

# HPLC法测定中国白酒中的 $\gamma$ -氨基丁酸和核苷类物质

郭莹<sup>1</sup>, 李景辉<sup>1</sup>, 李霄霄<sup>1</sup>, 李研科<sup>2</sup>, 王国明<sup>2</sup>, 尹翠娟<sup>2</sup>, 张翠英<sup>1\*</sup>

(1. 省部共建食品营养与安全国家重点实验室, 工业发酵微生物教育部重点实验室, 天津市工业微生物重点实验室, 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457; 2. 河北山庄老酒股份有限公司, 河北承德 067500)

**摘要:** 建立测定白酒中 $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)和核苷类物质(腺苷、尿苷)的高效液相色谱分析方法。确定检测 $\gamma$ -氨基丁酸的色谱条件为流动相A:B(A-乙腈;B-50 mmol/L 三水合乙酸钠)=35:65(体积比),流速为1.0 mL/min,柱温40℃,检测波长为436 nm;确定检测核苷类物质的色谱条件为:流动相10%甲醇,流速为0.8 mL/min,柱温40℃,检测波长为254 nm。对20种白酒分析结果显示,不同香型白酒中功能成分差异明显。GABA在浓香型白酒中较高,其中2号酒样中GABA含量达0.867 mg/L。核苷类物质在芝麻香型和酱香型白酒中要高于浓香型,其中9号达到438.960 mg/L。该方法用于白酒中GABA和核苷类物质的分析具有分离效果佳、精密度高、稳定性高的特点。

**关键词:** 高效液相色谱法;中国白酒; $\gamma$ -氨基丁酸;核苷类物质;检测

## Determination of $\gamma$ -Aminobutyric Acid and Nucleosides in Chinese Liquor by HPLC

GUO Ying<sup>1</sup>, LI Jing-hui<sup>1</sup>, LI Xiao-xiao<sup>1</sup>, LI Yan-ke<sup>2</sup>, WANG Guo-ming<sup>2</sup>, YIN Cui-juan<sup>2</sup>, ZHANG Cui-ying<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety Jointly Established by Provincial and Ministry, Key Laboratory of Fermentation Microbiology of Ministry of Education, Tianjin Key Laboratory of Industrial Microbiology, College of Biotechnology of Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2. Chengde Bishu Villas Enterprise Group Co., Ltd., Chengde 067500, Hebei, China)

**Abstract:** The high performance liquid chromatography (HPLC) were established for the determination of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) and nucleosides (adenosine and uridine). The conditions of GABA were as follows: mobile phase were acetonitrile and 50 mmol/L sodium acetate trihydrate (35:65, volume ratio) at a flow rate of 1.0 mL/min, 40℃ and a detection wavelength of 436 nm. The mobile phase for the determination of the nucleoside substances was 10% methanol at a flow rate of 0.8 mL/min, and the column temperature was 40℃ with the detection wavelength of 254 nm. The analyses result of twenty liquor showed that GABA was higher in strong-flavor liquor and detected up to 0.867 mg/L in the sample of 2. The content of nucleoside substances were higher in sesame-flavor liquor and Maotai-flavor liquor than strong-flavor liquor, and the sample 9 showed the highest content (with 438.960 mg/L). The methods were applied to the analysis of GABA and nucleoside substances in liquor with desirable separation, precision and stability.

**Key words:** high performance liquid chromatography; Chinese liquor;  $\gamma$ -aminobutyric acid; nucleosides; detection

基金项目:国家自然科学基金项目(31471724);天津市应用基础与前沿技术研究计划重点项目(14JCZDJC32900)

作者简介:郭莹(1995—),女(汉),硕士,研究方向:发酵工程。

\*通信作者:张翠英(1979—),女(满),教授,博士,研究方向:现代酿造技术。

引文格式:

郭莹,李景辉,李霄霄,等. HPLC法测定中国白酒中的 $\gamma$ -氨基丁酸和核苷类物质[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1): 153-158.

GUO Ying, LI Jinghui, LI Xiaoxiao, et al. Determination of  $\gamma$ -Aminobutyric Acid and Nucleosides in Chinese Liquor by HPLC[J]. Food Research and Development, 2021, 42(1): 153-158.

