

玉米蛋白酶解物的解酒作用

马艳秋^{1,2}, 郑喜群^{1,2,*}, 刘晓兰^{1,2}, 孙 琪¹

(1. 齐齐哈尔大学食品与生物工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006;

2. 齐齐哈尔大学 黑龙江省普通高校农产品加工重点实验室, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘 要: 采用碱性蛋白酶Alcalase和复合蛋白酶Protamex分步对膨化的玉米蛋白粉进行酶解改性, 应用动物实验的方法研究玉米蛋白酶解物的解酒作用。结果表明: 玉米蛋白酶解物中分子质量小于1 000 u的组分占87.76%, 含有较高比例的谷氨酸、亮氨酸和丙氨酸; 与酒精模型组相比, 双酶酶解得到的玉米蛋白酶解物可使小鼠血液中乙醇含量降低59.43%; 在一定时间范围内, 玉米蛋白酶解物可以提高小鼠胃中乙醇脱氢酶和肝脏中超氧化物歧化酶活性, 降低肝脏中丙二醛含量, 增加谷胱甘肽含量。

关键词: 玉米蛋白酶解物; 解酒作用; 双酶分步酶解

Anti-alcoholism Effects of Corn Protein Hydrolysate

MA Yanqiu^{1,2}, ZHENG Xiqun^{1,2,*}, LIU Xiaolan^{1,2}, SUN Qi¹

(1. College of Food and Biological Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China; 2. Key Constructive Laboratory of Processing Agricultural Products of Heilongjiang Province Normal University, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)

Abstract: The enzymatic hydrolysate of extruded corn gluten produced by sequential hydrolysis with Alcalase and Protamex was evaluated for its anti-alcoholism effect in mice. The results showed that the hydrolysate contained 87.76% peptides which molecular weight is less than 1 000 u, and was richer in glutamic acid, leucine and alanine than corn gluten. Gavage administration of the enzymatic hydrolysate resulted in a 59.43% reduction in blood alcohol concentrations in mice when compared with the model group. Moreover, this hydrolysate increased alcohol dehydrogenase (ADH) activity in the stomach of mice, and enhanced superoxide dismutase (SOD) activity and glutathione (GSH) content but reduced malondialdehyde (MDA) content in the liver within a certain time range.

Key words: corn protein hydrolysate; anti-alcoholism effects; sequential two-enzyme hydrolysis

中图分类号: TS210.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 01-0191-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201501036

中国是酒的故乡, 无酒不成席。近年来, 过度饮酒导致了許多急性或慢性疾病^[1], 人们逐渐开始关注酒的保健问题。研究显示, 人体摄入含有大量氨基酸或多肽的蛋白产品对酒精代谢有促进作用^[2]。

玉米蛋白粉 (corn gluten meal, CGM) 是玉米湿法生产淀粉的主要副产物, 其含有62%~74%的蛋白质。玉米蛋白氨基酸组成不平衡、水溶性差, 这一特点限制了其在食品工业中的应用^[3-4]。但是, 与其他谷物蛋白相比, 玉米蛋白含有高比例的亮氨酸、丙氨酸和异亮氨酸等疏水性脂肪族氨基酸, 在其多肽链中存在抗氧化、抗高血压, 促酒精代谢等的功能序列区^[5-8], 采用必要的改性方法, 可以使其功能特性释放出来, 用于开发功能食品。

玉米蛋白的结构较稳定, 这使其改性具有一定难度^[9]。

本研究首先用挤压膨化的方法预处理CGM, 使维系其高级结构的次级键力减弱, 玉米蛋白部分变性^[10-11], 再采用蛋白酶对其改性, 研究玉米蛋白酶解物 (corn protein hydrolysate, CPH) 的解酒作用, 为蛋白类解酒产品的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

