

γ - 氨基丁酸活性功能研究综述

陈恒文¹ 林碧敏² 钟杨生¹ 林健荣¹

(1 华南农业大学动物科学学院, 广州 510642; 2 华南农业大学公共基础课实验教学中心, 广州 510642)

摘要: γ - 氨基丁酸 (GABA) 是在动植物体内广泛存在的一种小分子氨基酸, 近年来成为研究的热点。对 GABA 的理化性质、制备方法、生理学功能及应用进行了综述, 为深入研究 GABA 提供参考。

关键词: γ - 氨基丁酸; 理化性质; 生理学功能; 应用

中图分类号: S888.2

文献标识码: A

文章编号: 2095 - 1205(2011)04 - 27 - 06

γ - 氨基丁酸 (γ - aminobutyric acid, 简称 GABA) 是一种四碳非蛋白质氨基酸, 又名氨酪酸。自 Stewart 等^[1]从土豆茎块中发现之后, 历经几十年的探索研究, 已发现它广泛存在于许多不同植物的组织中。在植物体内, GABA 成了细胞自由氨基酸库的重要组分, 在胞液中有多种构型, 可形成类似脯氨酸 (proline, Pro) 的环状结构。根据对高等植物组织中的 GABA 含量检测分析, 多在 $0.03 \mu\text{mol/g} \sim 32.5 \mu\text{mol/g}$ 之间, 比许多蛋白质类氨基酸的含量高^[2]。物种间的 GABA 含量差异很大, 蕨类、有花植物、掌叶半夏、红曲、藻类、藓类中的 GABA 含量较低; 苜蓿中的 GABA 则以结合态的形式存在, 是根瘤干重的 6.6%; 而在大豆叶中的 GABA 含量却只有 $0.05 \mu\text{mol/g}$ 干重^[3]。烟草中的 GABA 只在开花的组织器官中被检出, 营养组织中则没有。桑叶中的 GABA 含量, 町井博明曾分析过不同桑树品种间的含量, 在他测试的品种中, 59% 的品种在 $1.51 \text{mg/g} \sim 2.50 \text{mg/g}$ 之间, 最高的达 4.6mg/g ^[4]。金丰秋等用桑叶制作桑叶茶时, 在加工过程中利用桑叶中含有的谷氨酸

脱羧酶, 通过工艺处理, 可让桑叶茶的 GABA 含量提高的同时增强桑叶茶的香气和口感^[5]。

GABA 除了在植物中广泛分布外, 也存在于哺乳动物脑、脊髓中, 对生物体生命活动的调节起着不可替代的作用。Roberts 等在哺乳动物的脑内发现了 GABA 的浓度特别高, 后来 Streeter 进一步证实了 GABA 对哺乳动物中枢神经有抑制作用^[6]。但 GABA 被正式确认为哺乳动物中枢的一种抑制性神经递质则是在 1975 年的第二届国际 GABA 专题会上^[7]。

1 GABA 的理化性质

高纯度的 GABA 为白色结晶或结晶性粉末, 吸湿性强, 极易溶于水, 微溶于热乙醇, 不溶于冷乙醇、乙醚和苯。GABA 的分子量为 103.12, 分子式 $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$ 。它是一个两性离子, 当在生理 pH 4.03-10.56 的情况下, 既带正电又带负电荷; 熔点为 $202^\circ\text{C} \sim 204^\circ\text{C}$ ^[8]。GABA 也可以进行氨基酸的特征化学反应, 例如, 与丹磺酰氯 (DNS-C) 反应, 就会生成荧光性质强和稳定的 DNS-GABA。

资助项目: 广东省科技计划项目 (2010B0203120100); 现代农业产业技术体系专项 (NO.CARS-22)。

作者简介: 陈恒文 (1983 -), 男, 山东, 硕士研究生, 从事分子生物学研究。

2 GABA 的化学合成

GABA 可通过化学合成,将邻苯二甲酰亚氨钾与 γ -氯丁氰在 180 °C 的条件下进行反应,然后将产物与浓硫酸回流,经结晶提纯而获得。也可以由吡咯烷酮经氢氧化钙、碳酸氢铵水解开环制得。化学法反应速度快、得率高,但去除产品中的有毒成分,在技术上比较复杂,成本较高,安全性差^[9-10]。

