

# 高压均质对大米蛋白功能特性及物化特性的影响

## Effects of high pressure homogenization on the functional and physicochemical properties of rice protein

张晶 丁芳 邹晴晴 陆宁

ZHANG Jing DING Fang ZOU Qing-qing LU Ning

(安徽农业大学茶与食品科技学院,安徽合肥 230036)

(College of Tea and Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

**摘要:**试验研究了不同均质压力(0~120 MPa)对浓度4%的大米蛋白功能特性和物化特性的影响。结果表明:随着压力的增加,大米蛋白的溶解性显著增加( $P < 0.01$ ),且在120 MPa下达到最大,为82.09  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;乳化活性指数先增大后降低,在80 MPa下达到最大,为14.82  $\text{m}^2/\text{g}$ ;乳化稳定性指数降低。在压力的作用下,大米蛋白的粒径减小;离子键变化不显著( $P > 0.05$ );氢键、疏水相互作用、巯基及二硫键的含量均发生显著性变化( $P < 0.05$ ),表明高压均质对大米蛋白的三维结构产生一定的影响。

**关键词:**大米蛋白;高压均质;功能特性;物化特性

**Abstract:** This study was aimed to investigate the effects of different homogenization pressure (0~120 MPa) on the functional and physicochemical properties of 4% rice protein. The results showed that with the increase of pressure, the solubility of rice protein significantly increased ( $P < 0.01$ ), and reached the maximum at 120 MPa, which was 82.09  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; emulsifying activity index first increased and then decreased, and reached the maximum at 80 MPa, which was 14.82  $\text{m}^2/\text{g}$ ; and the emulsifying stability index decreased. Under the treatment of pressure, particle size of rice protein decreased, with the changes of ionic bond insignificant ( $P > 0.05$ ), hydrogen bond, and hydrophobic interaction and the contents of sulfhydryl and disulfide bond insignificantly changed ( $P < 0.05$ ), and suggested the three dimensional structure of rice protein was affected by high pressure homogenization.

**Keywords:** rice protein; high pressure homogenization; functional properties; physicochemical properties

大米蛋白是一种重要的植物蛋白,主要由谷蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和清蛋白组成,其中谷蛋白含量占80%以

上<sup>[1-2]</sup>,具有氨基酸组成合理、营养价值高和过敏性低等特点。由于谷蛋白中含有大量的疏水性氨基酸,当疏水性氨基酸相互靠近时,易生成大量的二硫键,从而使蛋白质多肽聚集成致密分子,彼此交联而凝聚,分子量大,导致谷蛋白聚集沉淀,溶解性差<sup>[3-4]</sup>,进而影响其他功能特性,如:起泡性、乳化性等<sup>[5]</sup>;这些功能特性对于大米蛋白在食品加工中的应用具有十分重要的意义。因此,提高大米蛋白的溶解性,改善其他功能特性,已成为研究的热点。

高压均质是一种广泛应用于食品加工领域的高新技术。物料在高压均质机中受到强烈剪切、高速撞击、剧烈震荡和压力瞬间释放等动力作用后,使物料性质发生一定程度的变化<sup>[6]</sup>。高压均质技术应用于蛋白质的改性研究是基于蛋白质属于大分子物质,在高压的作用下产生形变,当形变足够大时,对分子间的结合形式有影响,导致键的断裂和重组,从而使蛋白质的功能特性发生变化<sup>[7-8]</sup>。

目前,对大米蛋白改性的研究大多集中于化学改性和酶法改性<sup>[4]</sup>。虽然高压均质改性大米蛋白功能特性已有报道<sup>[9]</sup>,但是未关注在高压均质过程中,大米蛋白内部化学作用力的变化。本研究拟采用高压均质改性大米蛋白,对其溶解性、乳化性、粒径、化学作用力、巯基和二硫键含量的变化进行初步的探究,以为大米蛋白资源的开发利用提供一定的参考依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