CGM 黑龙江龙凤玉米开发有限公司; ICR小鼠长春市亿斯实验动物技术有限责任公司。

碱性蛋白酶Alcalase、复合蛋白酶Protamex 丹麦诺维信公司; 52°红星二锅头白酒 北京红星股份有限公司; 海王金樽 深圳市海王健康科技发展有限公司。

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31071629); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (12521606)

作者简介: 马艳秋 (1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工技术。E-mail: mayanqiu908@163.com

*通信作者: 郑喜群 (1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工及应用酶学。E-mail: zhengxiquan@126.com

1.2 仪器与设备

DS32-II型双螺杆挤压膨化机 上海跃进医疗器械厂; GC-2010型气相色谱仪 日本岛津公司; L-8800型氨基酸自动分析仪 日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 CGM的挤压膨化处理

CGM过80目筛,调节其含水量至16%,放置过夜后用DS32-II型双螺杆挤压膨化机挤压膨化,膨化机工作参数设置为温度160℃,压力1 MPa。将膨化后的CGM干燥、粉碎,过80目筛,作为原料待用。

1.3.2 CGM的酶解

用蛋白酶Alcalase和Protamex分步酶解质量浓度为5 g/mL的CGM,以A酶单酶酶解做对照。Alcalase加酶量为3%,反应温度为60℃,pH 8.5,酶解时间为120 min; Protamex加酶量为1%,反应温度为50℃,pH 7.0,酶解时间为180 min。第一阶段酶解(Alcalase)之后,调节反应液pH值至7.0,加入蛋白酶Protamex,继续酶解CGM。水解度的测定采用pH-stat法^[10]。

1.3.3 CPH的分子质量分布测定

采用凝胶色谱法测定CPH的分子质量分布。称取2 mg样品溶于1 mL 0.02 mol/L磷酸盐缓冲液(pH 7.0),样液于4℃条件下10 000 r/min离心10 min,再用0.22 μm微孔滤膜过滤。取100 μL样液进行Superdex peptide PE 10/300 GL(10 mm×300 mm, 13 μm)凝胶色谱,用含有0.15 mol/L NaCl的0.02 mol/L的磷酸盐缓冲液(pH 7.0)洗脱,流速为0.25 mL/min,检测波长为214 nm。蛋白质分子质量标准如下:蓝色葡聚糖2000(2 000 ku)、Aprotinine(6 511.51 u)、杆菌肽(1 422.69 u)、氧化型谷胱甘肽(612.63 u)、还原型谷胱甘肽(307.32 u)。色谱柱外水体积采用蓝色葡聚糖2000进行测定。以蛋白标准物分子质量对数值($\lg M_r$)为纵坐标,有效分配系数(K_{av})为横坐标绘制标准曲线,得到回归方程为 $\lg M_r = -3.503 4K_{av} + 4.694 5$ ($R^2=0.983$)。

1.3.4 CPH的氨基酸组成测定

采用氨基酸自动分析仪对CPH进行氨基酸组成分析,采用氨基酸的变化系数(t)表示样品间的差异性,计算公式如下。

$$t/\% = \frac{A_i - A_0}{A_0} \times 100$$

式中: A_i 为CPH的各氨基酸含量占总氨基酸总量的百分数/%; A_0 为CGM的各氨基酸含量占总氨基酸总量的百分数/%。

1.3.5 CPH解酒作用动物实验

将体质量20 g的ICR小鼠常规饲养7 d后,随机分为4组,每组10只,4组分别为空白组、酒精模型组、阳性对照组和CPH组,分别标记为B、M、P和C。

CPH组按小鼠体质量给予8 mg/g剂量CPH,阳性对照组按小鼠体质量给予1.5 mg/g剂量阳性药物(海王金樽),空白组和酒精模型组按小鼠体质量给予生理盐水,30 min后,除空白组,其余3组均按3.5 mL/kg的剂量灌服52°白酒,开始计时。