3 GABA 生物提取法

从生物中提取,主要有两种途径,一是直接从生物体中提取;二是从微生物发酵产物中提取。

在高等植物体内,GABA 的合成途径是 L-谷氨酸(L-Glutamic, L-Glu)在 L-谷氨酸脱羧酶(Glutamic acid decarboxylase, GAD)催化作用下,经过脱羧反应进行。已有研究证明,大多数植物中存在谷氨酸脱羧酶,在发芽种子中的 L[U-¹⁴C]谷氨酸,可转变成[U-¹⁴C]GABA^[6,11]。

微生物发酵法是以谷氨酸或其衍生物(谷氨酸钠,或富含谷氨酸的物质等)为原料,利用酵母菌、乳酸菌和曲霉菌等^[12-14]食品安全级微生物发酵制得。产品有成本低、安全性高的特点,但高效产 GABA 的微生物菌种极少。许建军^[5]曾筛选出高产 GABA 的乳酸菌株 SYFS 1.009,可以使发酵液中的 GABA 含量达到 2 mg/mL 以上。刘清等^[16]得到一株可高产谷氨酸脱羧酶的乳酸菌菌株,在 33 °C 进行发酵培养 3 天后,发酵液中 GABA 含量可达到 310 g/L 以上。

4 GABA 的生理学功能

4.1 GABA 的药理作用

GABA 是一种功能性的非蛋白质氨基酸,国内外学者对 GABA 的生理活性功能已进行了多方面的研究探索,并依其活性功能,在食品和畜牧业上进行开发利用。

4.1.1 抗肿瘤

近年来的研究发现,GABA 及 γ -氨基丁酸受体(γ -aminobutyric acid receptor, GABAR)广泛存在于外周神经组织,参与细胞间的信息传递,与细胞的分化和成熟密切相关^[17]。此外,GABA 及

其受体还可通过特定的信号转导通路影响某些肿瘤的增殖和侵袭转移等恶性潜能。Grunwald 等研究发现某些肿瘤伴随 GABA 及其受体的高表达,其原因是 GABA 与 GABAR 结合后可通过上调基质金属蛋白酶(the matrix metalloproteinase, MMP)的表达、提高胞内钙离子浓度、活化促分裂素原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinases, MAPK)链等途径促进肿瘤的侵袭和转移,因此阻断 GABAR 信号则可抑制肿瘤细胞的增殖。

随着研究的深入,GABA 及其受体信号通路蛋白分子有可能成为肿瘤诊断与治疗的潜在靶点^[18-19]。用不同浓度 GABA 作用于体外培养的 HeLa 细胞,通过自动电泳凝胶成像分析仪进行分析,结果显示 1mmol/L 的 GABA 作用 48 h 时,HeLa 细胞的端粒酶活性显著降低,起到抑制肿瘤细胞增殖、恶化的作用^[20]。

刘臣海^[21]用不同浓度的 GABA 在体外处理胆管癌细胞 QBC939,发现有抑制其增殖的作用,可导致胆管癌细胞凋亡,抑制胆管癌细胞端粒酶的活性。王莹等^[22]也采用了类似方法研究了 GABA 对胰腺癌 SW1990 细胞生长的影响,发现随着 GABA 浓度增加,血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)信使 RNA(messenger RNA, mRNA)及蛋白表达明显增加,GABA 影响胰腺癌细胞增殖、凋亡和血管的形成。

4.1.2 保护听觉

GABA 和 Glu 是听觉中枢神经系统内主要的抑制性神经递质和兴奋性神经递质。研究表明电刺激听皮层后,GABA 和 Glu 在中脑下丘神经元的听反应及电活动中起重要作用。GABA_A受体是最重要的 GABA 受体,在听觉系统中,GABA 激活 GABA_A受体后,起着调控听觉信号传导,保护听觉神经元免受过度刺激损害的作用^[23-25]。

王勤瑛等^[26]研究了大鼠单侧耳蜗损毁前后不同时期下丘中 GABA 含量及其阳性神经元的分布变化,认为 GABA 作为一种神经递质参与了耳蜗损毁后听觉功能的重组过程,并起重要作用。

