

# 玉米蛋白酶解工艺的优化及酶解液对乙醇脱氢酶活性的影响

郭庆启, 张乃珣, 王 群, 王 莎, 何福桂  
(东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘 要:** 以玉米麸质为原料, 通过响应面法对中性蛋白酶解玉米蛋白的条件进行优化并建立回归模型, 得到最佳水解工艺条件为: 酶解时间3.4h、酶与底物比1.25%、酶解pH 6.95、料液比1:23(*m/V*), 此工艺条件下的水解度预测值为16.51%, 水解度实测值为 $(16.38 \pm 0.11)\%$ 。在最优条件下制备得到的玉米蛋白酶解液对乙醇脱氢酶的激活率为 $(21.23 \pm 0.17)\%$ , 氨基酸测定结果表明玉米蛋白酶解液中的丙氨酸和亮氨酸的含量较高。

**关键词:** 玉米蛋白; 中性蛋白酶; 水解; 响应面; 乙醇脱氢酶

## Optimization of Corn Protein Hydrolysis by Neutrase and Influence of Hydrolysates on the Activity of Alcohol Dehydrogenase

GUO Qing-qi, ZHANG Nai-xun, WANG Qun, WANG Sha, HE Fu-gui  
(School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** Protein hydrolysis of defatted corn gluten by neutrase was optimized using response surface methodology in this study. Results showed that the best hydrolysis conditions were found to be 3.4 h, 1.25%, 6.95 and 1:23 (*m/V*) for hydrolysis time, enzyme/substrate ratio, pH and material/liquid ratio, respectively. Under these conditions, the predicted and actual values of degree of hydrolysis (DH) were 16.51% and  $(16.38 \pm 0.11)\%$ , respectively. The corn protein hydrolysate prepared under the optimal conditions activated alcohol dehydrogenase by  $(21.23 \pm 0.17)\%$ . Amino acid analysis showed higher contents of alanine and leucine in the hydrolysate.

**Key words:** corn proteins; neutrase; hydrolysis; response surface methodology; alcohol dehydrogenase

中图分类号: TS213.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)13-0170-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201313037

玉米麸质是湿法生产玉米淀粉时的主要副产物之一<sup>[1-2]</sup>, 虽然其蛋白质含量达60%以上<sup>[3]</sup>, 但由于水溶性差<sup>[4]</sup>、加工性能不好, 有异味并且营养价值不高<sup>[5]</sup>, 因此主要作为低值的饲料使用<sup>[6-7]</sup>。近来研究表明, 将玉米中的蛋白质采用蛋白酶水解后, 可生成分子质量小但活性很高的玉米肽, 具有良好的功能特性<sup>[8]</sup>, 例如具有解酒的效果。

由于在碱性条件下玉米麸质中的蛋白质溶解度较高, 更容易发生酶解作用, 因此有关酶解玉米蛋白制备玉米肽的实验, 多数采用的是碱性蛋白酶<sup>[9-10]</sup>。但研究发现玉米蛋白的水解度与解酒效果功能并非呈现简单的正相关关系, 有研究表明中性蛋白酶制备的水解液虽然水解度相对低, 但解酒效果更好<sup>[11-12]</sup>。因此本实验考察了中性蛋白酶水解玉米蛋白时相关因素对水解度的影响, 并采用响应面分析方法对中性蛋白酶水解玉米蛋白的工

艺条件进行了优化, 对制备出的玉米蛋白水解液的氨基酸的组成和对乙醇脱氢酶活性的影响进行了研究, 目的是充分利用玉米麸质这种副产物, 制备醒酒功能肽饮品, 而且这种功能性肽醒酒饮品与目前市售的解酒、醒酒类药物不同, 属于天然绿色保健食品, 安全性高, 可以使玉米蛋白增值, 为商业化生产玉米醒酒肽饮品提供技术参数。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