大米蛋白(RP):蛋白质87.5%,水分1.69%,灰分1.5%,江西金农生物科技有限公司;

玉米油:市售福临门牌玉米油;

十二烷基硫酸钠(SDS):分析纯,上海苏懿化学试剂有限公司;

考马斯亮蓝 G250:分析纯,上海沃凯生物技术有限

作者简介:张晶,女,安徽农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:陆宁(1964-),女,安徽农业大学教授,博士。

E-mail: luning@ahau.edu.cn

收稿日期:2016-01-10

公司;

牛血清蛋白(BSA):生化试剂,合肥新恩源生物技术有限公司;

5-5'-二硫代-2-硝基苯甲酸(DTNB):分析纯,合肥新恩源生物技术有限公司;

三羟甲基氨基甲烷(Tris):分析纯,美国 Genview 公司;

甘氨酸(Gly):生化试剂,北京索莱宝科技有限公司;

乙二胺四乙酸(EDTA):分析纯,天津市北辰方正试剂厂;

$\beta$ -巯基乙醇(2-ME):分析纯,美国 Sigma 公司;

尿素(Urea)、三氯乙酸(TCA)、氯化钠(NaCl):分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.1.2 主要仪器设备

超高压纳米均质机:APV-2000 型,德国 APV 公司;

冷冻干燥机:1-16 LSC 型,德国 Christ Gamma 公司;

激光粒度仪:MS-2000 型,英国马尔文公司;

紫外可见分光光度计:V-1600 型,上海美普达仪器有限公司;

高速剪切乳化机:FM-200 型,上海弗鲁克流体机械制造有限公司;

数显恒温磁力搅拌器:HJ-3 型,金坛市杰瑞尔电器有限公司;

高速离心机:HC-3514 型,安徽中科中佳科学仪器有限公司。

## 1.2 方法

1.2.1 高压均质处理方法 配制浓度 4% 的大米蛋白溶液,磁力搅拌 15 min 后,在不同的均质压力条件下(5, 40, 80, 120 MPa)处理,以 0 MPa 表示未受均质处理的原样。取出一部分均质后的样品,冻干备用。

1.2.2 溶解性测定 将高压均质后的大米蛋白溶液离心(5 000 r/min, 20 min),上清液中蛋白质含量用考马斯亮蓝法测定<sup>[10]</sup>。利用牛血清蛋白(BSA)做溶解性标准曲线,测定 595 nm 下的吸光值。

1.2.3 乳化性测定 乳化性包括乳化活性和乳化稳定性两个方面。乳化活性是指蛋白能将油水结合在一起形成乳状液的能力,是衡量蛋白质促进油-水型乳状液形成能力的指标,用乳化活性指数来表示(emulsifying activity index, EAI);乳化稳定性是指维持乳状液稳定存在的能力,用乳化稳定性指数(emulsifying stability index, ESI)来表示<sup>[11]</sup>。取 30 mL 浓度为 4% 的大米蛋白溶液,边搅拌边缓慢加入玉米油 10 mL,用高速剪切乳化机于 11 000 r/min 下乳化 2 min 后,从底部吸取乳状液 50  $\mu$ L,立即与 25 mL 0.1% SDS 混合,在分光光度计上 500 nm 处测定其吸光值,10 min 后再重新测定吸光值。乳化活性按式(1)计算<sup>[12]</sup>,乳化稳定性按式(2)计算<sup>[13]</sup>:

$$EAI = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times N}{100 \times \theta \times L \times C}, \quad (1)$$

$$ESI = \frac{A_0 \times t}{A_0 - A_t}, \quad (2)$$

式中:

EAI——乳化活性指数,  $m^2/g$ ;

N——稀释倍数, 500;

$\theta$ ——油相体积分数,本研究中为 0.25;

L——比色皿厚度, 1 cm;

C——蛋白质溶液浓度, 4%;

ESI——乳化稳定性指数;

$A_0$ ——0 min 时测得的吸光值;

