

# 不同底物浓度花生粕酶解产物特性的研究

李露芳, 赵谋明, 张佳男, 苏国万

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 花生粕是花生榨油后的副产物, 压榨过程中高度变性导致蛋白利用率较低。本文通过生物发酵技术诱导米曲霉分泌蛋白酶水解花生粕, 在不同底物浓度条件下酶解花生粕, 对比酶解产物的蛋白回收率、水解度、总糖回收率、分子量分布、游离氨基酸组成, 同时采用电子舌对富含呈味肽的酶解产物进行感官评价分析, 探究不同底物浓度条件下发酵花生粕的酶解产物特性, 并筛选适宜的酶解浓度。研究发现, 发酵花生粕经不同底物浓度酶解后, 蛋白回收率在 70.68%~84.14% 之间, 水解度在 30.04%~40.05% 之间; 酶解产物以小于 1 ku 的短肽为主 (87.57%~90.21%), 并含有较多游离氨基酸; 在呈味特性方面, 酶解液含有较强的鲜味。结果表明, 在料液比为 1:5 时, 获得较高的蛋白回收率、水解度以及较多小分子肽, 鲜味评分也相对较高。

**关键词:** 花生粕; 发酵; 酶解; 底物浓度; 呈味特性

文章编号: 1673-9078(2017)11-83-88

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.013

## Characteristics of Enzymatic Hydrolysis of Defatted Peanut Meal with Different Substrate Concentrations

LI Lu-fang, ZHAO Mou-ming, ZHANG Jia-nan, SU Guo-wan

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Defatted peanut meal is the main byproduct during peanut oil production, while high degree of denaturation in the press process leads to lower protein utilization. In this study, the peanut meal was hydrolyzated by proteases from *Aspergillus oryzae* induced by fermentation technology. The protein recovery rate, degree of hydrolysis, total sugar recovery, molecular weight ( $M_w$ ) distribution and free amino acid composition of hydrolysate with different substrate concentrations were compared. At the same time, the sensory evaluation of the hydrolyzate containing flavor peptide was carried out by the electronic tongue to investigate the characteristics of enzymatic hydrolysis of defatted peanut meal with different substrate concentrations and select the appropriate enzymatic concentration. The results showed that the protein recovery rate of the defatted peanut meal was between 70.68% and 84.14% and the degree of hydrolysis was between 30.04% and 40.05%. The peptides fractions <1 ku were the main component of the total peptides (87.57%~90.21%). The hydrolysate was rich in taste peptides and showed good umami tastes. In addition, when the ratio of material to liquid was 1: 5, the hydrolysate showed higher protein recovery and degree of hydrolysis, more small peptides and better umami taste.

**Key words:** defatted peanut meal; fermentation; enzymatic hydrolysis; substrate concentration; sensory characteristics

花生是我国重要作物之一, 在我国南北各地均有种植。花生加工利用的重要途径之一为榨取花生油, 随着花生生产和油脂加工业的发展, 花生粕等副产物的产量增加, 榨油后的高温花生饼约占籽仁量的 60% 左右<sup>[1]</sup>。花生粕是以脱壳花生果经提取油脂后的副产品, 为淡褐色或深褐色, 有淡花生香味, 形状为小块状或粉末状, 含有少量花生壳<sup>[2]</sup>, 梅娜等人对花生粕的化学成分进行分析<sup>[3]</sup>, 其总黄酮含量高达 1.095

收稿日期: 2017-05-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) (2013AA102201)

作者简介: 李露芳 (1993-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 苏国万 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品生物技术

mg/g, 蛋白质含量达 48.68%, 多糖含量为 32.50%, 灰分 5.61%, 维生素 E 0.871 mg/100 g, 氨基酸含量丰富、种类齐全, 总量为 37.504 g/100 g, 必需氨基酸 14.362 g/100 g, 并含有 Mg、K、Ca、Fe 和 Na 等多种矿质元素。花生粕虽富含蛋白质, 但由于在榨油过程中经过高温变性, 导致花生粕蛋白回收率不高, 目前多用于动物饲料的加工, 造成极大资源浪费。花生粕具有潜在的综合利用价值, 因此研究热点集中在其应用拓展上。例如对其植物蛋白进行酶解, 开发酶解产物的呈味特性和功能特性等。但由于花生粕中蛋白质、可溶性总糖含量高, 吸水性较强, 酶解深加工过程中易导致水耗多、能耗高和效率低等问题, 选择适宜的酶解浓度, 有利于提高酶解体系效率、降低生产成本、