玉米麸质由哈尔滨工业大学高新玉米淀粉糖公司提供, 蛋白质含量58.3%, 过60目筛备用; 中性蛋白酶、乙醇脱氢酶 德国Novo公司; 所用化学试剂均为分析纯。

收稿日期: 2012-04-01

基金项目: 教育部东北林业大学大学生创新训练项目(11102250018)

作者简介: 郭庆启(1978—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为植物化学成分。E-mail: qingqigu@126.com

## 1.2 仪器与设备

TU-1800SPC紫外分光光度计 北京普析通用公司; RE-52A真空旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂; SHB-3循环水多用真空泵 郑州杜甫仪器厂; PHS-3C型酸度计 上海雷磁仪器厂; TDL-5离心机 上海安亭科学仪器厂; ALPHA-1真空冻干机 德国Christ公司; Foss Kjeltec2300型定氮仪; Hitachi835-50氨基酸分析仪 日本Hitachi公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 玉米蛋白的提取

对50.0g玉米麸质进行蛋白质的提取,提取工艺条件为:提取温度40℃、提取时间40min、提取pH9.0、料液比1:15(浸提液为0.1mol/L的NaOH溶液与95%乙醇溶液的混合液,体积比为45:55),搅拌速率30r/min,离心机转速4000r/min离心15min<sup>[13]</sup>,离心结束后,取上清液按1:1体积加入蒸馏水,然后调节溶液pH值至6.0,按体积比5:1加入2g/100mL的NaCl溶液进行盐析,将盐析液在4000r/min条件下离心10min,取沉淀低温烘干,粉碎,过80目筛,测定此工艺条件下的制备出的玉米分离蛋白的蛋白质含量为(90.10±0.17)%。

### 1.3.2 玉米蛋白酶解条件的优化

取5.0g玉米分离蛋白于三角瓶中,用一定比例的蒸馏水搅拌溶解,在100℃条件下预处理30min后冷却至45℃,调节溶液的pH值,并按一定的酶与底物比加入中性蛋白酶,采用NaOH溶液和恒温水浴控制溶液的pH值和温度保持恒定,水解一定时间后沸水浴灭酶,过滤,取滤液1mL定容至50mL进行水解度的测定。同时分别考察酶与底物比、料液比、酶解pH值和酶解时间4个因素对水解度的影响,在单因素试验研究的基础上,进行响应面优化分析。

### 1.3.3 玉米蛋白酶解液的水解度、氨基酸含量测定

水解液水解度的测定采用茚三酮法<sup>[14]</sup>,水解液中蛋白质含量的测定采用微量凯氏定氮法。采用氨基酸自动分析仪分析玉米蛋白水解液的氨基酸组成。

### 1.3.4 玉米蛋白酶解液对乙醇脱氢酶活性的影响

采用瓦勒-霍赫法测定水解液对乙醇脱氢酶活性的影响<sup>[15]</sup>,在离心管中加入pH8.8的焦磷酸钠缓冲溶液1.5mL,氧化性辅酶I 1.0mL,11.5%的乙醇溶液0.5mL,玉米蛋白水解液0.1mL,均匀混合后在25℃条件下保温5min,加入0.25U/mL的乙醇脱氢酶溶液0.1mL,340nm波长处测定吸光度,每隔10s测定一次,连续测定5min,以反应最初的切线部分作图,以蒸馏水为空白对照。

## 2 结果与分析

### 2.1 中性蛋白酶酶解条件的单因素试验结果

#### 2.1.1 不同酶与底物比对水解度的影响

当酶解液的pH值为7.0、酶解时间3h、料液比1:20(m/V)