$A_t$ ——10 min 时测得的吸光值;

t——时间间隔,本研究中为 10 min。

1.2.4 粒径测定 取浓度为 4% 的大米蛋白溶液,用去离子水作分散剂,在 MS-2000 型激光粒度仪上测定其粒径,并采用仪器所自带的软件进行数据分析。

1.2.5 化学作用力测定 称取 0.100 g 大米蛋白样品,分别加入 10 mL 的 0.05 mol/L NaCl(SA)、0.6 mol/L NaCl(SB)、0.6 mol/L NaCl+1.5 mol/L Urea(SC)、0.6 mol/L NaCl+8 mol/L Urea(SD),混合并震荡 5 min,于 4  $^{\circ}$ C 下静置 1 h 后离心(5 000 r/min, 30 min),上清液蛋白质含量用考马斯亮蓝法测定,溶解于 SB 与 SA 中蛋白质含量差表示离子键的贡献;溶解于 SC 与 SB 中蛋白质含量差表示氢键的贡献;溶解于 SD 与 SC 中蛋白质含量差表示疏水相互作用的贡献<sup>[14-15]</sup>。

### 1.2.6 巯基和二硫键测定

(1) 表面巯基和自由巯基测定:缓冲液 A(Tris—Gly 缓冲液):精确称取 10.42 g Tris、6.756 g Gly、1.169 g EDTA,蒸馏水定容至 1 L、pH = 8.0;缓冲液 B(Tris—Gly—8MUrea):在缓冲液 A 中加入 8 mol/L 的尿素和 5 g/L 的 SDS;Ellman's 试剂精确称取 0.016 g DTNB 溶于 4 mL 的缓冲液 A 中。

称取 15 mg 大米蛋白样品,溶于 5 mL 的上述缓冲液中(缓冲液 A 测表面巯基,缓冲液 B 测自由巯基),加入 50  $\mu$ L 的 Ellman's 试剂,在室温(25  $^{\circ}$ C)下反应 1 h,离心(4 000 r/min, 30 min),上清液在 412 nm 下测定其吸光值。表面巯基和自由巯基含量按式(3)计算<sup>[16]50[17]</sup>:

$$SH = \frac{73.53 \times A_{412} \times D}{C}, \quad (3)$$

式中:

SH——表面巯基和自由巯基含量,  $\mu$ mol/g;

$A_{412}$ ——412 nm 下吸光度值;

D——稀释因子;

C——蛋白质浓度, mg/mL。

(2) 总巯基和二硫键测定:称取 15 mg 蛋白质样品,用缓冲液 B 定容至 10 mL,取 1 mL 加入 4 mL 缓冲液 B 和 50  $\mu$ L 的 2-ME,在室温(25  $^{\circ}$ C  $\pm$  1  $^{\circ}$ C)反应 1 h,再加入 10 mL 12% 的 TCA,在室温(25  $^{\circ}$ C  $\pm$  1  $^{\circ}$ C)反应 1 h,离心(5 000 r/min, 10 min),用 5 mL 12% 的 TCA 洗涤 2~3 次,溶于 10 mL 的缓冲液 B 中,充分溶解后加入 40  $\mu$ L 的 Ellman's 试剂,反应 1 h 后,于 412 nm 下测定其吸光值,总巯基含量按式(3)计算,二硫键含量按式(4)计算<sup>[18-19]</sup>:

$$SS = \frac{SH_T - SH_F}{2}, \quad (4)$$

式中:

SS——二硫键含量,  $\mu\text{mol/g}$ ;

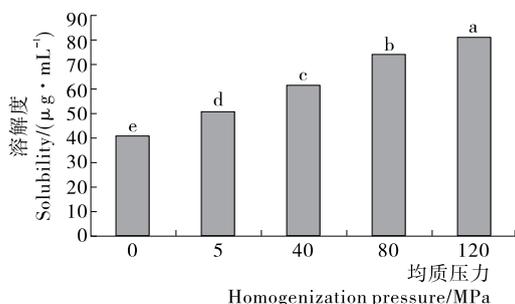
$SH_T$ ——总巯基含量,  $\mu\text{mol/g}$ ;

