

玉米肽对小鼠酒后肝脏乙醇脱氢酶活力的影响 及醒酒机理

郭 辉^{1,2}, 何 慧^{1,*}, 韩 樱¹, 黄文浩¹, 张小波¹

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 2. 安琪酵母股份有限公司, 湖北 宜昌 443003)

摘 要: 为了研究玉米肽(CP)对大量摄入乙醇后小鼠的醒酒作用, 采用气相色谱(GC)法测定小鼠血液中乙醇含量, NAD⁺法测定肝脏中乙醇脱氢酶(ADH)的活力, 结合氨基酸分析, 探讨其醒酒机理。结果显示: CP对肝脏中ADH有激活作用, 且两者间存在明显剂量-效应关系, 灌胃600mg/kg CP可极显著激活小鼠肝中ADH活性($P < 0.01$), 激活率达30.1%; 并极显著抑制血清中乙醇含量的提高($P < 0.01$), 小鼠血清中乙醇含量的降低与CP间亦存在明显的剂量-效应关系。在小鼠灌胃乙醇后20~200min内, 给CP组血醇清除率和ADH活力均明显高于乙醇模型组; 在小鼠灌胃乙醇20~120min内, 给CP组与模型组血醇清除率差异显著($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$); 在小鼠灌胃乙醇50~120min内, ADH活力差异显著($P < 0.05$)。氨基酸分析表明, 玉米肽具有较高的疏水性。用85%乙醇洗脱的疏水性最强的组分对羟自由基的抑制率最高, 达83.05%。结论: 玉米肽能激活ADH, 且有良好的持续激活作用, 其作用可能与玉米中疏水性短肽有关。

关键词: 玉米肽; 醒酒; 乙醇脱氢酶; 血液乙醇含量; 疏水性短肽

Effect of Corn Peptides on Alcohol Dehydrogenase Activity in Live of Mice after Drinking and Its Anti-alcohol Mechanism

GUO Hui^{1,2}, HE Hui^{1,*}, HAN Ying¹, HUANG Wen-hao¹, ZHANG Xiao-bo¹

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Angel Yeast Co. Ltd., Yichang 443003, China)

Abstract: In order to explore the anti-alcohol mechanism of corn peptides (CP) on heavy-drinking mice, blood alcohol concentration (BAC) was determined by gas chromatography (GC), ADH activity in liver was detected by NAD⁺ method and the amino acid composition of CP was analyzed. The results showed that CP could activate ADH in liver in a dose-dependent way. CP at the dose of 600 mg/kg·bw could significantly increase ADH activity in mice administered with alcohol ($P < 0.01$), result in an ADH activation rate of up to 30.1%, and remarkably reduce BAC in mice ($P < 0.01$). The scavenging rate of BAC was positively correlated with the dose of CP. The scavenging rate of BAC and the ADH activity in mice from CP group were remarkably higher than that in mice from alcohol model group after the administration of alcohol for 20—200 min. Compared with the model group, the scavenging rate of BAC in mice from the CP group was significantly different during alcohol administration for 20—120 min ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). Amino acid analysis showed that CP had high hydrophobicity. The highest hydrophobic fraction was the most potent hydroxyl radical scavenger with scavenging rate of 83.05%. Therefore, CP can continuously activate ADH in liver, which likely to be related to hydrophobic short peptides in corn.

Key words: corn peptides (CP); anti-alcohol; alcohol dehydrogenase (ADH); blood alcohol concentration (BAC); hydrophobic

中图分类号: Q514.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)11-0265-05

酒精中毒是当今世界一大公害, 导致酒精性肝损伤 或其他一些并发症。目前采用合成方法研制解酒药物的

收稿日期: 2010-09-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(30972043); 国家“863”计划项目(2008AA10Z314)

作者简介: 郭辉(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品化学。E-mail: guohui@angelyeast.com

* 通信作者: 何慧(1960—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为食品化学和天然产物化学。E-mail: hehui@mail.hzau.edu.cn