时,不同的酶与底物比条件下的中性蛋白酶酶解玉米蛋白的水解度如图1所示。

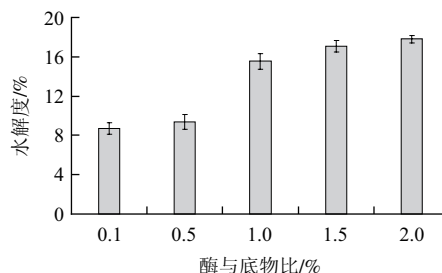


图1 不同酶与底物比对水解度的影响

Fig.1 Effect of [E]/[S] ratio on the degree of hydrolysis of corn proteins

由图1可知,随着酶与底物比的增加,水解度一直呈现上升的趋势,当酶与底物比为1%时,水解度为(15.53±0.78)%,然后水解度的增加趋于平缓,考虑酶成本的因素,确定中性蛋白酶酶解玉米蛋白的最适酶与底物比为1%。

#### 2.1.2 不同料液比对水解度的影响

当酶解pH7.0、酶解时间3h、酶与底物比1%时,不同料液比条件下的中性蛋白酶酶解玉米蛋白的水解度如图2所示。

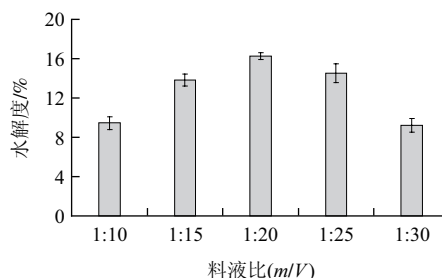


图2 不同料液比对水解度的影响

Fig.2 Effect of material/liquid ratio on the degree of hydrolysis of corn proteins

由图2可知,当料液比小于1:20时,随着料液比的增加,玉米蛋白水解度由料液比1:10时的(9.67±0.65)%上升至1:20时的(15.81±0.37)%,而随着料液比的继续增加,水解度呈现下降的趋势,当料液比为1:30时,水解度下降为(9.12±0.70)%,所以确定酶解时最佳的料液比为1:20。

#### 2.1.3 不同pH值对水解度的影响

当酶解时间3h、酶与底物比1%、料液比1:20时,不同pH值条件下的中性蛋白酶酶解玉米蛋白的水解度如图3所示。酶解时pH值的变化对玉米蛋白水解度的影响较显著,其最佳酶解pH值为7.0,此时水解度值为(15.43±0.34)%;当偏酸或偏碱方向移动时,水解度分别下降至pH6.0时的(2.21±0.37)%和pH8.0时的(5.70±0.45)%。这主要是由于中性蛋白酶的最适作用pH

值为7.0左右,当作用条件发生变化时,都会影响酶的活力,进而使水解度的数值产生明显下降。

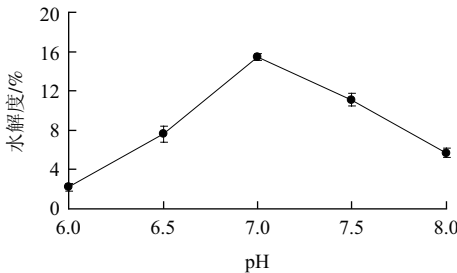


图3 不同pH值对水解度的影响

Fig.3 Effect of pH on the degree of hydrolysis of corn proteins

2.1.4 不同酶解时间对水解度的影响

当酶解pH7.0、酶与底物比1%、料液比1:20时,不同时间条件下的中性蛋白酶酶解玉米蛋白的水解度如图4所示。

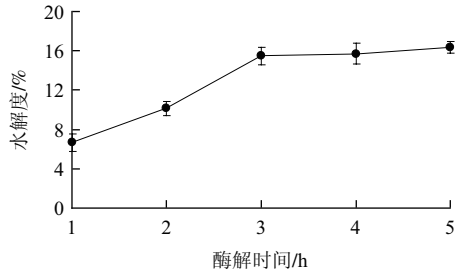


图4 不同酶解时间对水解度的影响

Fig.4 Effect of hydrolysis time on the degree of hydrolysis of corn proteins

由图4可知,采用中性蛋白酶酶解玉米蛋白时,随着酶解时间的增加水解度一直呈现上升的趋势,当酶解时间3h时,水解度的增加开始趋于平缓,确定最适的酶解时间为3h。

2.2 中性蛋白酶水解玉米蛋白工艺的响应面试验优化设计及分析

2.2.1 响应面试验优化方案及结果

表1 中性蛋白酶酶解玉米蛋白的响应面试验优化设计及其结果  
Table 1 Response surface experimental design and results for neutrase hydrolysis of defatted corn gluten