4.1.3 增强免疫力

粘膜免疫系统广泛分布于消化道、呼吸道、泌尿生殖道以及外分泌腺,是动物机体抵御外来

病原体入侵的首道屏障。研究发现, GABA 对粘膜免疫具有一定的增强作用, 人口服 100 mg/kg GABA 后, 唾液中 IgA 的分泌水平显著提高^[27], 从而增强机体对病原侵入的免疫能力。

Frederic 等^[28]和 Piguerras 等^[29]的研究认为, GABA 有促进胃酸及消化道消化酶的分泌, 同时抑制胆囊收缩素(cholecystokinin, CCK)分泌, 减弱消化道食糜对采食的负反馈作用, 抑制胃膨胀及饱中枢, 从而提高动物采食量, 增强营养物质的消化吸收与代谢, 提高动物免疫机能。

脑垂体分泌的生长素 (GH) 几乎对所有免疫细胞都有促进分化和加强功能的作用, 因此在体内有广泛增强免疫功能的作用。Wang 等^[30]报道, 给予雄性鼠右侧脑室注入 GABA 后, 会产生剂量依赖性促进血清中 GH 的分泌, 同时伴随着生长激素抑制因子分泌的增加。胡家澄等^[31]通过对新生鼠垂体离体的研究认为, 在新生初期, GABA 能够促进垂体分泌 GH, 并且 GABA 对于 GH 的影响不依赖于肾上腺素、性腺素和甲状腺素。

4.1.4 治疗糖尿病

GABA 和谷氨酸均存在于中枢和外周神经组织中。当发生疾病时, 谷氨酸过量则会对神经元产生毒性作用, 相反 GABA 过量则会拮抗这种毒性而有保护作用。Heber 等^[32]用对胰岛 β 细胞有选择性损伤的链脲菌素处理大鼠, 发现胰岛内 GABA 浓度明显下降, 只是对照组的十分之一, 组织学检查显示给药 7.24 h 后胰岛 β 细胞受到破坏而其它细胞没有发生变化, 在胰岛 β 细胞中存在大量可用的 GABA。Kash 等^[33]用成年 Wistar 大鼠注射链脲菌素制备糖尿病模型, 连续通过灌胃给予 GABA 10 天, 能明显减少血清葡萄糖含量, 血清糖基化蛋白含量也减少, 高血糖症状得到改善, 糖尿病大鼠的体重增加, 肝脏和肾脏的重量均增加, 而灌胃给予 GABA 可减弱由高血糖症诱导的器官肥大。Adeghate 等^[34]对神经递质摄取的研究显示对 3H 标记的谷氨酸摄取在自发性糖尿病大鼠中比在正常 Wistar 大鼠下降了 30%, 而对 3H 标记的 GABA 摄取与对照组比较无明显的差异, 表明 GABA 的治疗能延缓由葡萄糖代谢受损和氧化应激导致的糖尿病并发症的发展。Tian 等^[35]的研究也表

明 GABA 能抑制 1 型糖尿病小鼠的 T 细胞自身免疫及炎症反应的发展。

在高血糖症状下, GABA 作为一种能量的来源使用, GABA B 受体激动剂能通过刺激 GABA 活性有效延缓非肥胖糖尿病小鼠糖尿病的发生, GABA 可以通过调控胰岛素分泌和与 GABA 相关联抗原的表达来实现的^[36]。

除上述功能之外, GABA 还有许多其他方面的生理功能, 万选才等^[37]介绍了 GABA 有神经营养作用, 沈鼎烈等^[38]综述了 GABA 治疗癫痫的作用, Kazami 等^[39]和 Hayakawa 等^[40]通过对小鼠高血压模型的研究认为, GABA 有降低血压的功能。徐传伟等^[41]通过临床试验发现 GABA 可控制小儿急性哮喘, 孙百申^[42]通过添食含有 GABA 的米胚芽发现 GABA 可活化肝肾功能、改善脂质代谢。此外, 夏江^[43]认为 GABA 有防止动脉硬化、防止皮肤老化、预防肥胖、减轻慢性疾病如关节炎疼痛等作用。