进展艰难,关于天然产物醒酒作用的研究愈来愈受到关注^[1]。

正常情况下,进入人体内的乙醇90%以上是在脱氢酶系统——乙醇脱氢酶(ADH)和乙醛脱氢酶的催化作用下完成代谢的^[2],肝脏中ADH活力水平是人体乙醇代谢的关键^[3-5]。Sakai等^[6]报道了银杏、茯苓等16种植物药的水煎液均可降低服用乙醇大鼠的血醇含量,且作用机制均与提高肝脏ADH活性有关。蛋白肽类的醒酒机制被认为是因为通过提高血液中某些特定氨基酸的浓度,产生稳定的辅酶NAD⁺,维持正常的三羧酸循环活动^[7]。20世纪90年代后期,Yamaguchi等^[8]率先报道了玉米肽(corn prptides, CP)具有促进乙醇代谢的醒酒作用,认为玉米肽的醒酒作用源于其可显著提高血清中丙氨酸、亮氨酸的浓度,有助于产生稳定的辅酶NAD⁺,以降低血液中乙醇的浓度。此后关于玉米肽醒酒机理的研究鲜见报道。笔者实验室近年来对玉米肽的醒酒保肝活性进行了较系统地研究,隋玉杰等^[9]曾比较了中性蛋白酶和碱性蛋白酶制备的玉米肽的醒酒活性,发现玉米肽在体外实验中能激活ADH。本研究通过动物实验,考察双酶法制备的玉米肽对小鼠酒后血液中乙醇浓度及肝脏中ADH活力的影响,并结合氨基酸分析对玉米肽的醒酒机理进行进一步探讨,旨在揭示玉米肽的醒酒机理,为玉米肽的醒酒产品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验动物

昆明种小鼠,体质量(20±2)g,雄性,购自湖北省疾病预防控制中心实验动物中心。

1.2 材料与试剂

玉米黄粉(粗蛋白含量为57.31%) 正大集团武汉分公司;浓缩玉米蛋白(粗蛋白含量为93.14%) 自制^[9]。

Neutrase中性蛋白酶(100U/mg)、Alcalase碱性蛋白酶(200U/mg) 丹麦Novo公司;烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD⁺)氧化型辅酶I:日本进口试剂,国内分装;无水乙醇(国产优级纯);DA201-C大孔树脂 江苏苏青水处理工程集团有限公司。

1.3 仪器与设备

UV-102-02FW紫外-可见分光光度计 日本岛津公司;6890N气相色谱仪 美国Agilent公司;835-50型氨基酸分析仪 日本Hitachi公司。

1.4 方法

1.4.1 双酶法制备CP^[10]

将浓缩玉米蛋白按1:25(m/V)加水,90℃水浴预处理30min,冷却后,在温度为50℃、pH7.3、酶底比

1.5%条件下用Neutrase酶解2h;然后调整温度为60℃、pH8.0、酶底比1.0%,加入Alcalase酶解4h,100℃水浴保温10min灭酶,过滤收集滤液,浓缩,冻干后备用。经凯氏定氮法测定知玉米肽含量为91.55%。

1.4.2 大孔树脂对CP进行分级分离

将10mg/mL玉米肽溶液,以2.0mL/min的流速上样过DA201-C大孔树脂柱,吸附结束后蒸馏水洗柱2h,之后用15%、50%、85%的乙醇洗脱液连续洗脱,收集各洗脱液,浓缩蒸发除去乙醇,冷冻干燥后得到不同体积分数乙醇洗脱的玉米肽组分。

1.4.3 小鼠肝脏中ADH的分离提取^[11]

取出小鼠肝脏后用冷生理盐水冲洗,然后用蔗糖缓冲液配成10g/100mL的肝匀浆,3000r/min冷冻离心10min,取上清液冷藏,用于ADH活力的测定。

1.4.4 肝脏中ADH活力的测定^[11-12]

ADH在有NAD⁺存在的弱碱性范围内,催化乙醇的脱氢反应生成乙醛:



同时NAD⁺被还原成NADH(还原型辅酶I)。NADH在波长340nm处有一强吸收峰,通过测定340nm波长处NADH的吸光度每分钟的变化值,来衡量ADH的活力,吸光度的变化率越大,说明ADH活力越高。