拓展工业应用价值。

因此, 本文从提高花生粕酶解效率出发, 结合生物发酵技术对花生粕进行高浓度酶解, 通过对花生粕蛋白自身发酵分泌的酶系进行高效酶解, 获得花生蛋白呈味基料, 对比不同浓度花生粕酶解产物的蛋白回收率、水解度、总糖含量、分子量、游离氨基酸组成, 同时利用电子舌对富含呈味肽的水解产物进行感官评价, 筛选出较为有效的酶解浓度, 丰富工业化生产的理论依据。研究采用先酶解后稀释的研究路线, 以探究在高浓度酶解条件下, 降低能量消耗的同时, 提升花生粕回收利用率、从而强化工业生产中的经济可行性, 赋予花生粕开发应用以更大的灵活性。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

花生粕购于广州市榨油厂, 参考一般酱油发酵方法接种酱油曲精后 30 °C 条件下发酵 40 h, 粉碎发酵花生粕后冷藏保存; 酱油曲精为 3.042; 购于上海酿造一厂; 其他化学试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器

EL204/EL3002 电子天平, 瑞士梅特勒-托利多集团; SHA-C 水浴恒温振荡器, 江苏省金坛市农仪器厂; GL-21M 高速冷冻离心机, 长沙湘仪离心机仪器有限公司; KND-2C 型定氮仪, 上海纤检仪器有限公司; 916Ti-Touch 氨氮仪, 瑞士万通中国有限公司; 紫外可见分光光度计, 尤尼科(上海) 仪器有限责任公司; Waters600 高效液相色谱仪, 美国 Waters 公司; A300 自动氨基酸分析仪, 曼默博尔(德国) 有限公司; TS-5000Z 电子舌, 北京盈盛恒泰科技有限责任公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 发酵-酶解流程

花生粕→灭菌→冷却→接种→发酵→发酵花生粕→粉碎→酶解

$$\text{蛋白回收率 (\%)} = \frac{\text{上清液含氮量} \times \text{上清液体积}}{\text{原料含氮量} \times \text{原料量}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{水解度 (\%)} = \frac{\text{酶解液游离氨态氮} - \text{空白液游离氨态氮} - \text{原料中游离氨态氮}}{\text{原料总氮}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{总糖回收率 (100\%)} = \frac{\text{酶解液葡萄糖当量}}{\text{原料葡萄糖当量}} \times 100\% \quad (3)$$

水和淀粉→灭酶→稀释→冷却→离心→发酵花生粕酶解液

发酵后花生粕与去离子水按不同料液比(质量)混合, 比例分别为 1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7 和 1:8, 置于恒温水浴振荡器中, 55 °C 下水浴振荡 18 h, 花生粕利用其发酵时自身分泌的酶系进行酶解, 再经沸水浴 15 min 灭酶, 冷却后统一稀释至料液比为 1:8, 在 4 °C、8000 r/min 条件下离心 20 min, 取上清液即为花生粕酶解液。

#### 1.3.2 蛋白回收率的测定

取发酵花生粕及发酵花生粕酶解液, 依照凯氏定氮法<sup>[4]</sup>测定其蛋白质含量, 计算方法见公式(1)。

#### 1.3.3 水解度的测定

按照甲醛电位滴定法<sup>[5]</sup>测定酶解液中游离氨态氮的含量, 计算方法见公式(2)。

#### 1.3.4 总糖回收率的测定

采用苯酚-硫酸法<sup>[6]</sup>测定酶解液中可溶性总糖的含量。测得的葡萄糖标准曲线为:  $y=15.475x+0.0951$  ( $R^2=0.9946$ ), 其中  $y$  为吸光度,  $x$  为葡萄糖含量(mg)。总糖回收率计算方法见公式(3)。