5 GABA 的应用

5.1 GABA 在食品工业的应用

5.1.1 富含 GABA 茶的研制

1987 年日本的津志川藤二郎等人将采摘下来的新鲜茶叶经 N_2 厌氧处理后发现, 与一般加工方法相比, GABA 的含量由 0.3 mg/g 增加为 2mg/g, 经过动物实验和临床实验, 这类茶具有显著的降血压效果, 命名为 Gabaron 茶, 即 γ -氨基丁酸茶^[44], 并投放市场, 受消费者特别是高血压患者的青睐, 并生产出叶茶、袋泡茶和罐装茶饮料等系列产品。肯尼亚、斯里兰卡等国已经开始研究提高 CTG 红茶中 GABA 的含量。中国农业科学院茶叶研究所研制的“ γ -氨基丁酸茶加工技术”通过成果鉴定^[45]。

5.1.2 富含 GABA 的米胚芽制品

日本小野寺明彦等将米胚芽通过加酶反应, 然后进一步抽提, 精制, 得到 GABA 含量达 5000~8000 mg/kg 的产品。1994 年, 日本农林水产省中国农业试验场成功研制出 GABA-RG^[46], 并由日本的 ORYZA 公司上市, 生产富含 GABA 米胚的糕点、面包、榭束汤料、乳制品等。

胡代欣^[47]以糙米和发芽糙米为原料, 通过厌氧

发酵,获得了富含 GABA 的醪糟。张晖等^[48]通过内源酶,或外加蛋白酶制得富含 GABA 的米胚芽粉产品,是一类有抗疲劳功能的保健食品,并获得专利。

5.1.3 富含 GABA 的乳制品

目前,国内外的乳制品都很普及,功能性的乳制品也越来越受到了人们的青睐,在细菌脱羧酶的作用下,乳品中的一些氨基酸会降解脱羧,GABA 就是经谷氨酸脱羧生成的。Nomura 等人从生产奶酪的菌株中分离出一株高产的 GABA 菌株,使奶酪制品中 GABA 的含量达到了 383 mg/kg^[12]。据中国专利网的信息,中国科学院成都生物研究所的刘光桦等申请了“富含 GABA 食用菌粉制作方法及其应用”的发明专利,浙江丰润酒业有限公司戴春荣等申请了“含 GABA 的黄酒及其酿造方法”的发明专利。

5.2 GABA 在畜牧业的应用

GABA 作为一种功能性氨基酸类饲料添加剂,具有提高动物生产性能和产品品质的功效,在饲料应用中的研究成了热点。有多研究报道,将一定剂量的 GABA 注射到动物的不同脑区,可显著促进动物摄食,并具有剂量依赖效应^[49-50];陈忠等^[51]的试验认为,在肉仔鸡饮水中添加适量的 GABA,可以减少鸡只的活动量和产热量,降低代谢率,从而缓解高温对肉鸡生产性能的影响,增强肉鸡的抗应激能力和日增重;韦习会等^[52]在育肥猪的日粮中添加 GABA,有增加猪的采食量,提高日增重的显著作用,且不降低饲料蛋白质的利用率;魏智清等^[53]的研究报道,适当浓度的 GABA 可以增强鲫鱼的抗缺氧能力,0.3% GABA 使鲫鱼在缺氧环境下的存活时间明显延长。

从已有的研究报道看,GABA 是一种具有重要生理功能的活性物质,在动物中有降血压、抗惊厥、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、健肝利肾的作用,是哺乳动物神经中枢的一种抑制性递质。在植物的抗逆中也发挥着积极的生理活性作用。GABA 作为饲料添加剂,在促进采食、降低料肉比等同时还可增强其免疫机能。其功能也符合国际上对于食品安全和饲料安全的要求及畜牧养殖、

饲料添加剂发展的需要。由于 GABA 有着多种特殊的作用功能,它被作为一种新型的功能性因子越来越引起医药、食品、化工、农业等行业的关注,成为开发研究的热点。

GABA 的富集技术,国外的日本等取得了较大的进展,我国对生物来源的 GABA,从富集、分离纯化到生物学功能的研究,尚处于起步阶段,目前还没有见到从植物中提取并制备出高纯度的 GABA 晶体的报道。