测定管中加入pH8.8的焦磷酸钠缓冲液1.5mL、27mmol/L NAD⁺ 1.0mL、体积分数11.5%乙醇溶液0.5mL混合,于25℃水浴中温育5min后,立即加入小鼠肝匀浆上清液0.1mL,摇匀后于340nm波长处测定各管的吸光度,计算其5min内每分钟变化率ΔA。ADH的活力(U)以NADH每分钟生成的微摩尔数(μmol/min)表示。

$$\text{ADH活力}/(\text{U/g}) = \frac{\Delta A}{E \times l} \times \frac{3.1}{0.1} \times 10^6 \left(\frac{m}{V} \times 10^3 \right)$$

式中: E为NADH在340nm处的摩尔消光系数, E=6.22×10³ L/(mol·cm); l为比色杯厚度/cm; 3.1为反应液总体积/mL; 0.1为加入反应体系的ADH提取液体积/mL; m为肝质量/g; V为匀浆体积/mL。

1.4.5 气相色谱(GC)法测定小鼠血清中乙醇含量

GC测定条件: FID检测器, T=280℃; DL-Wax毛细管色谱柱: 50m×320mm, 25μm; H₂流速: 30mL/min, Air流速: 400mL/min, N₂流速: 30mL/min; 柱温为程序升温: 起始温度为40℃, 保持2min, 以25℃/min升至100℃, 再保持1min; 正丁醇(4μL/mL)作内标。

1.4.6 不同剂量玉米肽对小鼠酒后血液中乙醇含量和肝脏中 ADH 活性的影响

将 50 只体质量为 (20 ± 2) g 的昆明种雄性小鼠随机分成玉米肽高、中、低剂量组，空白组，模型组，每组 10 只。低、中、高 CP 剂量组分别灌胃 CP 150、300、600mg/kg，空白组、模型组灌胃等量生理盐水；30min 后，CP 组、模型组分别灌胃 50% 乙醇(分析纯)12mL/kg，空白组给予等量生理盐水，给乙醇 1h 后分别摘眼球取血和取小鼠肝组织。血液离心后取血清，加入等体积 10% 三氯乙酸(TCA)和 $4 \mu\text{L/mL}$ 的正丁醇(作内标)，再次离心后取上清液，供测定血醇浓度用；肝组织制成肝匀浆后，供 ADH 活力测定用。

$$\text{ADH 激活率}/\% = \frac{\text{ADH 活力}_{\text{玉米肽组}} - \text{ADH 活力}_{\text{空白组}}}{\text{ADH 活力}_{\text{空白组}}} \times 100$$

1.4.7 玉米肽对小鼠酒后不同时间血液中乙醇含量和肝脏中 ADH 活力的影响

将 60 只体质量为 (20 ± 2) g 的昆明种雄性小鼠随机分为给肽组和乙醇模型组，每组 30 只。给肽组灌胃 CP 400mg/kg，模型组灌胃等量生理盐水，30min 后，两组均灌胃 50% 乙醇 12mL/kg，在灌乙醇后 20、50、80、120、160、200min 后分别取出 5 只小鼠，迅速摘眼球取血和肝组织，小鼠血液、肝组织处理及其血醇含量、ADH 活力的测定方法如前所述。

1.4.8 玉米肽氨基酸分析

送样至湖北省农业科学院测试中心，采用盐酸水解法、氨基酸自动分析仪进行测定。计算玉米肽平均疏水性 Q 值^[13]。计算公式如下：

$$\Delta Q_i = \frac{AA_i/M_i}{\sum AA_i/M_i} \times \Delta f_i$$

$$Q = \sum \Delta Q_i$$

式中： AA_i 为 100g 蛋白质中每种氨基酸的含量/g； M_i 为各种氨基酸的摩尔质量/(g/mol)； Δf_i 为氨基酸侧链疏水性值/(kJ/mol)； $\sum AA_i/M_i$ 为 100g 蛋白质中氨基酸的总物质的量/mol； Q 为蛋白质疏水性值/(kJ/mol)。

