- [18] 周蓬蓬,秦文敏,余龙江,等.调节己糖磷酸途径提高被孢霉花生四烯酸产量 [J]. 华中科技大学学报, 2002, 30(9):108-110.
- [19] Lan W Z, Qin W M, Yu L J. Effect of glutamate on arachidonic acid production from Mortierella alpina [J]. Letters in Applied Microbiology, 2002, 35(4):357-360.
- [20] Zhu M, Yu L J, Wu Y X. An inexpensive medium for production of arachidonic acid by Mortierella alpina [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2003, 30(1):75-79.
- [21] 袁成凌,王纪,姚建铭,等.低能离子注入花生四烯酸产生菌诱变选育及其产业化研究 [J]. 高技术通讯, 2003(6):22-26.
- [22] 王安琪,戴传超,赵沫,等.轮梗霉高产花生四烯酸的诱变育种研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(2):158-162.
- [23] 赵沫,戴传超,王安琪,等.高产花生四烯酸菌的原生质体诱变育种研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(2):275-278.
- [24] 鲍时翔,黄慧琴,朱发科,等.被孢霉菌发酵产生花生四烯酸的初步 [J]. 菌物系统, 1999, 18(3):326-329.
- [25] 贡国鸿,尚耘,高翔,等.微生物发酵法生产花生四烯酸油脂 [J]. 中国油脂, 2002, 27(2):43-44.
- [26] Koizumi K, Higashiyama K, Park E Y. Effects of amino acid on morphological development and nucleus formation of arachidonic acid-producing filamentous micro-organism, Mortierella alpina [J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 100(4):885-892.
- [27] Zhu M, Yu L J, Wu Y X. An inexpensive medium for production of arachidonic acid by Mortierella alpina [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2003, 30(1):75-79.
- [28] 袁成凌,王纪,姚建铭,等.低能离子注入花生四烯酸产生菌诱变选育及其产业化研究 [J]. 高技术通讯, 2003(6):22-26.
- [29] 王安琪,戴传超,赵沫,等.轮梗霉高产花生四烯酸的诱变育种研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(2):158-162.
- [30] 赵沫,戴传超,王安琪,等.高产花生四烯酸菌的原生质体诱变育种研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(2):275-278.
- [31] 鲍时翔,黄慧琴,朱发科,等.被孢霉菌发酵产生花生四烯酸的初步 [J]. 菌物系统, 1999, 18(3):326-329.
- [32] 贡国鸿,尚耘,高翔,等.微生物发酵法生产花生四烯酸油脂 [J]. 中国油脂, 2002, 27(2):43-44.

(上接第 392 页)