$SH_F$ ——自由巯基含量,  $\mu\text{mol/g}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 对大米蛋白溶解性的影响

影响溶解性的因素主要有:蛋白质分子形状、大小、电荷分布。由图 1 可知,随着均质压力的增大,大米蛋白的溶解性有明显提高( $P < 0.01$ ),并在 120 MPa 下达到最高,为  $82.09 \mu\text{g/mL}$ (对照组溶解性为  $40.83 \mu\text{g/mL}$ )。这是因为在高压的作用下,大米蛋白分子发生解聚和伸展,一方面增大了蛋白质与水的接触面积,另一方面使得蛋白质内部的极性基团和疏水基团暴露出来,蛋白质分子表面电荷发生改变,使水化作用增强,从而溶解度得以提高<sup>[20]</sup>。此研究结果与万红霞等<sup>[9]</sup>研究结果一致。



不同字母代表各样品之间存在极显著差异( $P < 0.01$ )

图 1 高压均质对大米蛋白溶解性的影响

Figure 1 Effects of high pressure homogenization treatment on solubility of RP

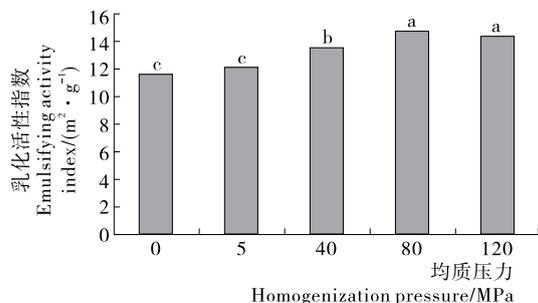
### 2.2 对大米蛋白乳化性的影响

蛋白质的乳化活性与溶解性和表面疏水性有着密切的联系。由图 2 可知,随着压力增大,大米蛋白乳化活性指数呈现先增大后降低的现象,且在 80 MPa 下达到最大,为  $14.82 \text{ m}^2/\text{g}$ (对照组 EAI 为  $11.76 \text{ m}^2/\text{g}$ )。这是因为在高压的作用下,一方面大米蛋白溶解度有所提高,增加了蛋白质向油/水界面扩散的能力;另一方面大米蛋白内部疏水基团暴露,导致大米蛋白表面疏水性增强,因此乳化活性得以改善<sup>[16]35</sup>。

由图 3 可知,随着压力增大,大米蛋白乳化稳定性指数随着压力增加而降低,当压力在 0~5 MPa 时,乳化稳定指数变化不显著( $P > 0.05$ ),当压力在 40~120 MPa 时,乳化稳定性指数明显下降( $P < 0.05$ )。这可能是随着压力的增大,大米蛋白分子的变化使得乳状液界面膜的强度降低,导致乳状液稳定性降低。

### 2.3 对大米蛋白粒径的影响

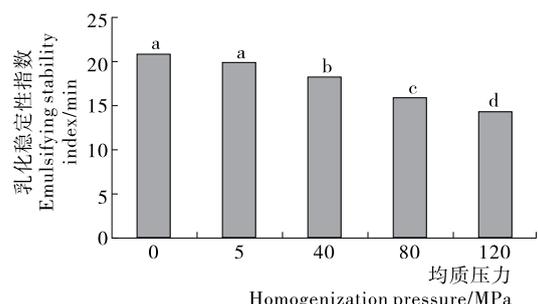
由表 1 可知,与未经过均质的大米蛋白相比,均质后大米蛋白的比表面积增大,而表面积平均粒径  $D[3,2]$ 、体积平均粒径  $D[4,3]$ 、平均粒径  $d(0.5)$  减小。由表 1 还可知,在



不同字母代表各样品之间存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 2 高压均质对大米蛋白乳化活性的影响