#### 1.3.5 分子量分布的测定

采用高效液相色谱进行酶解液肽分子量分布的测定。参考 GB/T 22492-2008<sup>[7]</sup>。

色谱条件如下: 色谱柱采用 TSK gel G200SWXL, 流动相为 0.1% 三氟乙酸水溶液与乙腈按照 8:2 混合, 检测波长为 220 nm, 流速 1 mL/min, 检测时间 20 min, 进样体积 20  $\mu$ L。

标准肽样品: 牛血清白蛋白(68000 u)、马心细胞色素 C(12384 u)、抑肽酶(6511 u)、Gly-Gly-Gly(189 u), 相对分子量对数值与洗脱体积拟合直线方程为  $y=-1.7549x+13.842$  ( $R^2=0.9937$ ), 其中,  $y$  为标准肽分子量对数,  $x$  为洗脱体积。

#### 1.3.6 游离氨基酸的测定

游离氨基酸采用氨基酸分析仪进行测定。前处理过程及检测方法参考郑淋<sup>[8]</sup>和庄明珠<sup>[9]</sup>等人。

### 1.3.7 电子舌味觉分析

利用电子舌对花生粕酶解液进行味觉评价,将不同浓度酶解液加超纯水统一稀释至蛋白浓度为 1 mg/mL,置于电子舌专用烧杯中,于室温条件下进行数据采集。评价指标包括鲜味、苦味、咸味、酸味、涩味和饱满感。设置采集条件为:每个样本进行 4 次采集,每次采集时间为 120 s,每次采集结束后以味觉标准溶液进行两步清洗,待测样品和清洗液按照交替的序列进行分析检测。

电子舌基准物:鲜味(味精)、苦味(单宁酸)、咸味(氯化钠)和酸味(柠檬酸)。

### 1.3.8 统计分析

每个实验重复 3 次平行,采用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析,差异显著性分析采用 ANOVA,显著性水平为 0.05。采用 Excel 软件进行作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蛋白质回收率

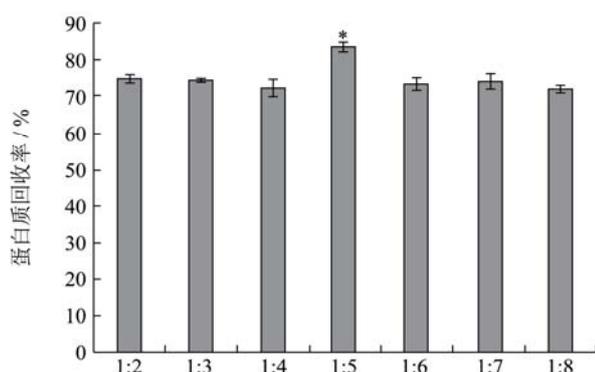


图1 不同料液比对花生粕酶解液蛋白回收率的影响

Fig.1 Effects of different ratios of material to liquid on the protein recovery rate of the defatted peanut meal hydrolysates

注: \*表示料液比为 1:5 的花生粕酶解液蛋白回收率有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

由图 1 可见,发酵花生粕在不同底物浓度下酶解所得蛋白回收率在 70.68%~84.14%之间。其中,当花生粕与去离子水的料液比在 1:5 时,蛋白回收率达到最高(84.14%)。而在其他浓度的酶解条件下,蛋白质回收率无显著差异 ( $p > 0.05$ ),在 70.68%~74.25%之间。蛋白质回收率是指经过蛋白酶水解后得到的蛋白质或总氮与原料蛋白质或总氮的比例,常用于表征蛋白酶解反应产物对原料蛋白的利用率<sup>[10]</sup>。当料液比在 1:5 时,花生粕的酶解获得最高效率的利用率,原因可能是:一方面,底物浓度过高、体系流动性过差,会抑制酶解反应的进行,适量的去离子水存在能够有利于发酵所分泌的蛋白酶在酶解体系中运动,更充分地

酶解花生粕;另一方面,当料液比降低,在底物含量一定的条件下,蛋白酶与花生粕间接接触几率减少,酶解不充分<sup>[11]</sup>,因此,适宜的料液比才能够避免多重因素的影响,获得较高的蛋白回收率。