4组小鼠分别于计时后的5、15、30、45、60、75 min摘取眼球取血,采用气相色谱法测定全血中乙醇质量浓度;同时取肝脏和胃组织冷冻保存,由南京建成生物工程研究所完成组织中乙醇脱氢酶(alcohol dehydrogenase, ADH)酶活力、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)酶活力、还原型谷胱甘肽(glutathione, GSH)含量和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量的测定。

1.4 数据处理

实验数据采用IBM SPSS Statistics软件进行统计分析,结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示,利用Duncan极差检验评价样品平均值间的显著性差异($P < 0.05$),应用Origin 8.6统计软件绘图。

2 结果与分析

2.1 CGM的分步酶解

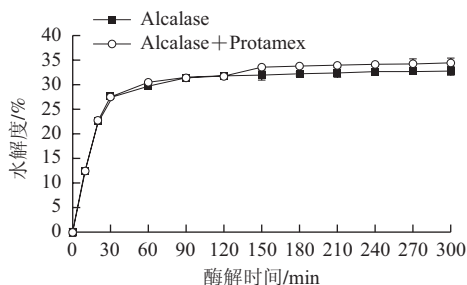


图1 Alcalase和Protamex酶解挤压膨化CGM的水解度
Fig.1 Degree of hydrolysis (DH) of extruded CGM by Alcalase and Protamex

由图1可知,在酶解初期,Alcalase酶解反应速率很快,随后逐渐减慢,到2 h时反应基本停滞。再加入Protamex酶,水解度迅速提高后又趋于平缓,与Alcalase单酶酶解相比水解度增加了4.97%。可能是因为CGM在Alcalase酶作用后,会暴露出利于Protamex酶的酶切位点,所以水解度有所提高,达到34.14%。

2.2 CPH的分子质量分布

经计算,CPH中分子质量小于1 000 u的组分占87.76%,说明CGM通过蛋白酶水解作用后,得到含有高比例小分子质量多肽的混合物,这些低肽更有利于人体的消化吸收^[12],同时,这些小分子质量的CPH通常具有特殊的生理活性,如抗氧化、抗高血压、醒酒等作用^[5-8]。

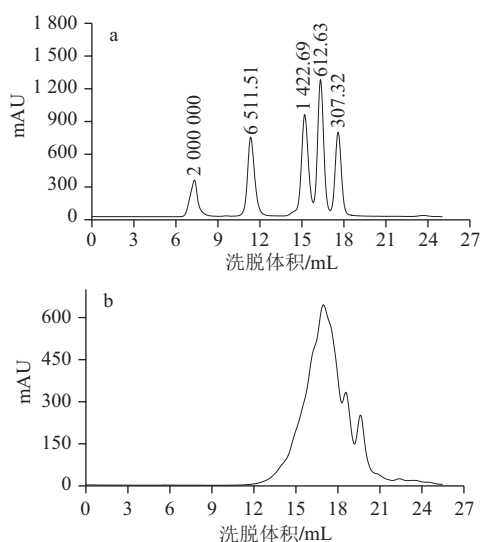


图2 标准蛋白(a)和CPH(b)的凝胶色谱图

Fig.2 Gel filtration chromatograms of standard proteins (a) and CPH (b)

2.3 CPH氨基酸组成

表1 CPH的氨基酸组成

Table 1 Amino acid composition of CPH

氨基酸种类	氨基酸含量/%		t/%
	CGM	CPH	
Thr	3.36	3.36	-0.02
Cys	0.76	0.61	-19.53
Glu	20.58	22.36	8.61
Ser	4.96	5.19	4.56
Tyr	5.29	5.17	-2.16
Ile	4.16	3.71	-10.96
Leu	16.93	16.63	-1.73
Met	2.39	2.28	-4.78
Phe	6.14	5.70	-7.15
Val	4.52	4.22	-6.62
Ala	8.54	8.77	2.71
Gly	2.54	2.51	-0.90
Pro	7.22	7.50	3.88
Lys	1.69	1.57	-6.97
Arg	1.97	2.76	39.90
His	3.08	1.74	-43.32
Asp	5.88	5.92	0.68