试验号	$x_1$ 酶解时间/h	$x_2$ 酶与底物比/%	$x_3$ 酶解pH	$x_4$ 料液比	y水解度/%
1	0(3)	0(1.0)	0(7.0)	0(1:20)	15.87
2	0	1(1.5)	1(7.5)	0	14.52
3	1(4)	0	0	1(1:25)	15.39
4	1	-1(0.5)	0	0	11.83
5	0	-1	0	1	13.26
6	1	0	0	-1(1:15)	13.53
7	-1(2)	1	0	0	13.57
8	0	0	0	0	16.23
9	0	0	1	-1	13.16
10	0	1	0	1	15.96
11	0	0	0	0	15.74
12	-1	0	0	1	11.94

续表1

试验号	$x_1$ 酶解时间/h	$x_2$ 酶与底物比/%	$x_3$ 酶解pH	$x_4$ 料液比	y水解度/%
13	0	0	-1(6.5)	1	14.72
14	0	0	0	0	15.93
15	-1	0	0	-1	12.89
16	0	-1	1	0	12.34
17	0	1	-1	0	14.56
18	0	-1	0	-1	12.65
19	-1	0	-1	0	12.64
20	-1	-1	0	0	11.65
21	1	1	0	0	14.34
22	0	-1	-1	0	11.76
23	-1	0	1	0	12.52
24	0	1	0	-1	12.56
25	1	0	1	0	14.12
26	0	0	1	1	13.47
27	0	0	0	0	16.16
28	1	0	-1	0	13.63
29	0	0	-1	-1	13.48

选取酶解时间、酶与底物比、酶解pH值和料液比4个因素为自变量,分别表示为 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ ,以水解度为响应值,根据Box-Behnken设计原理,在单因素试验结果的基础上设计响应面分析试验<sup>[16]</sup>,利用Design-Expert7.0设计响应面试验方案,以 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 为自变量,以水解度为响应值,测定结果见表1。

2.2.2 回归方程的建立与分析

通过统计分析软件SAS9.1对表1中试验数据进行二次多项式回归拟合,建立二次多元回归方程如下:

$$y = -262.524 + 4.93x_1 + 11.65233x_2 + 70.433x_3 + 1.61113x_4 + 0.295x_1x_2 + 0.305x_1x_3 + 0.1405x_1x_4 - 0.62x_2x_3 + 0.279x_2x_4 - 0.093x_3x_4 - 1.5905x_1^2 - 5.887x_2^2 - 4.927x_3^2 - 0.03882x_4^2$$

回归分析与方差分析结果见表2。

表2 响应面模型方差分析  
Table 2 Analysis of variance for the fitted regression model

变异来源	自由度	平方和	均方	F值	P值
模型	14	55.31	3.95	12.93	<0.0001
$x_1$	1	4.85	4.85	15.88	0.0014
$x_2$	1	12.04	12.04	39.42	<0.0001
$x_3$	1	0.036	0.036	0.12	0.7354
$x_4$	1	3.49	3.49	11.42	0.0045
$x_1x_2$	1	0.087	0.087	0.28	0.6019
$x_1x_3$	1	0.093	0.093	0.30	0.5897
$x_1x_4$	1	1.97	1.97	6.46	0.0235
$x_2x_3$	1	0.096	0.096	0.31	0.5837
$x_2x_4$	1	1.95	1.95	6.37	0.0243
$x_3x_4$	1	0.22	0.22	0.71	0.4143
$x_1^2$	1	16.41	16.41	53.72	<0.0001
$x_2^2$	1	14.05	14.05	46.00	<0.0001
$x_3^2$	1	9.84	9.84	32.22	<0.0001
$x_4^2$	1	6.11	6.11	20.00	0.0005
残差	14	4.28	0.31		
失拟项	10	4.11	0.41	9.85	0.0206
纯误差	4	0.17	0.042		
总和	28	59.58			