### 2.2 水解度

由图 2 可知,发酵花生粕在不同底物浓度下酶解的水解度在 30.04%~40.05%之间。其中,料液比在 1:5 时,获得最高的水解度,达 40.05%。当料液比在 1:2~5 范围时,酶解浓度相对较高,水解度较高;而料液比在 1:6~8 时,水解度较低。可能是因为底物中蛋白浓度一定的情况下,在中高浓度的体系下酶解,发酵花生粕中的酶更易与花生粕蛋白充分接触,从而作用于酶切位点,对肽段切割程度更大,获得更高的水解度。

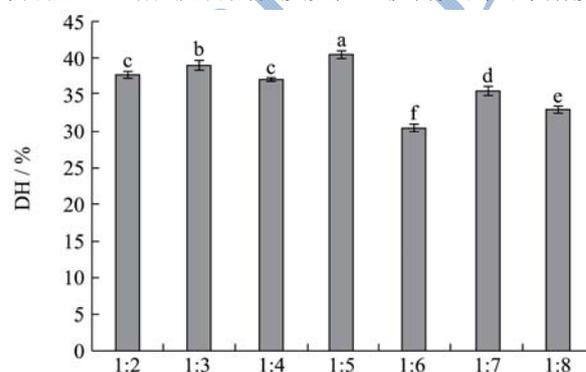


图2 不同料液比对花生粕酶解液水解度的影响

Fig.2 Effects of different ratios of material to liquid on the degree of hydrolysis of the defatted peanut meal hydrolysates

注:字母不同者表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.3 总糖回收率

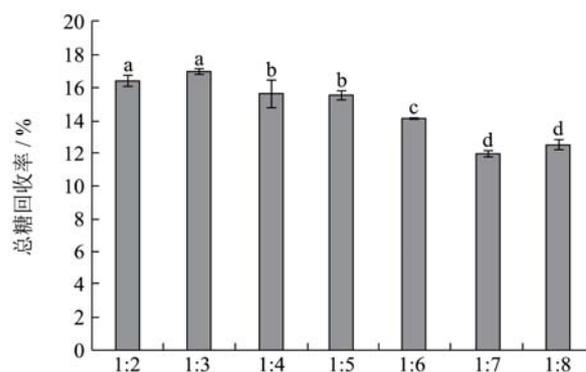


图3 不同料液比对花生粕酶解液总糖含量的影响

Fig.3 Effects of different ratios of material to liquid on the total sugar recovery of the defatted peanut meal hydrolysates

注:字母不同者表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

由于米曲霉的酶系较为丰富,发酵过程中除了分泌蛋白酶,还会产生淀粉酶、纤维素酶等,因此在蛋白酶作用于蛋白质大分子物质时,淀粉和纤维物质等

也会被水解成寡糖或双糖等可溶性糖<sup>[12]</sup>。

由图 3 可见，总糖的回收率在 11.67%~16.76% 之间，且在较高的料液比下，总糖的回收率较高，主要是因为较高浓度的酶解体系下，酶解过程中体系 pH 值下降较大，而淀粉酶、纤维素酶等酶类在偏酸性环境的活性较高，因此能够促进淀粉和纤维素等的水解，生成的可溶性糖含量较多。

### 2.4 分子量分布

由表 1 可见不同料液比酶解条件下花生粕酶解液的肽分子量分布无显著差异 ( $p>0.05$ )。根据分子量大小，将花生粕酶解产物分成 5 个组分，包括 >10 ku、5~10 ku、3~5 ku、1~3 ku、<1 ku。各浓度酶解液中肽

分子量小于 1 ku 的短肽占主要部分，所占百分比在 87.57%~90.21% 之间，表明花生粕蛋白在生物酶解过程中得到了充分的降解，均获得了较多小分子肽及游离氨基酸，大分子肽含量较少。其中，料液比为 1:2 的酶解液，其小于 1 ku 的肽段所占百分比最低，为 87.57%，说明在过高浓度下，酶解体系流动性最低，酶分子与底物作用不充分，无法获得最优酶解效果；而料液比在 1:5 时，小于 1 ku 的肽段所占百分比最高，达 90.21%，与该样液蛋白回收率、水解度测定的结果是相符的，说明在该浓度下酶解效果较好，花生粕蛋白经降解后获得更多的小分子肽。