1.4.9 玉米肽对 $\cdot\text{OH}$ 抑制率的影响

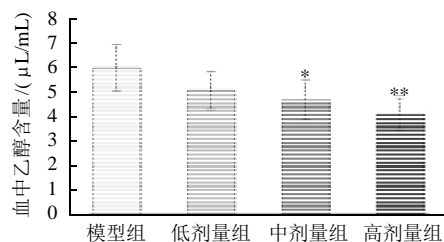
采用脱氧核糖-铁体系法测定玉米肽对 $\cdot\text{OH}$ 的抑制率^[9]。

1.4.10 统计学分析

采用 SAS V8 统计软件，所有的数据组间 t 检验，对实验结果进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同剂量玉米肽对小鼠血中乙醇含量的影响



*.与模型组相比，差异显著($P < 0.05$)；**.与模型组相比，差异极显著($P < 0.01$)。下同。

图1 不同剂量玉米肽对小鼠血清中乙醇含量的影响

Fig.1 Effect of corn peptides on serum ethanol concentration in mice

如图1所示，与模型组比较，随着灌胃 CP 剂量的增加，小鼠血清中乙醇含量不断降低，当 CP 的剂量为 150mg/kg 时，小鼠血清中乙醇含量降低未达显著水平，但当 CP 的剂量为 300mg/kg 时，血醇含量显著降低($P < 0.05$)，当 CP 的剂量为 600mg/kg 时，血醇含量降低达到极显著水平($P < 0.01$)，乙醇含量降低率达到 31.6%；玉米肽的剂量与血醇含量的降低呈明显的剂量-效应关系。

2.2 玉米肽对小鼠酒后不同时间血清中乙醇含量的影响

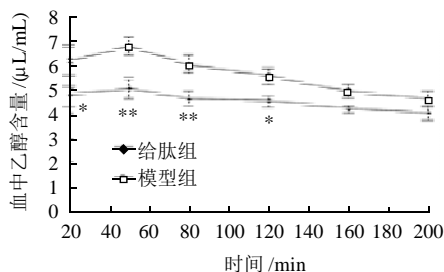


图2 不同时间小鼠血清中乙醇含量的变化

Fig.2 Effect of administration time on serum ethanol concentration in mice

如图2所示，模型组在灌胃乙醇 50min 时，血醇含量达最大值，此后逐渐降低。灌胃 400mg/kg CP 对摄入乙醇后不同时间时小鼠血清中乙醇含量均有降低作用。与乙醇模型组相比，在灌乙醇后 20min 和 120min 处，给肽组的乙醇含量降低达显著水平($P < 0.05$)，而在灌乙醇后 50min 和 80min 时，给肽组的乙醇含量降低达到极显著水平($P < 0.01$)。此后，两者的差异逐渐缩小，说明 CP 对降低血醇含量具有良好的持续性。

2.3 不同剂量玉米肽对小鼠酒后肝脏中 ADH 活性的影响

小鼠肝脏 ADH 的活性直接影响乙醇在肝中的代谢过程，该酶活性降低可使乙醇的生物利用度提高，进

而加重乙醇对肝脏、脑等器官的危害作用^[14]。

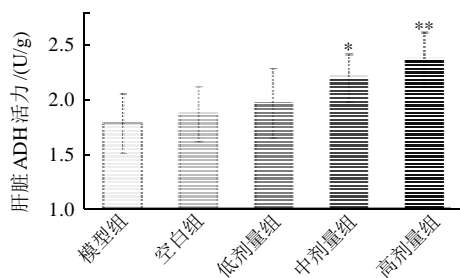


图3 不同剂量玉米肽对小鼠肝脏中ADH活力的影响

Fig.3 Effect of corn peptides with various doses on liver ADH activity in mice

如图3所示,玉米肽对小鼠肝脏中ADH有激活作用。乙醇模型组ADH活力与空白组比较有所降低。与模型组比较,灌胃150mg/kg CP时,不仅能抵消因灌胃乙醇引起的ADH活力降低,并且ADH的活力比空白组更高,灌胃300mg/kg CP可显著提高小鼠ADH活力($P < 0.05$),而灌胃600mg/kg CP对小鼠ADH的激活作用达到极显著水平($P < 0.01$),ADH激活率高达30.1%;说明灌胃玉米肽与小鼠肝脏ADH活力间存在明显的量效关系。