实验测定了CPH的17种氨基酸含量,结果见表1。与CGM相比,CPH的氨基酸组成发生变化,Cys、His和Ile比例减少,Arg比例增大,酶解作用对氨基酸组成的影响顺序为His>Arg>Cys>Ile。极性氨基酸比例有所增加,碱性氨基酸比例减小,而酸性氨基酸无明显变化。本实验酶解参数下制得的CPH含有高比例的Glu、Leu和Ala,而Cys、Lys和His含量较低。研究发现,在酒精代谢过程中,氨基酸可以发挥一定作用,其中,Ala和Leu的大量供应生成丙酮酸,驱动NAD⁺生成系统,使NAD⁺供给量增加,促进乙醇代谢进入三羧酸循环系统,进而加快乙醇的代谢进程^[13]。因此,摄入富含Ala和Leu的CPH具有促进人体内酒精代谢的潜力。

2.4 CPH的解酒作用

2.4.1 小鼠血液中乙醇质量浓度的变化

表2 小鼠血液中乙醇含量

Table 2 Effect of CPH administration on blood ethanol concentrations of mice

组别	取血时间/min					mg/100 mL
	5	15	30	45	60	75
B	0	0	0	0	0	0
M	162.54±21.37 ^a	154.03±16.16 ^a	135.08±16.27 ^a	115.62±22.78 ^a	76.80±11.22 ^a	51.60±25.11 ^a
P	158.80±9.38 ^a	150.59±22.87 ^a	122.05±15.37 ^a	135.13±12.41 ^a	79.43±7.56 ^a	67.14±9.97 ^a
C	65.94±25.59 ^b	85.98±29.01 ^b	90.01±22.05 ^b	86.65±28.09 ^b	74.53±15.65 ^a	39.62±19.90 ^a

注:同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

由表2可知,酒精模型组小鼠血液中乙醇含量在5 min时为最大值,而CPH组在30 min到达最大值,同时,CPH组每一时间点血醇含量均低于酒精模型组,经计算5 min时CPH组小鼠血液中乙醇含量与酒精模型组相比降低59.43%;15~45 min之间,CPH组小鼠血醇含量随时间变化不明显,而酒精模型组小鼠血醇含量随时间迅速下降,60 min时,二者含量趋于一致,变化不显著。这些结果表明,CPH能够推迟乙醇进入血液的速率,同时减少进入血液的乙醇的量,这可能与CPH影响胃肠对乙醇的吸收有关。

2.4.2 小鼠肝脏中ADH活性

表3 小鼠肝脏中ADH酶活力

Table 3 Effect of CPH administration on ADH activities in mouse liver

组别	时间/min						U/mg pro
	5	15	30	45	60	75	
B	5.40±1.66 ^a	5.40±1.66 ^{ab}	5.40±1.66 ^a	5.40±1.66 ^a	5.40±1.66 ^a	5.40±1.66 ^a	
M	5.70±0.88 ^a	4.76±0.99 ^a	5.40±0.69 ^a	5.00±1.15 ^a	4.48±0.67 ^a	5.14±0.61 ^a	
P	5.70±0.88 ^a	6.74±1.07 ^b	5.36±1.10 ^a	5.66±0.24 ^a	6.13±1.60 ^a	4.50±0.99 ^a	
C	5.65±1.10 ^a	5.68±1.06 ^{ab}	5.91±1.10 ^a	5.11±1.22 ^a	6.00±0.88 ^a	5.06±0.99 ^a	

ADH是一种含锌酶类,主要存在于生物的肝脏中,它以NAD⁺为辅酶,催化伯醇和醛之间的可逆反应,是生物体内主要短链醇代谢的关键酶^[14-15]。小鼠肝脏中ADH活性测定结果见表3。除15 min阳性对照组外,每一时间点4个实验组小鼠肝脏中ADH活性变化均不显著,说明肝脏中ADH活性不受酒精及CPH含量的影响。