### 2.5 游离氨基酸组成

表 1 不同料液比花生粕酶解液的肽分子量分布

Table 1 The molecular weight distribution of peptides from the defatted peanut meal hydrolysates with different ratios of material to liquid

分子量/ku	liquid						
	不同料液比酶解液/%						
	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8
>10	2.96	0.82	0.82	0.77	1.03	0.83	0.83
5~10	0.95	0.89	0.90	0.68	0.70	0.80	0.54
3~5	1.24	1.37	1.82	1.10	1.13	1.40	0.98
1~3	7.28	7.69	7.28	7.24	7.05	7.24	7.50
<1	87.57	89.22	89.71	90.21	90.08	89.74	90.14

表 2 不同料液比花生粕酶解液中的游离氨基酸组成

Table 2 The composition of free amino acids of the defatted peanut meal hydrolysates with different ratios of material to liquid

氨基酸	不同料液比酶解液/%						
	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8
Asp	8.85	9.45	10.09	10.75	10.00	9.08	9.29
Thr	1.54	1.75	1.71	1.77	1.66	2.87	1.54
Ser	3.39	3.72	3.73	3.78	3.65	4.85	3.44
Glu	17.53	18.04	19.66	19.03	18.41	17.26	17.42
Gly	3.21	2.42	2.81	2.75	2.58	3.36	3.05
Ala	3.00	3.84	3.51	3.58	3.62	4.10	4.82
Val	2.92	3.76	3.47	3.66	3.52	3.31	3.87
Cys	0.36	0.35	0.58	0.52	0.40	0.95	1.04
Met	1.01	1.18	1.05	1.10	1.10	0.94	1.12
Ile	3.49	4.15	3.83	3.95	3.81	3.66	4.11
Leu	6.82	7.64	7.31	7.46	7.20	6.73	7.51
Tyr	5.58	3.43	3.81	4.47	3.81	4.15	2.09
Phe	8.09	9.34	8.32	9.06	8.73	7.78	8.59
His	1.36	1.72	2.34	1.57	1.73	1.61	1.71
Lys	1.36	1.61	1.37	1.43	1.42	2.84	3.31
Arg	12.34	14.62	14.18	14.57	16.74	16.36	14.31
Pro	19.14	12.99	12.23	10.55	11.63	10.15	12.80

转下页

接上页

鲜味氨基酸	26.38	27.48	29.75	29.79	28.41	26.34	26.70
亲水氨基酸	14.09	11.67	12.64	13.28	12.09	16.18	11.15
疏水氨基酸	44.46	42.89	39.71	39.36	39.61	36.68	42.82
碱性氨基酸	15.07	17.95	17.89	17.57	19.88	20.81	19.33

氨基酸本身具有滋味或参与食品中呈味肽的组成, 从而影响食品风味。研究表明, 植物或动物蛋白酶解或发酵所获得的大多数肽组分具备强烈的鲜味, 对酶解液中的鲜味形成作用很大<sup>[13]</sup>, 鲜味肽的氨基酸组成主要包括天冬氨酸、谷氨酸。而肽的苦味程度受其氨基酸疏水性的影响, 当蛋白酶作用于蛋白质后, 暴露出其内部疏水基团, 继而与苦味受体结合产生苦味<sup>[14]</sup>, 疏水性氨基酸残基的比例愈高, 苦味可能愈强<sup>[15]</sup>, 疏水性氨基酸包括丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和脯氨酸。而亲水性氨基酸主要有苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、半胱氨酸及酪氨酸。碱性氨基酸包括组氨酸、赖氨酸和氨酸, 对肽的呈味关系也有一定的影响, 研究发现小分子肽中碱性氨基酸残基的比例越高, 其苦味可能越强<sup>[16]</sup>。

由表 2 可见, 花生粕经不同料液比酶解后的游离氨基酸组成种类相同、比例相近。其中, 除了料液比为 1:2 的酶解液中脯氨酸含量最高, 其余料液比所得酶解液中谷氨酸含量均最高, 在 17.3%~19.7% 之间, 料液比为 1:4 时谷氨酸含量最高, 为 19.66%。酶解液中鲜味氨基酸组分在 26.34%~29.79% 间, 其中料液比为 1:5 的花生粕酶解液中鲜味氨基酸组分的百分比含量最高, 达 29.79%, 猜测其鲜味评分较高。此外, 发现酶解液的疏水性氨基酸含量也较高, 在 39.61%~44.46% 间, 其中, 料液比为 1:2 的酶解液中疏水性氨基酸组分达 44.46%, 猜测其苦味可能相对较强。