作为药食同源的桑叶,我们经初步研究,发现其 GABA 含量高,具有容易提取,资源丰富的优势。桑树在我国有种植易、生产成本低,全年生长时间长,产量高的资源优势,故对桑叶 GABA 进行研究并加以开发利用,将有十分重要的科学价值和广阔的市场前景,这不仅挖掘、开发出一种新的 GABA 生物新材料,而且对我国桑叶在非绢丝产业上的新用途是一种创新性的研究。

参考文献

- [1] Steward F C, Thompson J F. γ -butyric acid a constituent of potato tubers [J]. Science, 1949, 110: 439-440.
- [2] 郭小娜,朱永仪,等.生物体内 γ -氨基丁酸的研究[J].氨基酸和生物资源,2003,25(2):70-72.
- [3] 林少琴,吴若红,等.米胚芽中 γ -氨基丁酸的分离提取及鉴定[J].食品科学,2004,25(1):76-78.
- [4] 町井博明.关于桑叶中 γ -氨基丁酸含量的研究[J].蚕学通讯,1991,(3):54-56.
- [5] 金丰秋,金其荣.富含 γ -氨基丁酸的桑茶的生理功能[J].中国食品添加剂,2002,(1):42-43.
- [6] Streeter J G, Thompson J F. In vivo and in vitro studies on γ -aminobutyric acid metabolism with the radish plant (*Raphanus sativus* L.) [J]. Plant Physiol, 1972, (49):579-584.
- [7] 叶淮玲. γ -氨基丁酸的发现史 [J]. 生理科学进展,1986,17(2):44-46.
- [8] 翟启慧.昆虫分子生物学的一些进展:神经递质和离子通道[J].昆虫学报,1995,38(3):370-378.
- [9] 谭佩幸,陶宗晋,祁国荣.现代化学试剂手册,第三分册,生化试剂(一)[M].北京:化学工业出版社,1990:103-109.
- [10] 赵健.中国化学药品大全[M].香港:新时代出版社,1999:35-40.
- [11] Tsushida T, Murai T. Conversion of glutamic acid to