2.4.3 小鼠胃中ADH活性

除肝脏中含有ADH,胃中也有ADH的存在,在胃黏膜上存在的ADH能够代谢酒精,参与首过效应^[16]。小鼠胃中ADH活性测定结果见表4。与酒精模型组比较,除75 min外,CPH组小鼠胃中ADH活性显著升高,表明CPH能够使胃中ADH活性增强,该结果与血液中乙醇含量测定结果相一致,表明CPH可能属于胃肠吸收抑制剂型解酒食品^[17],通过提高胃中ADH活性,抑制胃肠对酒

精的吸收作用,减少血液中酒精含量,从而降低酒精对机体的损害作用。于国才等^[18]发现在体外玉米肽可以激活ADH的活性。

表4 小鼠胃中ADH酶活力

Table 4 Effect of CPH administration on ADH activities in mouse stomach

U/mg pro

组别	时间/min					
	5	15	30	45	60	75
B	1.54±0.94 ^b	1.54±0.94 ^b	1.54±0.94 ^b	1.54±0.94 ^b	1.54±0.94 ^b	1.54±0.94 ^b
M	1.18±0.66 ^c	1.47±0.56 ^b	1.44±0.12 ^b	1.49±0.69 ^b	1.67±1.06 ^b	2.05±0.54 ^a
P	1.44±0.83 ^b	1.81±0.79 ^a	1.74±1.26 ^a	5.49±1.61 ^a	5.77±8.17 ^a	2.32±0.67 ^a
C	1.37±0.52 ^b	2.80±0.28 ^a	2.00±0.85 ^a	5.06±1.46 ^a	2.38±0.92 ^a	1.73±0.50 ^b

2.4.4 小鼠肝脏中SOD活性

表5 小鼠肝脏中SOD酶活力

Table 5 Effect of CPH administration on SOD activities in mouse liver

U/mg pro

组别	时间/min					
	5	15	30	45	60	75
B	157.73±15.63 ^a	157.73±15.63 ^a	157.73±15.63 ^a	157.73±15.63 ^a	157.73±15.63 ^a	157.73±15.63 ^a
M	128.03±11.91 ^b	110.07±15.35 ^b	101.46±29.32 ^c	121.77±18.07 ^c	157.37±25.18 ^a	155.72±18.37 ^a
P	151.62±27.62 ^a	170.39±36.96 ^a	154.46±25.45 ^a	165.42±20.12 ^{ab}	167.88±35.24 ^a	174.59±49.54 ^a
C	151.48±7.61 ^a	159.78±12.78 ^a	148.91±11.76 ^b	141.07±24.72 ^{bc}	145.34±11.29 ^a	137.05±24.24 ^a

酒精代谢过程中会产生大量自由基,如 O_2^- 、 $\cdot OH$ 、 H_2O_2 、 $C_2H_5O^-$ 等,这些自由基会形成自由基反应,最终造成晕眩、头痛、局部皮肤过敏、肠胃不适等酒后症状^[19]。SOD是人体重要的清除自由基的酶,小鼠肝中SOD活性结果见表5。与空白组相比,酒精模型组SOD活性显著降低,这是因为酒精代谢中生成中间产物 H_2O_2 , H_2O_2 能够破坏SOD活性中心的金属配位场,引起酶受损,导致酶活力下降^[20]。5~60 min内,相对于酒精模型组,除60、75 min外,CPH组和阳性对照组均可显著提高肝脏中SOD活性,从而快速清除自由基,减慢自由基反应,减轻酒后不良症状。