Figure 2 Effects of high pressure homogenization treatment on Emulsion activity of RP



不同字母代表各样品之间存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 3 高压均质对大米蛋白乳化稳定性的影响

Figure 3 Effects of high pressure homogenization treatment on emulsion stability of RP

0~80 MPa 下,随着压力增大,比表面积增加, $D[3,2]$ 减小;但当压力大于 80 MPa 时,随着压力增大,比表面积略有减小, $D[3,2]$ 略有增加。这是因为在高压作用下,大米蛋白颗粒被破碎成小粒子,使比表面积增大, $D[3,2]$ 减小;但当压力进一步增大时,大米蛋白被破碎成更小的颗粒,导致其表面能增加,又重新聚集形成较大的颗粒,所以比表面积减小, $D[3,2]$ 增大。

### 2.4 对大米蛋白化学作用力的影响

离子键、氢键、疏水相互作用是维持蛋白质三级结构的主要作用力,在压力的作用下,蛋白质三级结构可发生显著性变化<sup>[21]</sup>。由表 2 可知,各种压力下大米蛋白都表现出:离子键的贡献 < 氢键的贡献 < 疏水相互作用的贡献;与未经均质的大米蛋白相比,均质后大米蛋白中离子键的贡献均有所降低,但变化不显著( $P > 0.05$ );随着压力增大,氢键的贡献

表 1 高压均质对大米蛋白粒径的影响

Table 1 Effects of high pressure homogenization treatment on particle size of RP

均质压力/MPa	比表面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	表面积平均粒径 $D[3,2]/\mu\text{m}$	体积平均粒径 $D[4,3]/\mu\text{m}$	平均粒径 $d(0.5)/\mu\text{m}$
0	0.746	8.041	177.836	225.975
5	1.450	4.138	24.623	18.741
40	1.570	3.812	19.680	14.441
80	1.770	3.395	14.586	10.690
120	1.750	3.420	11.542	9.191

表2 高压均质对离子键、氢键、疏水相互作用的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effects of high pressure homogenization treatment on ion bond, hydrogen bond and hydrophobic interaction of RP

均质压力/MPa	离子键/ (mg · L <sup>-1</sup> )	氢键/ (mg · L <sup>-1</sup> )	疏水相互作用/ (mg · L <sup>-1</sup> )
0	11.61 ± 1.68 <sup>a</sup>	21.45 ± 1.54 <sup>c</sup>	53.96 ± 3.57 <sup>b</sup>
5	8.92 ± 0.49 <sup>ab</sup>	25.97 ± 0.70 <sup>ab</sup>	57.34 ± 3.51 <sup>b</sup>
40	5.70 ± 0.29 <sup>b</sup>	29.46 ± 3.51 <sup>a</sup>	46.54 ± 2.61 <sup>c</sup>
80	10.81 ± 0.29 <sup>a</sup>	28.12 ± 0.97 <sup>a</sup>	58.53 ± 3.31 <sup>b</sup>
120	9.19 ± 0.24 <sup>ab</sup>	23.71 ± 3.02 <sup>bc</sup>	67.02 ± 3.03 <sup>a</sup>

† 同列不同字母代表各样品之间存在显著差异(P<0.05)。

表现出先增加后降低的趋势;疏水相互作用的贡献除40 MPa条件外,其余均高于原样品。这说明高压均质使得大米蛋白结构发生改变,导致离子键、氢键和疏水相互作用产生不同程度的变化。