中国白酒有悠远的历史,多以小麦、高粱、玉米、大米和豌豆等粮食作物为主要原料,经过制曲、蒸梁、拌料、堆积发酵和窖池发酵以及蒸酒等主要生产过程酿造而成<sup>[1]</sup>。环境中纷繁复杂的微生物类群经自然网罗进入酿酒基质体系,最终由发酵代谢出以乙醇为主体的品类繁多的有机化合物成分,赋予中国白酒特有的“香和味”<sup>[2]</sup>。白酒种类繁多,因香型差异可以将其划分为清香型、浓香型、酱香型、米香型和其它各类香型。白酒是我国一种独特的蒸馏酒,其酿造风格、口味独特,且全球闻名,与世界其它著名蒸馏酒(如白兰地、威士忌、朗姆酒等)齐名成为六大蒸馏酒之一<sup>[3]</sup>。

徐岩等<sup>[4-5]</sup>通过研究证明,中国白酒不等同于酒精,而是含有各类醇、醛、酸、酯等丰富的风味物质且具保健功能的混合饮品。此外,有研究<sup>[6-7]</sup>报导中国白酒对心脑血管疾病有保护作用,亦能提升机体抵抗氧化损伤的能力,同时阻止体内代谢不良产物的生成,这进一步证实了中国白酒具有保健功效。白酒的生产经历了多种微生物的混合发酵过程,在这一过程中,微生物会代谢产生各种功能成分,如四甲基吡嗪、 $\gamma$ -氨基丁酸和核苷类物质等<sup>[7]</sup>。 $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)具有保护心血管功能、降低血压、抗癫痫、镇痛以及痛觉过敏等作用<sup>[8-11]</sup>,是有益于机体健康的氨基酸之一。此外, $\gamma$ -氨基丁酸对胰岛 $\beta$ 细胞能发挥保护和再生作用,还可以促进脑细胞的新陈代谢与恢复,增强长期记忆<sup>[12-13]</sup>,还具有提高肝、肾功能等生理活性的功能<sup>[14]</sup>。核苷类化合物具有补益和增强免疫、保护神经、抗氧化、抗癌等生物活性,研究发现<sup>[15-16]</sup>,腺苷能显著提高细胞活力,并在机体的中枢神经系统、心血管系统和凝血系统中发挥重要作用。尿苷具有促进睡眠和抗癫痫的作用,能改善记忆功能,影响神经元可塑性。

高效液相色谱法具有分离效能高、分析速度快、样品用量少等优点,该方法已广泛用于生物发酵中各种成分含量的测定,且使用的流动相简单并具有良好的重现性<sup>[17-18]</sup>。本研究采用高效液相色谱法,通过对色谱检测条件的优化,建立以高效液相色谱法定量分析中国白酒中 $\gamma$ -氨基丁酸和核苷类物质(腺苷、尿苷)的有效方法,并用所建方法对20种白酒中的上述功能成

分进行了检测与分析,为进一步标准化中国白酒的品质评价及开展相关研究奠定基础,同时对指导中国白酒的生产改良、市场推广和深入科学研究有积极的作用和意义。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

待测酒样共20个,1号~9号白酒为河北山庄老酒;10号~20号白酒为市售酒样。 $\gamma$ -氨基丁酸、腺苷标准品、丹磺酰氯((纯度均>99%)、尿苷(纯度 $\geq$ 98%):美国Sigma公司;甲醇、乙腈(色谱纯):天津一方科技有限公司;乙酸钠、碳酸氢钠(分析纯):天津索罗门生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

1260高效液相色谱仪:美国安捷伦公司;EDAA-2300TH超声波清洗器:上海安谱实验科技股份有限公司;BSA224S电子分析天平:爱来宝医疗科技有限公司;HH-S6恒温水浴锅:上海一凯仪器设备有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 标准品及样品溶液的配制

##### 1.3.1.1 标准品溶液配制

$\gamma$ -氨基丁酸标准品溶液:准确称取GABA的标准品10.00 mg置于100 mL容量瓶中,用乙腈溶解并定容,配制成100 mg/L的 $\gamma$ -氨基丁酸标样母液。随后倍比稀释,配制成0.10、0.20、0.50、1.0、2.0、5.0、10、20 mg/L的系列标准溶液,现配现用。