实验测定CPH对小鼠肝脏中过氧化氢酶及谷胱甘肽-S转移酶活性的影响(未显示数据),结果显示CPH对这两种酶活性均无显著影响。

2.4.5 小鼠肝脏中MDA含量

表6 小鼠肝脏中MDA含量

Table 6 Effect of CPH administration on MDA concentrations in mouse liver

nmol/mg pro

组别	时间/min					
	5	15	30	45	60	75
B	0.37±0.08 ^{ab}	0.37±0.08 ^b	0.37±0.08 ^{bc}	0.37±0.08 ^{bc}	0.37±0.08 ^{ab}	0.37±0.08 ^a
M	0.45±0.07 ^a	0.45±0.08 ^{ab}	0.51±0.17 ^a	0.44±0.07 ^b	0.44±0.10 ^a	0.36±0.06 ^c
P	0.43±0.07 ^a	0.48±0.08 ^a	0.45±0.09 ^{ab}	0.41±0.07 ^b	0.34±0.06 ^{bc}	0.39±0.13 ^a
C	0.30±0.05 ^b	0.39±0.06 ^{ab}	0.31±0.05 ^c	0.31±0.07 ^c	0.27±0.02 ^c	0.29±0.10 ^a

MDA是氧自由基和生物膜不饱和脂肪酸发生脂质过氧化反应的代谢产物,其含量变化可间接反映组织中

氧自由基的含量;MDA会引起蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合,具有细胞毒性,也会影响线粒体呼吸链复合物及线粒体内关键酶活性^[21],小鼠肝中MDA含量结果见表6。与空白组相比,酒精模型组MDA含量有所增加,30 min时,MDA含量显著升高。与酒精模型组相比,CPH可显著降低肝脏中MDA的含量,表明CPH可以降低酒后产生的MAD对机体的危害,该结果也间接表明CPH可降低肝脏中氧自由基的含量。

2.4.6 小鼠肝脏中GSH含量

表7 小鼠肝脏中GSH含量

Table 7 Effect of CPH administration on GSH concentrations in mouse liver

nmol/mg pro

组别	时间/min					
	5	15	30	45	60	75
B	6.95±0.67 ^a	6.95±0.67 ^a	6.95±0.67 ^a	6.95±0.67 ^a	6.95±0.67 ^a	6.95±0.67 ^a
M	4.68±0.81 ^b	5.07±0.88 ^b	5.79±1.24 ^b	7.23±0.92 ^a	4.20±0.54 ^b	6.01±1.08 ^a
P	5.08±0.68 ^b	5.10±1.02 ^b	4.35±0.47 ^c	4.86±0.57 ^b	5.67±1.53 ^{ab}	5.61±1.45 ^a
C	6.49±1.30 ^a	5.59±0.28 ^b	5.71±1.04 ^b	4.39±0.83 ^b	5.21±1.57 ^b	6.62±0.81 ^a

GSH的结构中含有一个活泼的巯基,易被氧化脱氢,这一特异结构使其成为体内主要的自由基清除剂^[22]。小鼠肝中GSH含量测定结果见表7。在5 min时,CPH组较酒精模型组GSH含量显著升高,较空白组变化不显著,阳性对照组较酒精模型组变化不显著;与空白组相比较,酒精模型组肝脏中GSH含量在5~30 min之间显著降低,表明代谢初期,乙醇可产生大量自由基,消耗还原型GSH,使其含量下降;相对于酒精模型组,CPH组GSH含量在5~30 min之间有显著提高,表明CPH对乙醇降低的GSH含量有提高作用,从而减少酒精产生的自由基,降低醉酒对机体的危害。

3 结 论

在本实验的酶解工艺下,可获得水解度为34.14%,富含丙氨酸及亮氨酸的短肽链CPH,CPH能够有效地降低血液中乙醇质量浓度,具有良好的解酒作用;在解酒机制方面,实验制得的CPH属于胃肠吸收抑制剂型解酒食品,抑制胃肠对乙醇的吸收作用,减少血液中乙醇质量浓度,减少自由基含量,从而降低乙醇对机体的损害作用。

参考文献:

- [1] 关媛媛,于宁,田菊霞.过量饮酒与健康[J].健康研究,2010,30(3):223-225.
- [2] YAMAGUCHI M, NISHIKIORI F, ITO M, et al. The effects of com peptide ingestion on facilitating alcohol metabolism in healthy men[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1997, 61(9): 1474-1481.
- [3] 尤新.玉米深加工技术[M].北京:中国轻工业出版社,1999:208-209.

