

# $\gamma$ -氨基丁酸的研究进展

林亲录<sup>1,2</sup>, 王婧<sup>2</sup>, 陈海军<sup>2</sup>

(1.中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004)

(2.湖南农业大学食品科学与技术学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 本文从 $\gamma$ -氨基丁酸的保健功能、代谢途径、提取方法等方面阐述了国内外 $\gamma$ -氨基丁酸的研究趋势, 探讨其应用前景, 提出了发展 $\gamma$ -氨基丁酸制品的必要性, 预期 $\gamma$ -氨基丁酸保健品成长的可能性。

**关键词:**  $\gamma$ -氨基丁酸; 功能; 趋势

中图分类号: TS201.2; 文献标识码: A; 文章编号: 1673-9078(2008)05-0496-05

## Research Progress of $\gamma$ -Amino Butyric Acid

LIN Qin-lu<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, CHENG Hai-jun<sup>2</sup>

(1.College of Food Science & Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)(2.College of Food Science & Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In this paper, the research trends of  $\gamma$ -amino butyric acid (GABA), including its healthy functions, metabolic pathway, and extraction, were reviewed. The application prospects of GABA were also discussed.

**Key words:**  $\gamma$ -amino butyric acid; function; trends

$\gamma$ -氨基丁酸又名 4-氨基丁酸 (4-Aminobutanoic acid, 4-AB, 简称 GABA) 和  $\gamma$ -氨基酪酸, 广泛存在于自然界, 由谷氨酸 (Glutamic acid, Glu) 经谷氨酸脱羧酶 (Glutamate decarboxylase, EC4.1.1.15, 简称 GAD 或 GDC) 催化而来, 是哺乳动物中枢神经系统中的重要抑制性神经递质<sup>[1]</sup>, 具有重要的生理功能, 已报道的生理活性有调节血压、促使精神安定、促进脑部血流、增进脑活力、营养神经细胞、增加生长激素分泌、健肝利肾、预防肥胖、促进乙醇代谢 (醒酒)、改善更年期综合症等多种功效<sup>[2,5]</sup>。

作为一种化学物质来说, 早在 1883 年 GABA 就被人工合成<sup>[1]</sup>。1950 年有人<sup>[2]</sup>发现哺乳动物正常脑内的 GABA 的浓度很高, 但生理意义不明。随后, 有人从牛脑中提取出一种能抑制螯虾牵张感受器神经元产生冲动提取液, 发现其具有抗乙酰胆碱及对豚鼠和家兔的回肠有收缩作用, 并证明此提取液中起抑制作用的组分就是 GABA<sup>[3]</sup>。Segal SA 等<sup>[4]</sup>又证实 GABA 对哺乳动物的中枢神经具有普遍抑制作用, 将用离子电泳分离得到的 GABA 注射于猫皮层十字沟周围的神经元, 可引起神经元的超极化, 其电位与刺激皮层表面突触所产生的抑制性电位相同, 并发现用电刺激猫

的小脑浦氏细胞时第四脑室灌流液中的 GABA 含量增加 3 倍, 因而推测浦氏神经元释放的化学递质是 GABA。但是, GABA 的意义和作用被真正确认是在 1975 年的第二届国际 GABA 专题讨论会上。在那次会议上, GABA 被正式确认为哺乳动物中枢的一种抑制性递质<sup>[1]</sup>。

由于 GABA 有很高的生理功能和广阔的应用前景, 已受到世界学术和企业界越来越多的注意和研究。欧美和日本等少数发达国家有很多研究人员从事 GABA 的研制开发工作, 并在其生理功效方面的研究处于领先水平。