核苷类物质标准品:精确称取尿苷的标准品1.00 mg和腺苷的标准品10.00 mg置于同一10 mL容量瓶中,用10%甲醇溶解并定容,可得尿苷浓度为100 mg/L和腺苷浓度为1 000 mg/L的混合标样母液。倍比稀释即可得到混合标准工作溶液中尿苷浓度为0.5、1.0、2.0、5.0、10 mg/L;腺苷浓度为5、10、20、50、100 mg/L。

##### 1.3.1.2 样品溶液的配制

测定 $\gamma$ -氨基丁酸:测定前需对样品衍生化处理,准确吸取1 mL的酒样或标准溶液置于具塞试管中,加入0.20 mL的碳酸氢钠溶液和0.40 mL的丹磺酰氯衍生试剂,混匀后在70  $^{\circ}$ C水浴中反应20 min,用0.22  $\mu$ m的微孔滤膜过滤后待测。

测定核苷类物质:取 2 mL 酒样用 0.22  $\mu\text{m}$  的微孔滤膜过滤后待测。

### 1.3.2 检测方法

色谱柱:Agilent C<sub>18</sub> 柱(4.6 mm×250 mm, 5  $\mu\text{m}$ );检测  $\gamma$ -氨基丁酸的流动相 A 为乙腈, B 为 50 mmol/L 三水合乙酸钠; 检测核苷类物质流动相 A 为甲醇, B 为水, 具体色谱条件见表 1。

表 1 色谱条件

Table 1 The chromatographic conditions

检测物质	流动相 A:B (体积比)	进样量/ $\mu\text{L}$	流速/ (mL/min)	柱温/ $^{\circ}\text{C}$	波长/ nm
$\gamma$ -氨基丁酸	35 : 65	5	1.0	40	436
核苷类物质	10 : 90	10	0.8	40	254

### 1.3.3 标准曲线绘制

取 1.3.1.1 中的系列标准工作溶液在 1.3.2 相应的色谱条件下进行测定, 以标准物浓度( $C$ )为横坐标, 其对应峰面积值( $S$ )为纵坐标, 分别建立  $\gamma$ -氨基丁酸和核苷类物质的标准曲线。

### 1.3.4 精密度试验

取 0.50 mg/L 的  $\gamma$ -氨基丁酸标准品和核苷类物质混合标准品(尿苷: 1.00 mg/L; 腺苷: 10.00 mg/L)各 6 份, 分别在 1.3.2 相应的色谱条件下测定含量, 计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。

### 1.3.5 加标回收率试验

取 2 号酒样分别添加 0.5、1.0、2.0 mg/L 的 3 种浓度的  $\gamma$ -氨基丁酸标准品, 随后衍生化处理; 另取 2 号酒样添加尿苷浓度分别为 1、2、5 mg/L, 腺苷浓度分别为 10、20、50 mg/L 混合标准工作溶液, 以上加标样品均用 0.22  $\mu\text{m}$  的微孔滤膜过滤后, 在 1.3.2 相应的色谱条件下重复测定 3 次, 计算加标回收率和相对标准偏差。

### 1.3.6 数据处理

色谱数据分析采用仪器自带软件 Agilent Chem-Station 进行处理。所有线性方程、精密度及回收率试验的数据均由 Office Excel 2016 处理得出。

## 2 结果与分析

### 2.1 色谱条件的优化

$\gamma$ -氨基丁酸色谱条件的优化: 通过对  $\gamma$ -氨基丁酸标准样品的全波长扫描发现,  $\gamma$ -氨基丁酸在 436 nm 处具有最大吸收峰, 因此确定检测波长为 436 nm。本试验分别采用 50%、55%、60%、65%、70%、75% 这 6 种比例的流动相 B 进行试验。结果显示, 当流动相 B 为 65% 时,  $\gamma$ -氨基丁酸的峰型对称, 基线稳定。当流速由 0.6 mL/min 逐渐递增至 1.2 mL/min