### 2.5 对大米蛋白巯基和二硫键含量的影响

由表3可知,与未经均质处理的大米蛋白相比,均质后大米蛋白表面巯基和自由巯基含量均明显降低(P<0.05),而二硫键含量则显著上升(P<0.05)。巯基和二硫键是大米蛋白中重要的功能基团,其含量的变化,反映出大米蛋白结构的改变。这可能是随着均质压力增加,大米蛋白分子结构变得松散,使埋藏在分子内部的巯基基团暴露出来,但经高压均质的大米蛋白结构不稳定,同时处理过程是在有氧环境中进行的,暴露出的巯基易与氧气结合,重新氧化成二硫键,导致巯基含量降低二硫键含量增加<sup>[22]</sup>。此结果与涂宗财<sup>[23]</sup>研究得出微射流均质可使花生蛋白巯基减少的结果一致。一般认为巯基含量减少,二硫键含量增加,可导致蛋白质溶解性降低<sup>[24]</sup>,这与本试验现象不一致。究其原因,可能是大米蛋白在高压的作用下,结构变得松散,一些包埋于内部的极性基团和疏水基团暴露,蛋白的表面积与体积之比增加,表面电荷分布加强,围绕着新暴露极性基团的结合水增多,水化作用增强,因此蛋白的溶解性总体上是提高的<sup>[25]</sup>。

## 3 结论

本试验研究了高压均质对大米蛋白功能特性及物化特

表3 高压均质对大米蛋白巯基及二硫键含量的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effects of high pressure homogenization treatment on the contents of sulfhydryl and disulfide bond of RP

均质压力/MPa	表面巯基/ (μmol · g <sup>-1</sup> )	自由巯基/ (μmol · g <sup>-1</sup> )	二硫键/ (μmol · g <sup>-1</sup> )
0	2.16 ± 0.34 <sup>a</sup>	5.48 ± 0.47 <sup>a</sup>	34.27 ± 1.81 <sup>c</sup>
5	1.81 ± 0.06 <sup>b</sup>	5.01 ± 0.68 <sup>a</sup>	35.97 ± 0.60 <sup>c</sup>
40	1.62 ± 0.02 <sup>b</sup>	4.53 ± 0.24 <sup>a</sup>	38.91 ± 0.69 <sup>bc</sup>
80	1.64 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.40 ± 0.22 <sup>b</sup>	41.08 ± 1.78 <sup>ab</sup>
120	1.67 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.25 ± 0.27 <sup>b</sup>	44.09 ± 3.34 <sup>a</sup>

† 同列不同字母代表各样品之间存在显著差异(P<0.05)。

性的影响。结果表明:在压力的作用下,大米蛋白的溶解性和乳化活性均有所提高,分别在120 MPa和80 MPa达到最大;乳化稳定性下降;同时大米蛋白的粒径、化学作用力、巯基及二硫键的含量也产生显著性变化。说明高压均质可用于大米蛋白的改性。本试验是在前人研究的基础上对在高压均质过程中,大米蛋白结构的变化进行了初步探讨,得出高压均质对大米蛋白三级结构产生了一定的影响。对于在均质过程中,二硫键与巯基之间转化的机理,及对大米蛋白二级结构的影响,还需进一步的探究。