2.4 玉米肽对小鼠酒后不同时间肝脏中ADH活力的影响

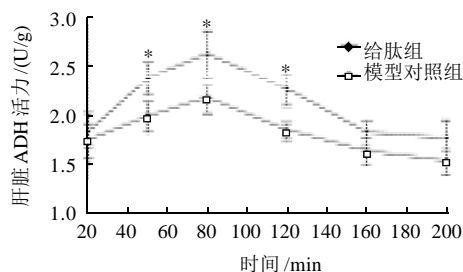


图4 不同时间小鼠肝脏中ADH活力的变化

Fig.4 Change of liver ADH activity in mice after drinking alcohol

如图4所示,给肽组ADH活力均高于乙醇模型组,在小鼠灌乙醇20~80min时间段内,给肽组和模型组ADH活力均有一定程度的提高,此后小鼠ADH活力逐渐下降。在灌胃乙醇50、80、120min时,给肽组ADH活力显著高于模型组ADH活力($P < 0.05$),由此说明玉米肽对小鼠肝脏中ADH活性不仅有较好的激活作用,而且还有良好的持续激活作用。

2.5 玉米肽的氨基酸组成及疏水性

用不同体积分数乙醇从大孔吸附树脂上进行梯度洗脱玉米肽,分别收集得到3个组分,表1为各组分氨基酸分析结果,随着洗脱剂乙醇含量的提高,其中Pro、Arg、Ile、His、Gly、Phe质量百分比含量有明显升

高,但Ala含量有所降低。Ala、Leu含量较高,尤其是Leu含量高,有利于醒酒^[15];此外,Pro、Arg对酒精代谢亦有正面作用^[7]。组分1(15%乙醇洗脱组)中Ala含量高于组分3(85%乙醇洗脱组);而组分3中Leu含量高于组分1。对于醒酒活性而言,Leu比Ala更重要。

表1 各玉米肽组分氨基酸组成

Table 1 Amino acid compositions of crude corn peptide and its three fractions

氨基酸	未分级玉米肽	g/100g pro		
		15%乙醇洗脱组分	50%乙醇洗脱组分	85%乙醇洗脱组分
Asp	3.78	5.40	3.96	3.11
Thr	1.99	2.10	2.18	1.97
Ser	5.11	6.57	5.14	4.23
Glu	20.64	26.40	19.94	17.28
Pro	6.12	3.15	7.16	8.96
Gly	1.14	0.73	1.25	1.40
Ala	8.35	10.49	8.84	6.34
Cys	0.24	0.70	0.42	0.19
Val	2.70	2.88	2.96	2.63
Met	1.24	0.98	1.32	0.98
Ile	2.48	2.21	2.87	3.31
Leu	16.28	17.86	17.20	19.24
Tyr	4.22	4.16	5.40	5.10
Phe	5.29	1.24	5.24	8.69
Lys	0.16	0.13	0.14	0.15
His	1.02	0.49	0.93	1.35
Arg	1.42	0.43	1.00	1.68
总量	82.2	85.9	85.9	86.1