## 2.6 电子舌分析

采用雷达图对 7 个不同料液比酶解液进行滋味表征, 包括鲜味、苦味、酸味、鲜味、涩味和丰满感。结果见图 4。

由图 4 可见, 不同料液比的花生粕酶解液中, 涩味、鲜味、丰满感接近, 但苦味及酸味有所区别。其中, 料液比为 1:4 的花生粕酶解液表现出最大的苦味值, 达 18.73, 其他料液比酶解液苦味值在 9.34~17.8 之间, 其中, 料液比为 1:2 的酶解液苦味值最低。对比游离氨基酸结果分析发现, 1:2 的疏水性氨基酸组分相对最高, 其苦味反而最弱, 原因可能是: 1、由于料液比为 1:2 时, 酶解不够充分, 暴露出来的疏水性氨基酸残基较少, 还有一部分疏水性氨基酸基团被包

裹在亲水性蛋白质内部<sup>[15]</sup>; 2、苦味特性并不只受疏水性游离氨基酸含量的影响, 同时还受一些其他基团及氨基酸排列顺序的影响。

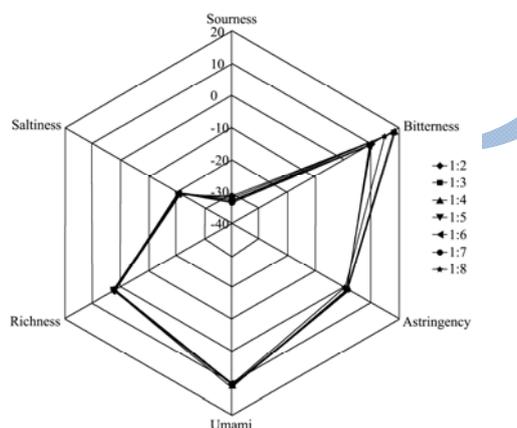


图 4 不同料液比花生粕酶解液的滋味特性雷达图

Fig.4 Sensory characteristic radar chart of the defatted peanut meal hydrolysates with different ratios of material to liquid

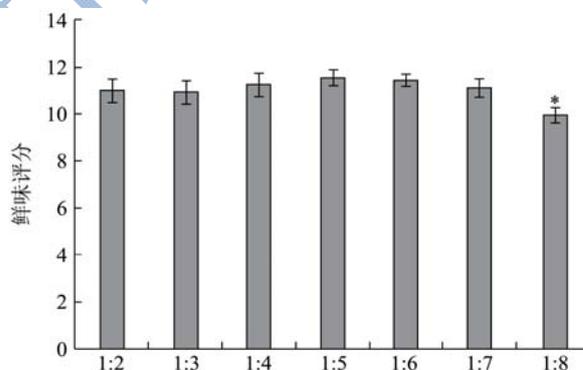


图 5 不同料液比花生粕酶解液的鲜味评分

Fig.5 The umami scores of peanut meal hydrolysates with different ratios of material to liquid

注: \*表示料液比为 1:8 的花生粕酶解液鲜味有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

由图 5 可见, 高浓度花生粕酶解液的鲜味评分在 9.93~11.52 之间, 表现出先上升后下降的趋势。其中, 料液比为 1:5 的花生粕酶解液呈现最高的鲜味评分, 达 11.52; 同时, 料液比为 1:4 和 1:6 的酶解液鲜味评分也较高; 这与鲜味游离氨基酸的测定结果是相符的, 可见, 鲜味氨基酸分布特性对酶解液鲜味特性具有良好的相关性。料液比为 1:8 时, 鲜味评分最低, 可能是由于鲜味肽的组成特点是较高比例的鲜味氨基酸和亲水性氨基酸, 而在该料液比下鲜味氨基酸和亲水性