### 1 GABA 的分子结构和基本的理化性质

GABA 分子式为  $C_4H_9NO_2$ , 相对分子量 103.2, 结构式如图 1。

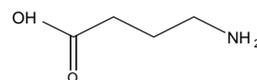


图 1 GABA 的结构

Fig.1 The structures of GABA

GABA 是一种白色或近白色结晶性粉末, 极易溶于水, 微溶于热乙醇, 不溶于冷乙醇、苯、乙醚, 解离常数:  $pK_{COOH}=4.03$ ,  $pK_{NH_3}=10.56$ , 无旋光性。熔点 (mp): 203~204 °C (分解), 熔化解成吡咯烷酮和水, 如图 2 所示。

收稿日期: 2008-01-14

作者简介: 林亲录 (1966. 4-), 男, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, 食品营养与质量安全

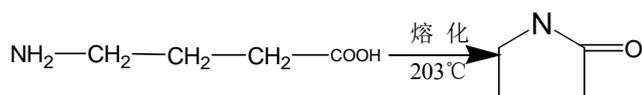


图2 GABA 熔化成 2-吡咯烷酮

Fig.2 GABA melts into 2-pyrrolidone

## 2 GABA 的代谢途径

GABA 合成的主要途径是 L 谷氨酸 (L-Glu) 脱羧而成, 该反应由 GAD 催化, 在某些情况下, GABA 可由鸟氨酸和丁二氨转化而来, 但这些物质都是由 Glu 生成的, 所以说 Glu 是 GABA 的唯一来源<sup>[6]</sup>。

在细菌和哺乳动物大脑中, GABA 首先在 GABA 转氨酶 (7-Aminobutyrate transaminase) 的催化下, 和 α-酮戊二酸发生转氨作用形成琥珀酸半醛 (SSA) 和 Glu, 然后 SSA 在琥珀酸半醛脱氢酶 (succinate semialdehyde dehydrogenase, 简称 SSADH) 氧化形成琥珀酸进入三羧酸循环, 这些反应和 GAD 催化的 Glu 脱羧反应一起, 构成了 α-酮戊二酸氧化成琥珀酸的另一条支路, 称之为 GABA 支路, 如图 3。

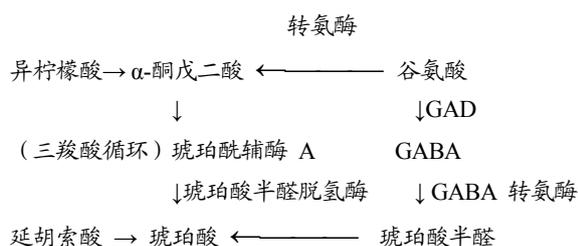


图3 GABA 支路

Fig.3 GABA spur track

Naylor 和 Tolbert<sup>[7]</sup>在理论上首先推测高等植物中存在 GABA 支路。此后陆续报道<sup>[2]</sup>GABA 支路存在于烟草培养细胞、马铃薯块茎、西红柿和西葫芦幼苗等许多植物。

## 3 GABA 的生理功能

### 3.1 调节血压与心率

GABA 是脑内重要的抑制性递质, 对哺乳动物的心血管活动有着重要的调节作用<sup>[8]</sup>。TaKahashi 等<sup>[3]</sup>首次报道 GABA 对心血管系统的作用, 并且发现在 γ-氨基酸类中 GABA 对心血管活动的效应最强<sup>[3]</sup>。以后他们在兔、犬和猫的实验中, 证明 10 mg/kg GABA 可降低血压和使心动过缓的效应, 但其效应可通过切除交感神经或阻断神经节来阻止, 另其效应不需要迷走神经、主动脉神经和窦神经参加, 因此认为 GABA 是通过中枢神经对血压与心率进行调节。Antouaccio<sup>[9]</sup>等在麻醉的猫的脑室注射 3~1000 μg/kg 的 GABA, 猫