表2 玉米肽组分平均疏水性

Table 2 Average hydrophobic values of crude corn peptide and its three fractions

氨基 酸	摩尔分子 质量/(g/mol)	Δf / (kJ/mol)	ΔQ_r /(kJ/mol)			
			玉米肽	15%乙醇洗 脱组分	50%乙醇洗 脱组分	85%乙醇洗 脱组分
Asp	133.1	2.25	0.10	0.13	0.10	0.08
Thr	119.1	1.84	0.05	0.05	0.05	0.05
Ser	105.1	0.17	0.01	0.02	0.01	0.01
Glu	147.1	2.30	0.50	0.61	0.46	0.40
Pro	115.1	10.87	0.90	0.44	1.00	1.27
Gly	75.1	0	0	0	0	0
Ala	89.1	3.05	0.44	0.53	0.45	0.32
Cys	121.2	—	—	—	—	—
Val	117.1	7.06	0.25	0.25	0.26	0.24
Met	149.2	5.43	0.07	0.05	0.07	0.05
Ile	131.2	12.41	0.36	0.31	0.40	0.47
Leu	131.2	10.12	1.95	2.02	1.96	2.22
Tyr	181.2	12.00	0.43	0.40	0.53	0.51
Phe	165.2	11.08	0.55	0.12	0.52	0.87
Lys	146.2	6.27	0.01	0.01	0.01	0.01
His	155.2	2.09	0.02	0.01	0.02	0.03
Arg	174.2	3.05	0.04	0.01	0.03	0.04
Q值			5.70	4.95	5.88	6.57

注:—,未检出。

如表 2 所示, 随着洗脱液乙醇含量增大, 洗脱组分的疏水性氨基酸所占比例明显增大, 如 Pro 等。疏水性 Q 值从组分 1 的 4.95 kJ/mol 递增到组分 3 的 6.57 kJ/mol。

2.6 玉米肽不同组分的 $\cdot\text{OH}$ 抑制率比较

表 3 不同体积乙醇洗脱组分的 $\cdot\text{OH}$ 抑制率比较

Table 3 Comparison of inhibitory rates of crude corn peptide and its three fractions against hydroxyl free radicals

组别	玉米肽	15% 乙醇洗脱组分	50% 乙醇洗脱组分	85% 乙醇洗脱组分
$\cdot\text{OH}$ 抑制率/%	74.04 \pm 7.8	71.72 \pm 6.35	81.06 \pm 4.91	83.05 \pm 3.97

不同组分玉米肽具有不同的疏水性, 由表 3 可知, 随洗脱组分疏水性的增加, 玉米肽 $\cdot\text{OH}$ 抑制率活性得到提高, 85% 乙醇洗脱下的 CP 组比分 15% 乙醇洗脱组分的 CP 组分 $\cdot\text{OH}$ 抑制率提高了 11.33%。本实验室以前的研究^[9]表明: 玉米肽对 $\cdot\text{OH}$ 抑制活性与醒酒活性具有一定的正相关关系, 提示疏水性 Q 值最大的组分 3 其醒酒活性可能最高。如前所述, 组分 3 的 Leu 含量亦是最高。Haseba 等^[16]曾报道了 19 种短链的疏水性物质能提高小鼠 ADH 的活性, 促进乙醇代谢。

3 讨论与结论

人体摄入乙醇后, 经过胃肠道吸收代谢, 90% 左右的乙醇在肝脏中代谢, ADH 在乙醇代谢中起着十分重要的作用, 长期大量饮酒易引起脂肪肝、肝炎等肝脏疾病等。哺乳动物有 3 种 ADH 同工酶, 包括 ADH1、ADH2 和 ADH3, 其中 ADH1 被认为是与乙醇代谢最相关的酶, 它在乙醇代谢中起主要作用^[17], 此外有研究发现 ADH3 亦对乙醇代谢起重要作用^[18]。实验表明, 玉米肽能够激活小鼠肝脏中 ADH 的活性, 并呈现明显的剂量-效应关系。乙醇模型组的 ADH 活力在给酒后 20~80min 内随着时间延长活性亦不断提高, 这可能与乙醇底物能激活 ADH 有关, 而给玉米肽组 ADH 活力在 20~200min 内均高于模型组, 说明玉米肽可进一步激活肝脏 ADH, 促进乙醇的代谢。Haseba 等^[16]发现有 19 种短链的疏水性物质, 如丁酰胺、戊酰胺等能提高小鼠 ADH3 氧化乙醇的活性, 而不是作为 ADH3 的底物。本研究采用双酶法制备的玉米肽其氨基酸分析结果表明, 其中富含疏水性氨基酸, 疏水性 Q 值较大, 且肽键就是酰胺键, 所以我们推测玉米肽中疏水性短肽可能也能激活 ADH3, 促进乙醇的代谢, 从而起到了醒酒作用。Yamaguchi 等^[9]认为玉米肽的醒酒作用源于其可显著提高血清中丙氨酸、亮氨酸的浓度, 有助于产生稳定的辅酶 NAD^+ , 以维持正常的三羧酸循环, 降低了血液中乙醇含量。而本实验用双酶法制备的玉米肽具有高含量的