时,  $\gamma$ -氨基丁酸的峰均能分离, 但峰保留时间变短且柱压出现波动式变化, 使得峰型较差。当流速为 1.0 mL/min 时, 柱压稳定, 色谱峰保留时间未发生偏移且峰型最佳。本试验发现在 4 种不同的柱温条件下,  $\gamma$ -氨基丁酸的分离效果均较好, 说明柱温对其影响较小。综合峰型、对色谱柱的保护和柱压稳定性的因素, 确定了最佳色谱检测条件: 进样量 5  $\mu\text{L}$ , 流动相 A:B=35:65(体积比), 流速为 1.0 mL/min, 柱温 40  $^{\circ}\text{C}$ , 检测波长为 436 nm。该色谱条件下  $\gamma$ -氨基丁酸标准溶液的色谱图见图 1。

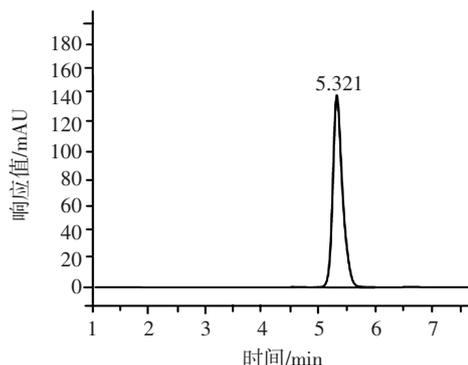


图 1  $\gamma$ -氨基丁酸标准溶液色谱图

Fig.1 The GABA standard solution chromatogram

由图 1 可知, GABA 的保留时间为 5.321 min。

核苷类物质检测色谱条件的优化: 查阅测定核苷类物质的相关文献<sup>[9]</sup>, 确定色谱检测波长为 254 nm; 本试验分别采用 10%、20%、30%、40%、50% 这 5 种甲醇浓度的流动相, 发现随着甲醇浓度的升高, 腺苷、尿苷与样品中其他组分的分离度降低, 出现峰分裂和小峰的现象。当甲醇浓度为 10% 时, 样品中腺苷、尿苷的峰型良好, 分离度高, 且无拖尾现象。另外, 本文考察了 0.6、0.8、1.0、1.2 mL/min 这 4 种流速下的分离效果, 结果发现在这 4 种流速下, 腺苷和尿苷都完全分离, 流速增大虽改善了标准色谱峰与杂质峰的分离度, 但流速过高会使峰形变差, 柱压显著波动。发现柱温在 30  $^{\circ}\text{C}$  到 50  $^{\circ}\text{C}$  之间对色谱峰型与分离效果无明显影响。综合上述结果, 确定了最佳色谱检测条件: 进样量 10  $\mu\text{L}$ , 流动相 10% 甲醇, 体积流量为 0.8 mL/min, 柱温 40  $^{\circ}\text{C}$ , 检测波长为 254 nm。该色谱条件下核苷类物质混合标准溶液的色谱图见图 2。可知, 尿苷、腺苷的保留时间分别为 4.191、11.625 min。

### 2.2 标准曲线

将  $\gamma$ -氨基丁酸的系列标准溶液以及尿苷和腺苷的混合系列标准溶液分别在 2.1 的色谱条件下测定, 以标准品的浓度为横坐标( $C$ ), 标准品峰面积为纵坐标( $S$ ), 绘制标准曲线, 得回归方程, 结果见表 2。

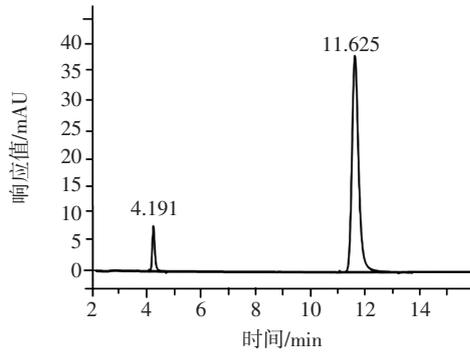


图2 核苷类物质标准溶液色谱图

Fig.2 The two nucleoside substances standard solution chromatogram

表2 回归曲线、相关系数、线性范围

Table 2 The standard curve, correlation index, linearity range

检测物质	线性方程	相关系数 (R <sup>2</sup> )	线性范围/(mg/L)
GABA	S=68.683 319 6C+95.081 9	0.995 72	0.1~20
尿苷	S=57.246 339 6C+0.0289 66	0.999 99	0.5~100
腺苷	S=69.636 283 8C+48.589 542	0.999 88	5~1 000