的血压和心率的下降均呈剂量-效应关系, 首次证明 GABA 可通过中枢交感神经对血压和心率进行调节。我国学者孙妙坤<sup>[10]</sup>用电离子透入法证明动脉压力反射弧的迷走传入冲动在延递交感神经元上的抑制性的递质是 GABA, 揭开了其在心血管活动中枢调节之谜。一些报告证明 GABA 对心血管还有外调作用, Billingsley<sup>[11]</sup>等给麻醉狗和大鼠静脉注射 1~1000 μg/kg 的 GABA 也发现其对麻醉狗和大鼠具有降压和减慢心率的作用, 而其它氨基酸无此作用。由于此实验中 GABA 不可能通过血脑屏障, 他推断 GABA 可能直接作用于心肺血管的组织。一些离体实验<sup>[9]</sup>证明 GABA 对狗的基底动脉和大脑中动脉产生舒张作用, 而在主动脉、肠系膜动脉或门静脉上无此作用。

另 GABA 具有抗心律失常的作用, Segal SA 等<sup>[4]</sup>给猫的中枢神经注射 GABA, 证明 GABA 可通过交感神经降低因中枢神经造成的的冠脉血管的阻力及缺血性心律失常。

### 3.2 营养神经

近年发现 GABA 在神经系统的发育过程中具有营养作用, 是一种神经营养因子。在神经系统发育的早期, GABA 可作为一种化学信号, 影响神经元的运动, 刺激神经元的迁移。GABA 对一些细胞器尤其是对涉及合成与转运整合膜蛋白的细胞器影响较大, 故 GABA 可促进整合膜蛋白的合成, 包括 GABA 受体以及一些神经相关蛋白及酶的合成。GABA 对一些神经相关蛋白及酶的表达也具有一定的调节作用<sup>[12]</sup>。

### 3.3 治疗癫痫

癫痫的发作和中枢神经递质之间有密切关系<sup>[13]</sup>。癫痫是中枢神经系统的常见疾病, 发病率 0.5%~1.5%, 是大脑功能失调引起的一种临床综合症。患者脑脊液中 GABA 较正常人明显降低, 且其程度与发病类型有关。GABA 可提高抗惊厥阈值, 是治疗顽固性癫痫的特效生化药物。1997 年, 大熊诚太郎<sup>[18]</sup>的研究表明, 帕金森病人和癫痫病患者脑脊液中 GABA 较正常人明显降低, 且其程度与发病类型有关。

### 3.4 辅助治疗哮喘

研究表明<sup>[11]</sup>GABA 与 A 型 GABA 受体结合所产生的具有抑制肺 C 类纤维释放的 P 物质与神经激肤 A 和降钙素相关肽等速激肽能共同参与哮喘炎症反应, 引起支气管痉挛、气管微血管渗漏和粘膜腺体的高分泌等反应, 并与激素抗细胞因子性炎症起协同作用, 迅速缓解喘息症状。GABA 可阻断哮喘的神经源性炎症, 又从多个环节抑制气管平滑肌的收缩, 降低气道高反应性, 迅速缓解喘息症状, 且副作用少见, 是控

制哮喘急性发作的有效药物<sup>[14]</sup>。

### 3.5 活化肝肾功能

给老鼠喂食富含 GABA 的米胚芽实验,发现大鼠肾脏基底膜细胞坏死减少,尿素态氮降低,说明 GABA 具有活肾功能<sup>[15]</sup>。GABA 在体内能大幅度下降碱性磷酸酶和转氨酶值,还能抑制谷氨酸的脱羧反应,与  $\alpha$ -酮戊二酸反应生成谷氨酸,使血氨降低,使更多的谷氨酸与氨结合成尿素排出体外,以解氨毒,从而增强肝功能。

### 3.6 促进生长激素分泌

研究表明<sup>[16]</sup>GABA 具有促进生长激素分泌的作用,口服 5 g GABA 可使血液中的生长激素(GH, hGH)显著提高,超过 5 ng/mL。