- [4] TIMOTHY J, ANDERSON, BUDDHI P, et al. Zein extraction from corn, corn products, and coproducts and modifications for various applications: a review[J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(2): 159-173.
- [5] ZHENG Xiqun, LI Lite, LIU Xiaolan, et al. Production of hydrolysate with antioxidative activity by enzymatic hydrolysis of extruded corn gluten[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2006, 73(4): 763-770.
- [6] LIN Feng, CHEN Liang, LIANG Rui, et al. Pilotscale production of low molecular weight peptides from corn wet milling byproducts and the antihypertensive effects *in vivo* and *in vitro*[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(3): 801-807.
- [7] SUH H J, WANG J H, SUH D B, et al. Preparation of angiotensin I converting enzyme inhibitor from corn gluten[J]. *Process Biochemistry*, 2003, 38(8): 1239-1244.
- [8] MA Zhili, ZHANG Wenjun, YU Guocai, et al. The primary structure identification of a corn peptide facilitating alcohol metabolism by HPLC-MS/MS[J]. *Peptides*, 2012, 37(1): 138-143.
- [9] ARGOS P, PEDERSEN K, MARKS M. A structural model for maize zein proteins[J]. *Biological Chemistry*, 1982, 257(17): 9984-9990.
- [10] 郑喜群, 刘晓兰, 王晓杰, 等. 挤压膨化玉米黄粉酶解制备生物活性肽[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(8): 1-3.
- [11] 张艳荣, 周清涛, 张传智, 等. 响应面法优化玉米蛋白挤出工艺[J]. *食品科学*, 2011, 32(14): 72-78.
- [12] MATTHEWS D M, ADIBI S A. Progress in gastroenterology peptide absorption[J]. *Gastroenterology*, 1976, 71(1): 151-161.
- [13] YAMAGUCHI M, NISHIKIORI F, ITO M, et al. Effect of corn peptide on alcohol metabolism and plasma free amino acid concentrations in healthy men[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 50(10): 682-688.
- [14] HÖÖG J O, HEDBERG J J, STRÖMBERG P, et al. Mammalian alcohol dehydrogenase-functional and structural implication[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2001, 8(1): 71-76.
- [15] 郭辉, 何慧, 韩樱, 等. 玉米肽对小鼠酒后肝脏乙醇脱氢酶活性的影响及醒酒机理[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 265-269.
- [16] MORENO A, PARES X. Purification and characterization of new alcohol dehydrogenase from human stomach[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1991, 266(2): 1128-1133.
- [17] 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.
- [18] 于国才, 何慧, 靳桢, 等. 纳滤技术浓缩玉米肽及其醒酒活性的研究[J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 10-14.
- [19] 吕文平, 汪超, 李良, 等. 解酒制品的研究进展[J]. *海峡药学*, 2009, 21(6): 8-11.
- [20] SLATER T F. Free radical mechanisms in tissue injury with special reference to the cytotoxic effects of ethanol and related alcohol[J]. *Advances in the Biosciences*, 1988, 71(2): 1-9.
- [21] 周小青, 刘旺华, 李花, 等. 丹龙醒脑片对血管性痴呆大鼠学习记忆及脑组织脂质过氧化和钙超载的影响[J]. *湖南中医学院学报*, 2002, 22(3): 1-7.
- [22] ESTLER C J, AMMON H P T. Glutathione and SH group-containing enzyme in the liver after repeated alcohol administration[J]. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 1966, 15(1): 299-306.