由表2可知,所测物质线性相关系数  $R^2 \geq 0.995$ 。采用此方法  $\gamma$ -氨基丁酸在 0.1mg/L~20 mg/L 具有良好的线性,尿苷在 0.5 mg/L~100 mg/L 具有良好的线性,腺苷在 5 mg/L~1 000 mg/L 具有良好的线性,完全满足试验要求。

### 2.3 精密度试验

通过标准曲线得  $\gamma$ -氨基丁酸、腺苷和尿苷含量,计算相对标准偏差值,结果见表3和表4。

表3  $\gamma$ -氨基丁酸精密度试验结果(n=6)

Table 3 Results of GABA precision detection (n=6)

测定次数	仪器测定值/(mg/L)	均值/(mg/L)	RSD/%
1	0.503	0.505	2.37
2	0.489		
3	0.521		
4	0.513		
5	0.495		
6	0.511		

由表3和表4可知, $\gamma$ -氨基丁酸的RSD值为2.37%,尿苷的RSD为1.76%,腺苷的RSD为1.99%,均<5%,可见此法的精密度良好,满足分析要求。

### 2.4 加标回收率

$\gamma$ -氨基丁酸和核苷类物质的加标回收率结果分别见表5和表6。

由表5和表6可知,GABA加标回收率在97.93%~99.72%之间,核苷类物质回收率在97.90%~101.15%,

表4 核苷类物质精密度试验结果(n=6)

Table 4 Results of nucleoside substances precision detection (n=6)

项目	测定次数	仪器测定值/(mg/L)	均值/(mg/L)	RSD/%
尿苷	1	1.025	0.999	1.76
	2	1.010		
	3	0.976		
	4	0.986		
	5	1.005		
	6	0.994		
腺苷	1	10.143	10.049	1.99
	2	9.896		
	3	9.797		
	4	10.075		
	5	10.371		
	6	10.015		

表5 GABA加标回收率试验结果(n=3)

Table 5 Results of GABA adding standard recovery rate tests (n=3)

样品含量/(mg/L)	加标量/(mg/L)	实测均值/(mg/L)	回收率/%	RSD/%
0.867	0.50	1.338	97.93	3.50
0.867	1.00	1.860	99.67	1.01
0.867	2.00	2.859	99.72	2.17

表6 核苷类物质加标回收率试验结果(n=3)

Table 6 Results of nucleoside substances adding standard recovery rate tests (n=3)

项目	样品含量/(mg/L)	加标量/(mg/L)	实测均值/(mg/L)	回收率/%	RSD/%
尿苷	1.056	1.0	2.035	97.90	4.84
	1.056	2.0	3.079	101.15	4.14
	1.056	5.0	6.057	100.00	2.96
腺苷	27.518	10.0	37.407	98.89	3.39
	27.518	20.0	47.403	99.43	2.93
	27.518	50.0	77.260	99.48	1.60

RSD均<5.0%,表明本方法准确可靠,可以满足测定的要求。

### 2.5 样品测定

应用2.1确定的色谱条件对20种白酒进行测定见表7。

$\gamma$ -氨基丁酸在20种白酒中的含量在0.102 mg/L~0.867 mg/L之间,其中酱香型白酒的含量在0.143 mg/L~0.188 mg/L之间,浓香型白酒的含量在0.102 mg/L~0.867 mg/L之间,芝麻香型白酒和部分酱香型白酒中未检测到。李波等<sup>[20]</sup>发现GABA在发酵过程中可以作为酵母的氮源被酵母很好的利用。部分白酒中未检测到GABA,可能是由于在发酵过程中被消耗,进而未检测出。此外,1号~9号白酒中浓香型白酒GABA的

表7 样品测定结果

Table 7 The results of samples

样品	香型/酒度	GABA/(mg/L)	尿苷/(mg/L)	腺苷/(mg/L)	样品	香型/酒度	GABA/(mg/L)	尿苷/(mg/L)	腺苷/(mg/L)
1	浓香/38°	0.659	-	10.043	11	浓香/38°	0.285	0.670	30.920
2	浓香/38°	0.867	1.056	27.518	12	浓香/38°	0.102	1.350	32.050
3	浓香/60°	0.239	2.800	51.371	13	浓香/42°	-	0.770	15.970
4	酱香/52°	0.188	8.657	69.600	14	浓香/42°	0.154	1.200	29.900
5	酱香/53°	0.143	6.584	94.418	15	浓香/42°	-	1.020	20.960
6	酱香/53°	nd	3.368	66.421	16	浓香/42°	0.154	0.580	13.810
7	酱香/56°	nd	8.140	145.600	17	浓香/52°	-	3.030	39.270
8	芝麻香/60°	nd	4.570	140.560	18	浓香/52°	0.129	1.770	59.280
9	芝麻香/52°	nd	5.500	433.460	19	浓香/52°	-	2.640	53.760
10	浓香/38°	nd	0.890	19.480	20	浓香/60°	nd	2.870	70.160