GH 是人体内含量最高的几种激素之一,由于影响全身细胞、骨骼、肌肉和器官的生长,因此对于人体新陈代谢和各种生理功能有着广泛的调节作用,其调节主要表现在 3 个方面:(1)对脂肪代谢的作用:GH 对脂肪组织有促进脂肪分解而使血浆游离脂肪酸升高的作用。(2)对蛋白质代谢的作用:GH 促进许多组织中 RNA 及蛋白质的合成,出现正氮平衡,使软骨、骨骼、肌肉结缔组织及内脏皆增长,此种作用主要通过生长素介质而实现的。(3)促进生长素介质生成:GH 促进肝脏等组织合成生长素介质(又称胰岛素样生长因子,ILG),此种介质属于肽类,有增加软骨中胶原和其它蛋白质、硫酸软骨素、核酸合成的作用,从而促进软骨细胞的分裂和基质增生,与骨骼和结缔组织的生长有关;又有胰岛素样作用,能促进脂肪组织、肌肉组织等对葡萄糖的摄取氧化,增强肌肉中蛋白质的合成。这些生理功能对提高运动能力,加速疲劳的消除都能起到积极的作用。因此很多运动员都试图利用 GH 来提高运动能力和运动成绩。

此外, hGH 对抗衰老、免疫调节及其它生理功能等都有十分重要的作用。目前,欧美等国已有 PRO-hGH、CSE-hGH、BioTropin、AgeLess 等二十多个重组人生长激素产品获得美国 FDA 批准作为保健品上市,香港、台湾等地早已在多年前就开始了用注射人生长激素来进行延缓衰老、恢复青春等康复保健的实践。此产品获得越来越多消费者的认可,为大众健康做出了新贡献。

然而,过多服用生长激素会有副作用,而与补充外源 GH 相比, GABA 由于能够促进人自身的生长激素分泌,因此更安全合理。

### 3.7 抗衰老

中国科技大学、中科院昆明动物研究所和美国犹

他大学的科研人员合作研究发现,大脑中神经递质——GABA 的减少可能是脑衰老的一个原因<sup>[17]</sup>。

GABA 能帮助神经细胞处于对信号的高识别能力状态,科学家给老年恒河猴大脑视觉皮层的神经细胞施以微量的 GABA,结果发现神经元的行为变得“年轻”了。科研人员对老龄短尾猴进行研究后发现, GABA 可以帮助大脑处于巅峰状态。但随着年龄的增长,大脑得到的 GABA 将逐渐减少。短尾猴的视觉功能同人类相似,也会随着年龄的增加而出现恶化。当大脑处在巅峰状态的时候,它们可以挑选信号来做出反应。缺乏 GABA 将导致某种神经细胞退化,从而使短尾猴的视觉选择能力下降。相对年龄较小的短尾猴而言, GABA 及其增强剂注入老龄短尾猴体内后的功效更大。但科研人员还没有在人类身上进行试验。该发现预示着如果能够通过某种手段提高人大脑中 GABA 的含量,则有可能改善老年人的感觉功能以延缓衰老。

### 3.8 其它功能

除上述功能之外, GABA 还有许多其它生理功能<sup>[18]</sup>,如改善脂质代谢,防止动脉硬化的功能,防止皮肤老化,预防肥胖等功能,减轻慢性疾病如关节炎疼痛。另外其具有类似于谷氨酸的甜味,能够增强食品风味,以及醒酒消臭等作用。医学上, GABA 用于治疗尿毒症、CO 中毒的药物中。GABA 还对一些昆虫有杀灭作用,可运用于生物杀虫剂的制备。

## 4 GABA 的制备

GABA 作为一种新型的功能性因子正越来越引起人们的注意。GABA 既可以开发成为一种具有显著药理作用的药物,又可以开发成为一种具有保健性的食品,前景非常乐观。由于 GABA 天然存在量低,很难从一些天然动植物组织中大量提取分离,目前获得 GABA 的方法是化学合成法和生物法两大类,其中生物法包括植物中富集法和微生物发酵法两种。