- γ - aminobutyric acid in tea leaves under anaerobic condition [J].Agr Biol Chem,1987,(51):2865 - 2871.
- [12] Nomura M, Kimoto H, Someya Y et al. Production of γ - aminobutyric acid by cheese starters during cheese ripening [J]. Dairy Sci, 1998, (41): 1486 - 1491
- [13] Yokoyama S, Hiramatsu J, Hayakawa K. Production of γ - aminobutyric acid from alcohol distillery lees by *Lactobacillus brevis* IFO - 12005 [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2002, 93 (1): 95 - 97.
- [14] Komatsuzaki N, Shima J, Kawamoto S. Production of γ - aminobutyric acid (GABA) by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods [J]. Food Microbiology 2005, (22): 497 - 504.
- [15] 许建军. *Lactococcus lactis* 生物合成 γ - 氨基丁酸及谷氨酸脱羧酶的性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2004: 1 - 10.
- [16] 刘清, 姚惠源, 张晖. 生产 γ - 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): 40 - 43.
- [17] Grunwald C, Rundfeldt C, Lankau H J et al. Synthesis, pharmacology, and structure - activity relationships of novel imidazolones and pyrrolones as modulators of GABA A receptors [J]. Journal of Medicinal Chemistry, 2006, (49): 1855 - 1866.
- [18] Wang F Y, Watanabe M, Zhu R M et al. Characteristic expression of gamma - aminobutyric acid and glutamate decarboxylase in rat jejunum and its relation to differentiation of epithelial cells [J]. World J Gastroenterol, 2004, (10): 3608 - 3611.
- [19] Minuk G Y, Zhang M, Gong Y et al. Decreased hepatocyte membrane potential differences and GABA - beta3 expression in human hepatocellular carcinoma [J]. Hepatology, 2007, (45): 735 - 745.
- [20] Sarah K, Randy S. The Gamma - aminobutyric acid receptor subunit is overexpressed in pancreatic adenocarcinomas [J]. Pancreas, 2005, 6(2): 136 - 142.
- [21] 刘臣海. 抑制性神经递质—γ - 氨基丁酸(GABA)对胆管癌细胞株 QBC939 增殖、侵袭转移的影响及其相关机制的研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2008: 1 - 6.
- [22] 王营, 刘伟, 余胜利等. γ - 氨基丁酸对胰腺癌 SW1990 细胞生长及 VEGF 表达的影响[J]. 山东医药, 2006, (31): 3 - 4.
- [23] Wynne B, Harvey A R, Robertson D et al. Neurotransmitter and neuromodulator systems of the rat inferior olivary and auditory brainstem studied by in situ hybridization [J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 1995, 9(4): 289.
- [24] Newell J G, Czajkowski C. The GABA receptor alpha 1 subunit Pro174 - Asp191 segment is involved in GABA binding and channel gating [J]. Biol Chem, 2003, 278(15): 13166 - 13172.
- [25] Rosen A, Bali M, Horenstein J et al. Channel opening by anesthetics and GABA induces similar changes in the GABA receptor M2 segment [J]. Biophys J, 2007, 92(9): 3130 - 3139.
- [26] 王勤瑛, 汪申清. 大鼠单侧耳蜗损毁后下丘 r - 氨基丁酸及其神经元的变化[A], 2006 年浙江省耳鼻咽喉科学学术会议论文汇编[C], 2006: 16 - 20.
- [27] Abucham J, Reichlin S. Regulation of cholecystokinin octapeptide secretion by rat cerebral cortical cells in primary culture [J]. Endocrinology, 1991, 129(6): 3125 - 3131.
- [28] Frederic W, Ling Z D, Rene D P et al. Correlation between GABA release from rat islet β - cells and their metabolic state [J]. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2002, (282): E937 - E942.
- [29] Piguera L, Vicente M. Peripheral GABA agonists stimulate gastric acid secretion in mice [J]. British Journal of Pharmacology, 2004, (142): 1038 - 1048.
- [30] Wang F Y, Watanabe M, Zhu R M et al. Characteristic expression of gamma - aminobutyric acid and glutamate decarboxylase in rat jejunum and its relation to differentiation of epithelial cells [J]. World J Gastroenterol, 2004, (10): 3608 - 3611.
- [31] 胡家澄, 邹晓庭, 董金格. γ - 氨基丁酸对肥育猪免疫机能的影响及其作用机理[J]. 饲料工业, 2008, 14: 3 - 5.
- [32] Heber U, Tyankova L, Santarius K K. Stabilization and inactivation of biological membranes during freezing in the presence of amino acids [J]. Biochim Biophys Acta, 1971, (241): 578 - 582.
- [33] Kash S F, Condie B G, Baekkeskov S. Glutamate decarboxylase and GABA in pancreatic islets: lessons from knock - out mice [J]. Horm Metab Res, 1999, (31): 340 - 344.
- [34] Adeghate E, Ponery A S. GABA in the endocrine pancreas: cellular localization and function in normal and diabetic rats [J]. Tissue Cell, 2002, (34): 1 - 6.
- [35] Tian J, Lu Y, Zhang H et al. Gamma - aminobutyric acid inhibits T cell autoimmunity and the development of inflammatory responses in a mouse type 1 diabetes model [J]. Immunol, 2004, (173): 5298 - 5304.
- [36] Nakagawa T, Yokozawa T, Kim H J et al. Protective effects of gamma - aminobutyric acid in rats with streptozotocin - induced diabetes [J]. Nutr Sci Vitaminol, 2005, (51): 278 - 282.
- [37] 万选才, 杨天祝, 徐承熹. 现代神经生物学[M]. 北京: 中国协和医科大学联合出版社, 1999: 158 - 162.
- [38] 沈鼎烈, 谢代鑫. 抗癫痫药物与 γ - 氨基丁酸[J]. 国外医学内科学分册, 1991, (03): 118 - 121.
- [39] Kazami D, Ogura N, Fukushi T. Antihypertensive effect of