由表2可知, 方程 $F$ 值为12.93表明模型因变量与自变量之间的线性关系明显, 该模型回归极显著( $P<0.01$ ), 失拟项显著( $P<0.05$ )。该模型 $R^2=92.82\%$ ,  $R^2_{Adj}=85.65\%$ , 说明该模型与实验拟合较好, 自变量与响应值之间线性关系显著, 可以用于该反应的理论推测。由 $F$ 检验可以得到因子贡献率为:  $x_2>x_1>x_4>x_3$ , 即酶与底物比>酶解时间>料液比>酶解pH值。

$P$ 水平是检验编码变量对指标(水解度)的影响是否显著, 当 $P<0.05$ 时表明变量影响显著; 当 $P<0.01$ 时表明变量影响极显著; 当 $P>0.05$ 时表明影响不显著。从表2可以看出,  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_4$ 、 $x_1x_4$ 、 $x_2x_4$ 、 $x_1^2$ 、 $x_2^2$ 、 $x_3^2$ 和 $x_4^2$ 项达到了显著水平( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 其中酶解时间和料液比、酶与底物比和料液比间存在着交互作用, 具体交互作用如图5所示。

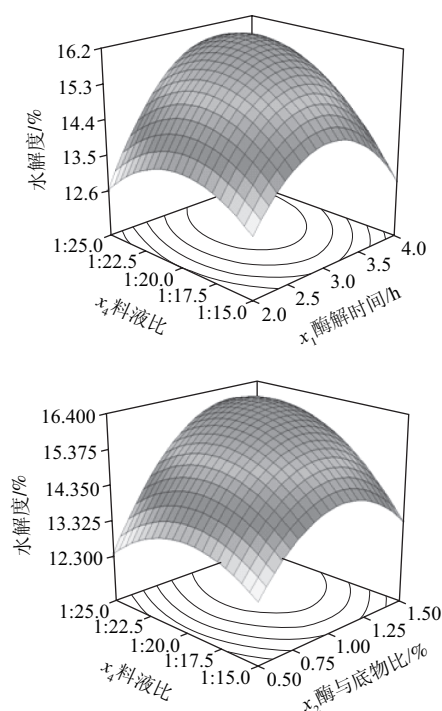


图5 酶解时间、料液比和酶与底物比交互作用影响水解度的响应曲面图

Fig.5 Response surface and contour plots of hydrolysis degree versus material/liquid ratio and hydrolysis time or versus material/liquid ratio and  $[E]/[S]$  ratio

应用响应面寻优分析方法对回归模型进行分析, 寻找最优响应结果为: 酶解时间3.4h、酶与底物比1.25%、酶解pH6.95、料液比1:23, 此工艺条件下的水解度最优预测值为16.51%, 在此工艺条件下进行3次平行实验, 得到水解度实测值为 $(16.38\pm0.11)\%$ , 预测值与实际测量值吻合度为99.21%, 说明响应值的实验值与回归方程预测值吻合良好。

### 2.3 玉米蛋白酶解液对乙醇脱氢酶活性的影响

取反应测定时最初的线性部分, 以 $A_{430nm}$ 对时间作

图, 计算 $\Delta A/10s$ 数值, 计算生成物NADH的消光系数为6.08, 乙醇脱氢酶活力定义为单位时间内生成NADH的纳摩尔数, 单位为nmol/min, 乙醇脱氢酶激活率的定义如下式。