### 4.1 化学合成法

化学合成法主要是通过  $\gamma$ -氯丁氰的取代水反应来合成,将邻苯二甲酰亚氨钾与  $\gamma$ -氯丁氰在 180 °C 反应,然后将产物与浓硫酸回流,再结晶提纯而得,或者由吡咯烷酮经氢氧化钙、碳酸氢铵水解开环制得<sup>[19]</sup>。这种合成方法条件剧烈,且有化学物质残留,即使得到纯品也不属于天然产物,且成本高。主要应用于化工和医药领域,不适合在食品中应用。

### 4.2 植物富集法

植物组织代谢主要利用内源酶转化制备 GABA,有两种形式:植物组织生长代谢富集和离体植物组织

应激代谢富集。

植物组织中有两条合成和转化 GABA 的途径：一条由谷氨酸脱羧酶（GAD，EC4.1.15）催化谷氨酸合成（GABA 支路），另一条由多胺降解<sup>[4]</sup>。第一条途径是主要的，是植物组织对外界条件应激代谢生成的。外界应激条件包括温度、压力、研磨、破碎和氧浓度等。

第一条途径主要产品有 GABA 茶和发芽糙米等。目前 GABA 茶在日本正在形成叶茶，袋泡茶罐装茶系列产品。肯尼亚、斯里兰卡等国也开始研究提高 CTC 红茶中 GABA 的含量<sup>[20]</sup>；我国也研制出高 GABA 绿茶<sup>[21]</sup>。在日本此类 GABA 产品还有以米胚芽、米糠、绿茶、南瓜、辣椒、茄子、番茄和蜜柑等为原料生产的 GABA 功能性食品<sup>[22]</sup>。

温度应激可使用微波、红外和冷冻等技术。例如制备 GABA 茶时，采用红外加热，可以使 GABA 浓度提高 1.7~2.7 倍<sup>[20]</sup>。工艺流程为：谷氨酸钠溶液（0.1~0.2 mol/L）处理鲜叶→搅拌、红外线加温→蒸热→粗揉→揉捻→中揉→干燥。植物组织应激代谢制备 GABA，原料来源相对广泛并且容易得到。

日本在中国农场试育成大胚水稻品种“海米诺里”，胚芽内的氨酪酸亦比通常的米高约 4 倍<sup>[23]</sup>。自 1993 年开始作为中国“137”栽培，同时利用胚芽作为功能性食品<sup>[23]</sup>。中国水稻研究所应用生物工程技术创新培育出一种富含 GABA 的水稻新品种基尔米，其 GABA 含量是普通大米的 6 倍<sup>[24]</sup>。

#### 4.3 微生物发酵法

早期研究以大肠杆菌发酵法生产 GABA 为主。大肠杆菌作为生产菌，发酵培养基为玉米浆、蛋白胨和矿物质等。在发酵培养过程中，利用大肠杆菌的谷氨酸脱羧酶的脱羧作用，将 L-谷氨酸转化为 GABA，再分离纯化得到 GABA 纯品，制品一般用于化工目的。我国西安交通大学的赵景联<sup>[15]</sup>对固定化大肠杆菌细胞生产 GABA 进行了研究，除大肠杆菌外，利用含有谷氨酸脱羧酶的酵母菌、乳酸菌和曲霉菌等食品安全级微生物也可发酵制得 GABA<sup>[15]</sup>，其产品具有成本低及含量高可安全用于食品等优点，但高效的微生物菌种通常较难获得。

乳酸菌是近年来作为一种食品安全级（GRAS）的微生物在食品工业中的应用非常广泛且历史悠久，很多乳酸菌在人和动植物体内定植并产生大量有益健康的成分，被誉为重要的、必不可少的益生菌。乳酸菌制品的健康功效使其具有巨大的市场潜力，以日本为例，据 2002 年日本健康营养学会统计<sup>[3]</sup>，1999 年日