### 参考文献

- [1] 陆飏. 美拉德反应改进大米蛋白功能性质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 1-2.
- [2] 唐文娟, 赵红清, 许宙, 等. 谷物蛋白分离纯化方法的研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 178-181.
- [3] AGBOOLA S, NG D, MILLS D. Characterisation and functional properties of Australian rice protein isolates[J]. Journal of Cereal Science, 2005, 41(3): 283-290.
- [4] 银波, 李亦蔚, 汪霞丽, 等. 大米蛋白改性技术的研究进展[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 147-151.
- [5] 黄正虹, 钟芳, 李玥, 等. 酶法改性大米蛋白的研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 28-31, 80.
- [6] 涂宗财, 王辉, 刘成梅, 等. 动态超高压均质对蛋清蛋白溶液的粒度和流变性影响[J]. 食品科学, 2007, 28(6): 27-29.
- [7] KIEFFER R, SCHURER F, KOHLER P, et al. Effect of hydrostatic pressure and temperature on the chemical and functional properties of wheat gluten: Studies on gluten, gliadin and glutenin[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45(3): 285-292.
- [8] TANG Chuan-he, MA Ching-yung. Effect of high pressure treatment on aggregation and structural properties of soy protein isolate[J]. LWT - Food Sci. Tech., 2009, 42(2): 606-611.
- [9] 万红霞, 孙海燕, 刘冬, 等. 动态超高压微射流均质对大米蛋白功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 155-161, 166.
- [10] 王文平, 郭祀远, 李琳, 等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 115-117.
- [11] 汪菁琴. 动态超高压均质对大豆分离蛋白改性的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 20-21.
- [12] 涂宗财, 张雪春, 刘成梅, 等. 动态超高压均质对花生蛋白溶解性和乳化性的影响[J]. 食品工业科技, 2007(6): 88-89.
- [13] 纪巍. 酶法及美拉德反应改进大米蛋白功能性质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 9.
- [14] GO'MEZ-GUILLE'N M C, BORDERI'AS A J, MONTERO P. Chemical interactions of nonmuscle proteins in the network of sardine (sardina pilchardus) muscle gels[J]. Lebensm.-Wiss. u. -Technol., 1997(29): 602-608.
- [15] 周佳, 蒋爱民, 栗俊广, 等. 仙草提取物对牛肉盐溶蛋白凝胶过程化学作用力的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 50-53.
- [16] 罗东辉. 均质改性大豆蛋白功能特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.

(下转第33页)

风味物质。另外,从表 1 可知,双戊烯的相对含量为 47.26%,远远高于其他挥发性风味物质含量,且根据文献[16]可知,其风味阈值低,因此双戊烯对浆水风味的形成贡献也不可忽视,也应为甘肃天水浆水的主体风味物质之一。

同时,上述挥发性物质均表现为良好呈香特点,其中双戊烯可以赋予柠檬香味,乙酸乙酯具有强烈的果香、酒香气、菠萝香和香蕉的香味,己醛具有青草的清香气味,蒎烯是辛香料的成分,主要赋予树脂香气,苯乙醇具有新鲜面包香、清甜玫瑰香,正己醇具有水果香、清香,乙酸丙酯具有梨香的风味。因此,这些风味物质及其相互间的共同作用是构成甘肃天水浆水独特柔和良好风味的物质基础。

### 3 结论

(1) 在浆水发酵 0, 24, 48, 72, 96 h 时发酵液中共检出挥发性物质 56 种,各发酵阶段分别检出成分 24, 29, 34, 34, 36 种,其中共有成分 12 种。主要有醇类、酸类、烃类、酯类、醛酮类。在整个发酵过程中挥发性物质的种类总体呈上升趋势,且新增酯类化合物,在发酵前期酯类和酸类的相对含量显著上升,而醇类、烃类的相对含量均有所下降,发酵后期各类挥发性物质的相对含量变化较小,且在整个发酵过程中醛酮类化合物的相对含量基本保持不变。

(2) 综合分析浆水发酵过程中挥发性物质相对含量、稳定性及其风味阈值,得出双戊烯、乙酸乙酯、己醛、蒎烯、苯乙醇、正己醇、乙酸、乙酸丙酯对浆水风味形成具有较大的贡献,是甘肃浆水中的特征香气物质。