- Japanese taste seasoning containing γ -aminobutyric acid on mildly hypertensive and high-normal blood pressure subjects and normal subjects [J]. *Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi*, 2002,49(6):409-415.
- [40] Hayakawa K, Kimura M, Kasaha K. Effect of a γ -aminobutyric acid-enriched dairy product on the blood pressure of spontaneously hypertensive and normotensive Wistar-Kyoto rats [J]. *British Journal of Nutrition*, 2004,92(3):411-417.
- [41] 徐传伟, 夏应和. γ -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(21):181.
- [42] 孙百申. 红曲霉发酵及某些生理活性物质的研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2004:1-16.
- [44] 夏江. 产氨基丁酸的乳酸菌菌株选育及其发酵条件优化 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006:5-8.
- Omori M, Yano T, Okamoto J. Effect of anaerobically treated tea (gabaron tea) on blood pressure of spontaneously hypertensive rats [J]. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 1987, (61): 1449-1451.
- [45] 林智. “ γ -氨基丁酸茶加工技术”通过鉴定 [J]. *中国茶叶*, 2005:1:17.
- [46] 游祖持. 日本对于超 γ -氨基丁酸的研究与利用 [J]. *中外食品*, 2002,(03):42-43.
- [47] 胡代欣, 鲁战会, 景岚等. 富集 γ -氨基丁酸醪糟的开发 [J]. *食品科技*, 2008,(01):9-12.
- [48] 张晖, 徐永. 纸层析法定量测定米胚芽中的 γ -氨基丁酸 [J]. *无锡轻工业大学学报*, 2004,23(2):101-103.
- [49] Shuye P U, Mukul R Jain, Tamas L et al. Interactions between neuropeptide Y and γ -Aminobutyric acid in stimulation of feeding: a morphological and pharmacological analysis [J]. *Endocrinology*, 1999,140(2):933-940.
- [50] Reddy D S, Kulkarni S K. Sex and estrous cycle-dependent changes in neurosteroid and benzodiazepine effects on food consumption and plus-maze learning behaviors in rats [J]. *Pharmacol Biochem Behav*, 1999,62(1):53-60.
- [51] 陈忠, 王婷, 黄丽明. γ -氨基丁酸对热应激仔鸡生产性能影响的研究 (快报) [J]. *海南师范学院学报 (自然科学版)*, 2002,15(1):82-83.
- [52] 韦习会, 漆兴桂, 夏东等. 日粮添加 γ -氨基丁酸对育肥猪生长和饲料利用的影响 [J]. *家畜生态*, 2004,25(2):10-12.
- [53] 魏智清, 杨涓, 赵红雪等. 牛磺酸, γ -氨基丁酸对鲫抗缺氧能力的影响 [J]. *淡水渔业*, 2006,36(1):7-10.

(上接: 第 23 页)

表 4 农村鉴定的缫丝成绩

饲养点	年 / 月	品种名称	上车茧率 /%	一茧丝长 /m	解舒率 /%	解舒丝长 /m	万米吊糙 /次	茧丝纤度 /D	干毛茧出 丝率 / %	净度 / 分	清洁(分)
翁源	10/5	粤蚕细纤 1 号	90.01	964.0	76.12	734.1	1.3	1.893	32.58	94.50	96.5
		两广二号	78.40	857.0	53.77	461.0	2.8	2.590	28.42	93.25	96.5

3 综合性状表现评述

(1) 通过两年实验室和农村多点比较试验结果表明, 粤蚕细纤 1 号二化、三眠, 眠性稳定(三眠率 98.00% 以上), 体质强健、孵化、眠起、老熟齐一, 综合经济性状较优、丝质成绩优良, 实验室鉴定粤蚕细纤 1 号与对照种比较, 全龄经过短 1 天 2 小时, 虫蛹生命力提高 1.63%, 50 kg 桑产茧量提高 2.05%。一茧丝长提高 17.54%, 解舒丝长提高 38.97%, 解舒率提高 18.36%, 净度净增

3.88 分, 茧丝纤度为 1.853 D; 强度 4.17 克力 / 旦、伸长率 23.3%、抱合 116 次, 分别比对照提高 12.70%、6.88%、6.42%, 可以缫制 5A 级以上的高档优质细纤度生丝。

(2) 多点比较试验结果表明粤蚕细纤 1 号是一对杂交优势强、综合经济性状较优、丝质性状优良、眠性稳定的夏秋用四元杂交品种, 能缫高品位细纤度生丝, 适宜在我省扩大试养。