本批准的 19 大类 171 种健康食品中，乳酸菌类产品销售总额所占份额高达 82.1%，遥遥领先于其它品种。日本大阪生物环境科学研究所的森下日出旗<sup>[22]</sup>选得到高产 GABA 的乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* M-10，该乳酸菌在米糠成分的存在下能增强产 GABA 的能力。1997 年，日本学者 Hayakawa<sup>[25]</sup>对 8 株短乳杆菌进行筛选，发现其中 IFO 10025 在 5%谷氨酸为底物下，能积累产生 10 g/L 的 GABA。2003 年，日本学者掘江典子<sup>[15]</sup>筛选出一株乳酸菌株最高能积累 GABA 达到 35 g/L 左右。与日本的研究相比，国内的研究起步较晚，发酵水平也存在太多差距。我国江南大学的许建军、江波等<sup>[26]</sup>对生物发酵生产 GABA 进行了研究，用乳酸菌或乳酸菌和酵母菌混用作为菌种，以 L-谷氨酸钠为转化底物，添加碳源、氮源以及无机盐组成发酵培养基，利用发酵法生物转化制备  $\gamma$ -氨基丁酸。发酵后经检测，GABA 在发酵液中的质量浓度高达 300~500 mg/100 mL。另外，江南大学的刘清<sup>[27]</sup>和浙江工业大学的徐冬云<sup>[28]</sup>等通过对食品安全级（GRAS）乳酸菌的筛选，得到一株可高产谷氨酸脱羧酶的菌株，并且对该菌株的发酵培养基与发酵条件进行了优化。结果表明：采用优化后的培养基，发酵液中 GABA 含量可达到 3.10 g/L 以上。

相比而言，化学合成安全性较差，植物富集的 GABA 含量很低，而微生物发酵合成 GABA 就显得具有开发前景的。过去发酵法生产 GABA 多以大肠杆菌为生产菌，随着绿色食品的不断开发，一些含有谷氨酸脱羧酶的曲霉、酵母菌、乳酸菌等已经逐渐代替大肠杆菌，用于催化谷氨酸脱羧制得 GABA，部分已实现商业化生产<sup>[25]</sup>。

关于 GABA 的保健功能、来源与提取等方面的研究已引起国内外高度重视，发达国家在生理机能方面的研究比较深入，我国在生理机能方面的研究几乎是空白，GABA 的保健功能研究在我国已引起重视，特别是近几年来在应用方面的研究已开始紧跟国际趋势，对 GABA 的保健功能和作用机理的进一步深入探讨，必将对其应用起到极大的推动作用，预计不久的将来，与 GABA 有关的保健制品会在国内外保健品市场上快速成长起来。

#### 参考文献

- [1] 叶惟泠.  $\gamma$ -氨基丁酸的发现史[J]. 生理科学进展, 1986, 17(2): 187-189.
- [2] Satya Narayan V, Nair P M. Metabolism, enzymology and possible roles of 4-aminobutyric acid[J]. Biochemistry,