$$\text{乙醇脱氢酶激活率}/\% = \frac{A_1 - A_2}{A_2} \times 100$$

式中:  $A_1$ 为加入酶解液时的活力;  $A_2$ 为未加酶解液时的活力。

经重复实验测定, 在最优条件下制备出得到玉米蛋白酶解液对乙醇脱氢酶的激活率为 $(21.23\pm0.17)\%$ , 上述结果表明中性蛋白酶解玉米蛋白所得的玉米肽溶液对乙醇脱氢酶具有激活作用, 而后者可以将乙醇转化成乙醛, 从而降低人体摄入酒精过度而引起的酒精中毒, 能够有效的促进血清中乙醇的代谢, 达到醒酒解酒的目的<sup>[17]</sup>。隋玉杰等<sup>[11]</sup>研究发现, 利用中性蛋白酶解玉米蛋白, 当水解度为 $(5.60\pm0.07)\%$ 时, 对乙醇脱氢酶的激活率最高可达 $(35.75\pm0.01)\%$ , 本实验结果明显低于此激活率结果, 这表明过高的水解度不利于肽的醒酒活性, 进一步表明采用中性蛋白酶解时的水解度和醒酒功能之间没有线性关联, 通过响应面优化可以控制水解度的范围, 选择或控制其水解度范围, 使其产生具有高活性解酒功能的玉米肽。而吴晖等<sup>[10]</sup>采用Alcalase碱性蛋白酶解玉米肽研究发现, 当反应物的水解度在10%~22.7%时, 对乙醇脱氢酶的激活率随着水解度的增加而增加, 当水解度最大为22.7%时, 乙醇脱氢酶的最大激活率为27.1%。

### 2.4 玉米蛋白水解液的氨基酸测定

采用氨基酸自动分析仪对中性蛋白酶水解玉米蛋白的得到的玉米肽进行氨基酸的组成分析, 结果如表3所示, 经中性蛋白酶水解玉米蛋白所得到的玉米肽中的丙氨酸和亮氨酸的含量分别为13.18%和17.53%, 其含量较高。

表3 玉米肽的氨基酸组成

Table 3 Amino acid composition of the corn protein hydrolysate under optimized hydrolysis conditions

氨基酸	Asp	Thr	Ser	Glu	Pro	Gly	Ala	Cys	Val
含量/%	4.92	2.66	7.97	20.39	10.22	3.27	13.18	0.66	3.40
氨基酸	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	
含量/%	1.77	3.40	17.53	3.45	3.85	0.71	1.33	1.29	

注: 氨基酸含量总和为100%。

研究<sup>[17-18]</sup>表明, 人体摄入过多酒精时所引起的酒精中毒是由于大量的酒精代谢时需要消耗掉很多的NAD<sup>+</sup>, 结果是人体重要的三羧酸循环和脂肪酸氧化代谢过程缺少足够的NAD<sup>+</sup>使反应连续化进行, 使人体代谢产生异常。而丙氨酸和亮氨酸能够使氨基和含碳物质从肌肉转化到肝脏中, 有足够的NAD<sup>+</sup>能够参与到三羧酸循环中, 从而能够降低血清中乙醇的体积分数, 由于水解得到的



玉米肽中的丙氨酸和亮氨酸含量较高,能够产生足够的 $\text{NAD}^+$ ,因此具有降低乙醇体积分数的功能,同时防止以 $\text{NAD}^+$ 为辅酶的乙醇脱氢酶竞争性失活,这与玉米肽能够提高乙醇脱氢酶的激活率的测定结果相一致。Yamaguchi等<sup>[19]</sup>认为玉米肽的醒酒活性要高于豌豆肽、小麦肽的原因是它能够增加血清中丙氨酸和亮氨酸的含量,尤其是亮氨酸。本实验测定的结果与Yamaguchi的测定值比较发现,亮氨酸的含量比文献中的13.41%含量要高。

### 3 结 论

3.1 本实验通过响应面法对中性蛋白酶酶解玉米蛋白的工艺参数进行了优化,得到最佳的酶解工艺条件为:酶解时间3.4h、酶与底物比1.25%、酶解pH6.95、料液比1:23,在此工艺条件下测得水解度为 $(16.38 \pm 0.11)\%$ ,模型预测值与实测值的吻合度为99.21%。