注:nd表示未检出;-表示不在线性范围内。

含量在 0.239 mg/L~0.867 mg/L 之间,高于酱香型白酒,同时也高于大部分市售酒样。2号浓香型白酒中 GABA 的含量最高,达到 0.867 mg/L,其次为 1号酒样达到 0.659 mg/L。因 2号样品储存时间相比其他样品久,在本次试验中,储存时间越长,GABA 的含量越高。但储存时间的长短与 GABA 的含量之间是否有一定的规律性还需进行大量试验验证。

酒样中核苷类成分检测率为 100%,检测到 20种白酒中腺苷的含量在 10.043 mg/L~433.460 mg/L 之间,尿苷的含量在 0.580 mg/L~8.657 mg/L 之间。相比于酱香型和浓香型白酒,芝麻香型白酒中腺苷的含量较高,9号达到 433.460 mg/L。酱香型白酒中尿苷含量最高,4号达到 8.657 mg/L;其次为芝麻香型白酒,浓香型白酒含量最低。测定结果表明,该酒厂中酱香型(4号~6号)和芝麻香型(8号、9号)白酒中这两种核苷类物质含量高于市售酒样,而浓香型白酒(1号~3号)则与市售酒样相差不大。

可见,不同香型酒之间 GABA 和核苷类物质的含量均存在差异。研究报道<sup>[21-23]</sup>,酿造工艺(如原料、酒曲等)对发酵产品中 GABA 的含量影响显著。不同香型白酒酿造工艺不同,各地气候、环境及微生物的差异很大,但酿造工艺是如何使得不同白酒中 GABA、核苷类物质在含量上产生以上差异还需要进一步探究。核苷类物质含量差异与制曲、堆积工艺等关系也需进一步的研究。因此,采用简便快捷的方法测定白酒中的 GABA 和核苷类物质,对未来探究不同香型白酒中 GABA 和核苷类物质差异原因有着重要意义。

### 3 结论

本文建立利用高效液相色谱法精确测定白酒中

GABA 以及核苷类物质(尿苷、腺苷)的方法,并对 20种白酒其功能成分进行测定,发现不同种类的白酒中含量不尽相同。20种白酒中 GABA 的含量在 0.102 mg/L~0.870 mg/L 之间,腺苷的含量在 10.043 mg/L~433.460 mg/L 之间,尿苷的含量在 0.580 mg/L~8.657 mg/L 之间。分析结果显示,GABA 在浓香型白酒中较高,核苷类物质在芝麻香型和酱香型白酒中要高于浓香型白酒。本研究通过对色谱条件的优化以及对精密度、回收率的测定,充分证明了试验的可行性,具有较高的参考价值。本文建立的方法操作简便,灵敏度高,适用范围广,适用于大量样本的测定,为后期探索功能成分合成机制以及酿造工艺如何影响其在白酒中的含量奠定了技术基础。

### 参考文献:

- [1] 杨晓,伍时华,吴佳敏,等. 五粮生料液态发酵酿造浓香型白酒的初步试验[J]. 中国酿造, 2019, 38(10): 35-39.
- [2] 许德富,张宿义,杨平,等. 中国白酒的高品质发展趋势[J]. 酿酒, 2019, 46(1): 17-20.
- [3] 袁帅. 用 16S rDNA V4 区高通量测序分析两种酒糟细菌多样性[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2014.
- [4] 范文来,徐岩,黄永光. 白酒对健康有益还是有害? [J]. 酿酒科技, 2014(11): 1-5.
- [5] 范文来,徐岩. 白酒风味物质研究方法的回顾与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3073-3078.
- [6] 张金修,李静,郭芳文. 白酒中微量成分对人体的作用 [J]. 酿酒科技, 2014(10): 143.
- [7] 周金虎,管健,魏浩林,等. 白酒中健康因子的研究进展[J]. 酿酒科技, 2017(7): 90-94.
- [8] Yogeewari P, Patel S K, Reddy I V, et al. GABA derivatives for the treatment of epilepsy and neuropathic pain: a synthetic integration of GABA in 1, 2, 4-Triazolo-2H-one nucleus [J]. Biomedicine &