- 1989,8:21-25
- [3] Takahashi H et al. On the site of action of  $\gamma$ -aminobutyric acid on blood pressure and heart rate of anestheized cats[J]. Jpn J Physiol., 1958, 8:378-380.
- [4] Segal SA, et al. Blockade of central nervous system GABAergic tone causes sympathetic mediated increases in coronary vasculas resistance in cats[J]. Circulation Res., 1984,55:404-408.
- [5] Ki-Bum Park, Suk-Heung oh. Production of yogurt with enhanced levels of gamma-aminobutyric acid and valuable nutrients using lactic acid bacteria and germinated soybean extract [J].Bioresource Technology,2007, 98:1675- 1679
- [6] 穆小民,吴显荣.高等植物体内  $\gamma$ -氨基丁酸的代谢及生理作用[J].氨基酸杂志,1994,4:44-46
- [7] Streeter J G, Thompson J F., In vivo and in vitro studies on  $\gamma$ -aminobutyric acid metabolism with the radish plant[J]. Plant Physiol, 1972, 49:579-584.
- [8] 王来仪. $\gamma$ -氨基丁酸、受体药理学及对心血管活动的调节[J].心血管学报,1991,10(1):46-49
- [9] Antonaccio MJ & Tayloy DG. Involvement of central GABA reception in the regulation of blood pressure and heart of anestizes cats[J]. Eur J Pharmacol., 1977, 46:283-285
- [10] Sun MK & Guyenrt PG. Arterial bar-oreceptor and vagal inputs to symphatho excitatory neurons in rat medulla[J]. Am J Physiol., 1987, 252:699-702
- [11] Billingsley ML, et al., Effect of peripherally adiministered GABA and other amino acids on cardiopulmonary responses in anesthetize rats and dogs[J]. Arch Int Pharmacodyn., 1982,2:55-131
- [12] 陆勤. $\gamma$ -氨基丁酸的神经营养作用[J].国外医学生理、病理科学与临床分册,1995,15(3):187-188
- [13] 杨立川.高  $\gamma$ -氨基丁酸与癫痫[J].国内外医学神经病学科科学分册,1993,16(3):19-20
- [14] 徐传伟,夏应和. $\gamma$ -氨基丁酸控制哮喘急性发作临床疗效观察[J].滨州医学院学报,1999,22(2):181
- [15] 孙百申.红曲霉发酵及某些生理活性物质的研究,浙江工业大学硕士学位论文,2004
- [16] McCann SM, Vijayan E, et al. Gamma aminobutyric acid(GABA), a modulator pituitary hormone secretion by hypothalamic and pituitary action[J]. Psychoneuroendocrinology, 1984, 9(2):97-106
- [17] Leventhal A.G, Wang Y., Pu M., Zhou Y., et al., GABA and its agonists improved visual cortical function in senescent monkeys[J]. Science, 2003,300:812-815
- [18] Tadashi O,Tomoko S. Effect of the Defatted Rice Germ Enriched with GABA for Sleepness,Depression,Autonomic Disorder by Oral Administration.Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi,2000,47(8):596-603
- [19] 赵健. 中国化学药品大全[M].科学出版社,1992
- [20] Omori M., Kato M., Tamma T., et al. Production of CTG gabaron black tea by modifying withering condition[J]. Tea, 1998, 19(2):92-96
- [21] 廖明星,朱定和. 鲜茶叶  $\gamma$ -氨基丁酸富集的机理与关键技术[J], 现代食品科技,2007,23(7):75-77
- [22] 张晖, 姚惠源, 姜元荣.  $\gamma$ -氨基丁酸的功能性及其在稻米制品中的富积[J].粮食与饲料工业,2002,841-43
- [23] 杉下朋子.The Research and Development of Rice Germ Enrich with GABA [J].食品与开发(日),1995,36(6):10-11
- [24] 周元春. 我国培育出预防高血压稻米新品种[J].科技文萃,2003,(4):141-141
- [25] Noriko Komatsuzaki, Jun Shima, Shinichi Kawamoto, et al. Production of  $\gamma$ -amionbutyric acid by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods[J]. Food Microbiology, 2005,22:497-504
- [26] 许建军,江波,许时婴.Lactococcuslactis 谷氨酸脱羧酶的分 离纯化及部分酶学性质[J].无锡轻工大学学报,2004,5: 79-84
- [27] 刘清,姚惠源, 张晖.生产  $\gamma$ -氨基丁酸乳酸菌的选育及发酵 条件优化[J].氨基酸和生物资源,2004,26(1):21-26
- [28] 徐冬云,周立平,童振宇,等.产  $\gamma$ -氨基丁酸乳酸菌的分离筛 选[J].现代食品科技,2006,22(3):59-62