#### 参考文献

- [1] 孟宪刚, 张丽珂, 周鸽鸽. 传统发酵食品—浆水研究概况及发展前景展望[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 402-404.
- [2] 何玲. 浆水芹菜营养成分与亚硝酸盐变化规律及加工机理研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2007: 1-3.
- [3] 李良风. 浆水中益生菌群的研究及浆水发酵工艺的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013: 1-5.
- [4] 李雪萍, 李建宏, 孟宪刚, 等. 西北浆水中兼性厌氧菌的分离与鉴定[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 213-217.
- [5] 张丽珂, 周鸽鸽, 孟宪刚. 传统发酵食品浆水中厌氧微生物分离鉴定初探[J]. 食品科技, 2010, 35(4): 39-41.
- [6] 辛博. 浆水接种发酵中亚硝酸盐的控制研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 2-4.
- [7] 侯智勇, 黄文刚, 孙晋康, 等. 川北地区浆水菜传统发酵工艺的初步研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(7): 100-103.
- [8] 张培. 浆水制备工艺和营养成分分析方法的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014: 1-39.
- [9] 龙立利, 史景山. 论中国传统发酵和现代发酵食品[J]. 发酵科技通讯, 2014, 43(1): 23-25.
- [10] 陈志杰, 顾立众, 顾振新. 灵芝发酵过程中挥发性风味物质的变化研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(9): 58-61.
- [11] 韩庆辉, 负建民, 宋勇强, 等. 凉州熏醋熏醋前后挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 146-151.
- [12] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 金华火腿主体风味成分及其确定方法[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(2): 173-176.
- [13] 吴海燕, 解万翠, 杨锡洪, 等. 固相微萃取—气相色谱—质谱联用法测定腌制金丝鱼挥发性成分[J]. 食品科学, 2010, 30(18): 278-281.
- [14] 曹雪丹, 李二虎, 方修贵, 等. 蓝莓酒主发酵前后挥发性成分变化的 GC—MS 分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 179-184.
- [15] 付湘晋, 许时婴, JINMOON K. 酸碱法提取鲢鱼蛋白脱腥及酵母脱腥机理[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(1): 59-60.
- [16] HU Wei, ZHANG Liang-xiao, LI Pei-wu, et al. Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass spectrometry[J]. Talanta, 2014, 129(21): 629-635.
- [17] 卢靖, 刘平, 张丽珠, 等. 腐乳发酵过程挥发性风味成分的变化[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 175-179.
- [18] 周晓媛, 邓静, 李福枝, 等. 发酵辣椒的挥发性风味成分分析[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(1): 54-59.
- [19] 钱飞, 刘海英, 过世龙. 克氏原螯虾虾头酶解物挥发性风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 134-139.
- [20] ELMORE J S, MOTTRAM D S, ENSER M, et al. Effect of polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999, 47(4): 1 619-1 625.
- [21] SIEK T J, ALBIN I A, SATHER L A, et al. Comparison of flavor thresholds of aliphatic lactones with those of fatty acids, esters, aldehydes, alcohols, and ketones[J]. Journal of Dairy Science, 1971, 54(1): 1-4.
- [22] 邓静, 李萍萍. 大头菜腌制过程中挥发性香味物质变化分析[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 225-229.
- [23] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 腊肠主体风味物质及其分析新方法[J]. 肉类研究, 2011, 25(3): 15-20.
- [24] 张宏康. 超高压对生物大分子的影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001: 10.
- [25] 涂宗财, 姜颖, 陈钢, 等. 动态超高压微射流对花生球蛋白结构和功能性质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 73-75.
- [26] 涂宗财. 蛋白质动态超高压微射流改性研究及机理初探[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 48-49.
- [27] 王章存, 申瑞玲, 姚慧源. 大米蛋白开发利用[J]. 粮食与油脂, 2004(1): 12-14.
- [28] 张雪春, 涂宗财, 郑为完, 等. 超高压微射流均质中花生球蛋白的机械力化学效应研究[J]. 化学学报, 2009, 67(24): 2 862-2 866.

(上接第 12 页)

- [17] TANG Chuan-he. Thermal denaturation and gelation of vicilin-rich protein isolates from three Phaseolus legumes: A comparative study[J]. LWT - Food Science and Technology, 2008(41): 1 380-1 388.
- [18] 易翠平, 姚惠源, 谢定. 碱处理对大米蛋白分子间作用力的影响[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(4): 1-4.
- [19] 刘永乐, 王发祥, 周小玲, 等. 酶法脱酰胺对米谷蛋白分子微观结构的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 69-71.
- [20] 杨盛楠, 翟爱华. 高压均质对大豆分离蛋白功能性质的影响[J]. 中国酿造, 2014, 33(12): 89-93.