- Aging Pathology, 2012, 2(2): 31-40.
- [9] Wu C, Sun D D. GABA receptors in brain development, function, and injury[J]. Metabolic Brain Disease, 2015, 30(2): 367-379.
- [10] Ma P J, Li T, Ji F C, et al. Effect of GABA on blood pressure and blood dynamics of anesthetic rats [J]. International Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2015, 8(8): 14296-14302.
- [11] 郑红发, 黄亚辉, 刘霞林, 等.  $\gamma$ -氨基丁酸的药理作用 [J]. 茶叶通讯, 2004, 31(4): 14-18.
- [12] Ullah A, Jahan S, Razak S, et al. Protective effects of GABA against metabolic and reproductive disturbances in letrozole induced polycystic ovarian syndrome in rats [J]. Journal of Ovarian Research, 2017, 10(1): 1-8.
- [13] Nguyen B C Q, Shahinozzaman M, Tien N T K, et al. Effect of sucrose on antioxidant activities and other health-related micronutrients in *Gamma*-aminobutyric acid (GABA)-enriched sprouting Southern Vietnam brown rice [J]. Journal of Cereal Science, 2020, 93: 102985.
- [14] Leventhal A G, Wang Y C, Pu M L, et al. GABA and its agonists improved visual cortical function in senescent monkeys [J]. Science, 2003, 300(5620): 812-815.
- [15] Dobolyi A, Juhász G, Kovács Z, et al. Uridine function in the central nervous system[J]. Current Topics in Medicinal Chemistry, 2011, 11(8): 1058-1067.
- [16] Olatunji O J, Feng Y, Olatunji O O, et al. Neuroprotective effects of adenosine isolated from *Cordyceps cicadae* against oxidative and ER stress damages induced by glutamate in PC12 cells[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2016, 44: 53-61.
- [17] 张星星, 毛清黎, 孙俊, 等. 高效液相色谱法测定红曲发酵食品中洛伐他汀的研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(5): 193-196.
- [18] Chen L, Luo S L, Chen J L, et al. A comparative analysis of endophytic bacterial communities associated with hyperaccumulators growing in mine soils [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21(12): 7538-7547.
- [19] 孙忠华, 肖建辉, 迟强, 等. 高效液相色谱法测定三种虫草发酵液与菌丝体核苷化合物含量[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(12): 2000-2003, 2061.
- [20] 李波, 李磊, 邓旭衡, 等. 葡萄酒发酵过程中  $\gamma$ -氨基丁酸含量变化的研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(7): 171-173.
- [21] 张荣霞, 李崎, 朱林江, 等. 青稞红曲啤酒中  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(11): 1148-1152.
- [22] 周艳华, 李涛, 刘颖. 富含  $\gamma$ -氨基丁酸保健啤酒的酿造工艺研究[J]. 食品工业, 2018(5): 83-87.
- [23] 钱敏, 汤斯斯, 赵文红, 等. 原料米对广东客家黄酒发酵及产  $\gamma$ -氨基丁酸的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 15-19.

加工编辑:姚骏

收稿日期:2020-08-30

## 欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产促进中心主办,国内公开发行的食品专业科技期刊,1980年创刊,半月刊,采用国际流行开本大16开。其专业突出,内容丰富,印刷精美,是一本既有基础理论研究,又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录,并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE中国核心学术期刊(A)。主要栏目有:基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS;国际刊号 ISSN 1005-6521;邮发代号:6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2021年定价:30元/册,全年720元。

本编辑部常年办理邮购,订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址:天津市静海县静海经济开发区南区科技路9号;收款人:《食品研究与开发》编辑部;邮政编码:301600。

(2) 银行汇款。开户银行:工商银行静海支行,行号:102110000863。

账号:0302095119300204171;单位:天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail:tjfood@vip.163.com

电话(传真):022-59525671