丙氨酸、亮氨酸组成, 这亦是玉米肽有利于醒酒的佐证。

玉米肽能激活 ADH, 且还有良好的持续激活作用, 其作用可能与玉米的疏水性短肽有关。

参考文献:

- [1] 张若明, 李经才. 解酒天然药物研究进展[J]. 沈阳药科大学学报, 2001, 18(2): 138-142.
- [2] 林振涛, 于红燕. 酒的代谢与中毒[J]. 滨州医学院学报, 1999, 22(3): 311-312.
- [3] RACHAMIN G, MACDONALD J A, WAHID S, et al. Modulation of alcohol dehydrogenase and ethanol metabolism by sex hormones in the spontaneously hypertensive rat[J]. Biochemical Journal, 1980, 186(2): 483-490.
- [4] PLAPP B V, LEIDAL K G, SMITH R K, et al. Kinetics of inhibition of ethanol metabolism in rats and the rate-limiting role of alcohol dehydrogenase[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1984, 230(1): 30-38.
- [5] PAGE R A, KITSON K E, HARDMAN M J. The importance of alcohol dehydrogenase in regulation of ethanol metabolism in rat liver cells[J]. Biochemical Journal, 1991, 278: 659-665.
- [6] SAKAI K, YAMANE T, SAITO H, et al. Effect of water extracts of crude drugs in decreasing blood ethanol concentration in rats[J]. Chem Pharm Bull, 1987, 35(11): 4597-4604.
- [7] 孙冀平, 沈蓓英. 蛋白肽饮料的醒酒机理和制备工艺的探讨[J]. 食品与发酵工业, 1999, 25(4): 64-66.
- [8] YAMAGUCHI M, NISHIKIORI F, ITO M, et al. The effects of corn peptide ingestion on facilitating alcohol metabolism in healthy men[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1997, 61(9): 1474-1481.
- [9] 隋玉杰, 何慧, 石燕玲, 等. 玉米肽的醒酒活性体外试验及其醒酒机理研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(5): 54-58.
- [10] GUO Hui, SUN Jie, HE Hui, et al. Antihepatotoxic effect of corn peptides against *Bacillus Calmette-Guerin*/lipopolysaccharide-induced liver injury in mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47: 2431-2435.
- [11] 雷雨. 绞股蓝、麦饭石有效成分解酒作用及其抗酒精性肝损伤的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2001.
- [12] 施特尔马赫 B. 酶的测定方法[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992: 15-19.
- [13] 程云辉, 王璋, 许时婴. 大孔吸附树脂对麦胚肽的吸附特性研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(6): 7-12.
- [14] 芦洁, 李文哲, 倪亚明. 中药水提物对乙醇脱氢酶活性影响的初步研究[J]. 同济大学学报: 医学版, 2002, 23(1): 23-25.
- [15] YAMAGUCHI M, TAKADA M, NOZAKI O, et al. Preparation of corn peptide from corn gluten meal and its administration effect on alcohol metabolism in stroke-prone spontaneously hypertensive rats[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 1996, 42(3): 219-231.
- [16] HASEBA T, DUESTER G, SHIMIZU A, et al. *in vivo* contribution of class III alcohol dehydrogenase (ADH3) to alcohol metabolism through activation by cytoplasmic solution hydrophobicity[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2006, 1762(3): 276-283.
- [17] DUESTER G, FARRES J, FELDER M R, et al. Recommended nomenclature for the vertebrate alcohol dehydrogenase gene family[J]. Biochemical Pharmacology, 1999, 58(3): 389-395.
- [18] HASEBA T, TOMITA Y, KUROSU M, et al. Dose and time changes in liver alcohol dehydrogenase (ADH) activity during acute alcohol intoxication involve not only class I but also class III ADH and govern elimination rate of blood ethanol[J]. Legal Medicine, 2003, 5(4): 202-211.