3.2 对最优水解工艺条件下制备出的玉米蛋白酶解液进行了相关功能性质的研究,结果表明以中性蛋白酶酶解得到的玉米蛋白酶解液对乙醇脱氢酶的激活率为 $(21.23 \pm 0.17)\%$ ,玉米肽的氨基酸组成中丙氨酸和亮氨酸的含量较高,分别为13.18%和17.53%,二者可以间接降低血清中乙醇的体积分数。

#### 参考文献:

- [1] YAMAGUCHI M, TAKEUCHI M, EBIHARA K. Inhibitory effect of peptide prepared from gluten meal on 7,12-dimethylbenz[a] anthracene-induced mammary tumor progression in rats[J]. Nutrition Research, 1997, 17(7): 1121-1130.
- [2] SHUKLA R, CHERYAN M. Zein: the industrial protein from corn[J]. Industrial Crops and Products, 2001, 13: 171-192.
- [3] KIM J N, WHANG J H, KIM K M, et al. Preparation of corn gluten hydrolysate with angiotensin I converting enzyme inhibitory activity and its solubility and moisture sorption[J]. Process Biochemistry, 2004, 39: 389-994.
- [4] 郑冬梅, 李升福, 孔保华. 玉米蛋白水解条件的优化研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 52-56.
- [5] LIN F, CHEN L, LIANG R, et al. Pilot-scale 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: 801-807.
- [6] 付萍, 杨铭, 陈颖丽, 等. 玉米肽对小鼠酒精性肝损伤保护作用的研究[J]. 中国中医药科技, 2008, 15(2): 115-116.
- [7] KILIÇ APAR D, ÖZBEK B. Corn gluten hydrolysis by alcalase: calibration of pH-Stat[J]. Food and Bioproducts Processing, 2011, 89: 500-503.
- [8] SUH H J, WHANG J H, KIM Y S, et al. Preparation of angiotensin I converting enzyme inhibitor from corn gluten[J]. Process Biochemistry, 2003, 38: 1239-1244.
- [9] POPINEAU Y, HUCHET B, LARRÉ C, et al. Foaming and emulsifying properties of fractions of gluten peptides obtained by limited enzymatic hydrolysis and ultrafiltration[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 35: 327-335.
- [10] 吴晖, 李丽丽, 李晓凤, 等. 非水相中固定化酶水解制备玉米肽的体外醒酒活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(12): 37-41.
- [11] 隋玉杰, 何慧, 王进, 等. 中性蛋白酶及碱性蛋白酶制备玉米粗肽的醒酒活性比较[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 102-106.
- [12] 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, 25(5): 54-58.
- [13] 郭庆启, 张娜, 赵新淮. 基于钙离子诱导的大豆蛋白分级技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 161-164.
- [14] 赵新淮, 冯志彪. 蛋白质水解物水解度的测定[J]. 食品科学, 1994, 15(11): 65-67.
- [15] 李文哲, 芦洁, 孙晓宇, 等. 几种中药提取物和药物对乙醇脱氢酶活性影响的研究[J]. 中药材, 2006, 29(8): 816-818.
- [16] 郭庆启, 黄雨洋, 王振宇, 等. Box-Behnken响应面设计优化微波辅助提取大豆胚芽黄酮的工艺[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 214-216.
- [17] 王淑媛, 王素英. 中性蛋白酶酶解玉米肽及其醒酒活性研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(4): 60-64.
- [18] 鲁伟, 任国谱, 宋俊梅. 蛋白水解液中多肽含量的测定方法[J]. 食品科学, 2005, 26(7): 169-171.
- [19] YAMAGUCHI M, NISHIKORI F, YOSHIDA M, et al. Water soluble vegetable oligopeptides: comparative study on alcohol metabolism and plasma amino acid concentration in stroke-prone spontaneously hypertensiverats[J]. Journal of Food Biochemistry, 1998, 22(3): 227-244.