氨基酸组分含量都较低<sup>[12]</sup>。

### 3 结论

本论文从较高浓度酶解的角度上出发,对发酵花生粕进行不同料液比酶解,选取料液比(质量)为1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7和1:8,研究发现花生粕酶解液蛋白回收率在70.68%~84.14%之间,水解度在30.04%~40.05%之间,酶解产物中肽分子量小于1 ku的短肽占主要成分,所占百分比在87.57%~90.21%之间,不同料液比酶解液均含较多游离氨基酸,且氨基酸组成与滋味特性相关性良好;此外发现,在料液比为1:5时,获得较高的蛋白回收率、水解度及小分子肽,鲜味评分也相对较高。本文研究为花生粕的回收利用提供了新的理论依据,即在底物用量相同的情况下,在高浓度条件下酶解后再稀释,赋予了花生蛋白呈味基料的生产以更大的生产灵活性、更强的经济可行性。

### 参考文献

- [1] 周瑞宝.中国花生生产、加工产业现状及发展建议[J].中国油脂,2005,30(2):5-9  
ZHOU Rui-bao. Current situation of peanut production and processing industry and development suggestions in China [J]. China Oils and Fats, 2005, 30(2): 5-9
- [2] 刘祥,马艳伟.花生粕的品质鉴定与掺假识别[J].河南畜牧兽医,2005,6:35  
LIU Xiang, MA Yan-wei. Quality and adulteration identification of peanut meal [J]. Henan Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2005, 6: 35
- [3] 梅娜.花生粕化学成分的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007  
MEI Na. Studies on the chemical constituents of peanut meals [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007
- [4] 大连轻工业学院,华南理工大学.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,1990  
Dalian institute of Light Industry, South China University of Technology. Food analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1990
- [5] Zhang J, Xu J, Liu L, et al. Physicochemical and sensory characteristics of soya protein isolate hydrolysates with added substrate-like amino acids [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(1): 69-77
- [6] C M J Brands, Van B, M A J S. Kinetic modeling of reactions in heated monosaccharide-casein systems [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(23): 6725-6739
- [7] GB/T 22492-2008,大豆肽粉[S]  
GB/T 22492-2008, Soy peptides powder [S]
- [8] 庄明珠.酱油鲜味肽的分离纯化鉴定及呈味特性研究[D].广州:华南理工大学,2015  
ZHUANG Ming-zhu. The purification and identification of umami peptides from soy sauce and the study of its taste characteristic [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015
- [9] Lin Z, Su G, Ren J, et al. Isolation and characterization of an oxygen radical absorbance activity peptide from defatted peanut meal hydrolysate and its antioxidant properties [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(21): 5431-5437
- [10] 苏国万.花生粕酶解及其产物呈味特性研究[D].广州:华南理工大学,2012  
SU Guo-wan. Study on enzymatic hydrolysis of defatted peanut meal and sensory taste of its hydrolysate [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012
- [11] 盖云霞.花生粕脱毒、酶解及其酶解过程中氨基酸释放规律的研究[D].广州:华南理工大学,2008  
GAI Yun-xia. Detoxification, enzymatic hydrolysis of peanut dregs and release of amino acid in its hydrolysate [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2008
- [12] 张佳男.花生鲜味肽的释放及其鲜味强度提升作用研究[D].广州:华南理工大学,2016  
ZHANG Jia-nan. The study of releasing-regulation and umami promotion of peanut umami peptide [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016
- [13] Schlichtherle-Cerny H, Amadò R. Analysis of taste-active compounds in an enzymatic hydrolysate of deamidated wheat gluten [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(6): 1515-1522
- [14] 张铭霞,陈思羽,李露,等.食品中呈味肽类组分研究进展[J].中国食品学报,2016,16(2):209-217  
ZHANG Ming-xia, CHEN Si-yu, LI Lu, et al. Research progress in flavor peptides in food [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(2): 209-217
- [15] Pripp A H, Ardo Y. Modelling relationship between angiotensin-(I)-converting enzyme inhibition and the bitter taste of peptides [J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 880-888
- [16] 苗晓丹,刘源,仇春泱,等.呈味肽构效关系研究进展[J].食品工业科技,2014,35(6):357-362  
MIAO Xiao-dan, LIU Yuan, QIU Chun-yang, et al. Research progress in the structure-activity relationship of flavor

现代食品科技