

不同分子量葡聚糖对大豆分离蛋白冷致混合凝胶的流变性质和质构性质的影响

闵 维,杨晓泉*

(华南理工大学轻工与食品学院,广东广州 510640)

摘 要:为研究不同分子量葡聚糖对大豆分离蛋白冷致凝胶强度的影响,采用流变仪和质构仪等手段进行分析。研究表明:GDL 诱导的大豆分离蛋白冷致凝胶是一种弱蛋白凝胶,酸化速率随着 GDL 含量的增加而增加。高酸化速率条件下形成的大豆分离蛋白冷致凝胶的凝胶起始点早且最快达到模量峰值;低酸化速率条件下形成的大豆分离蛋白冷致凝胶的凝胶起始点晚且最终模量较低。不同分子量和浓度的葡聚糖添加会改变大豆分离蛋白冷致凝胶的凝胶强度。同分子量的葡聚糖与大豆分离蛋白混合体系形成的冷致蛋白多糖凝胶随着葡聚糖浓度的增加其粘弹性性质呈现先上升后下降的趋势;而随着葡聚糖分子量增加混合凝胶的粘弹性性质变化越显著。

关键词:SPI, 葡聚糖, 凝胶性质, 冷致凝胶

Effects of molecular weight of dextran on the rheological behavior and texture properties of soy protein isolate cold-set gels

MIN Wei, YANG Xiao-Quan*

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to study the effect of molecular weight of dextran on the gel strength of soy protein isolate cold-set gels, rheology and texture methods were used. The results showed, GDL-induced SPI gel showed weak gel characteristics, the acidification rate increased with the increase of GDL amount addition. The gel point appeared earlier and the maximum G' gained sooner in the case of higher acidification rate; while the gel point showed later and the final gel strength was weak in the presence of lower acidification rate. Dextran with different molecular weight and concentration had great influence on the SPI cold-set gel strength. With the same molecular weight dextran, the elastic moduli of gel increased and then decreased with the increase of the dextran concentration. Increasing the molecular weight of dextran resulted in the elastic moduli of gels changed dramatically.

Key words: soybean protein isolate; dextran; elastic moduli; cold-set gels

中图分类号:TS201.2

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2010)05-0072-05

蛋白和多糖溶液混合后主要出现两种状态,一种呈单相体系,而另一种呈双相状态。双相体系主要是由生物大分子的不兼容而富集浓缩造成,即生物大分子在分子水平上表现出的一种热力学不兼容性^[1]。这种热力学不兼容性被定义为包括生物高分子在内的有限易混性,即材料学角度定义的相分离体系。作为食品中应用最广的高分子材料,多糖和蛋白是构建食品结构的最主要成分并决定着食品的质地、口感。大多数情况下的食品体系呈热力学不兼容的相分离状态,因此探讨蛋白与多糖混合体系

的流变和质构性质对食品加工行业有深远的意义。在研究相分离的过程中,一般采用凝胶固化的方法来分析混合体系的结构变化,因此最终的食品微结构是由相分离动力学过程和凝胶形成动力学过程竞争的结果^[2]。近年来,一种在常温条件下形成凝胶的方法被提出并命名为冷致凝胶^[3]。这种冷致凝胶的形成过程主要分为两步:先将蛋白在一定温度条件下加热变性形成可溶性聚集体,在蛋白冷却后再通过添加盐离子或降低 pH 的方法诱导其在室温下形成凝胶。由于该凝胶是在室温条件下诱导形成,因此在第二步凝胶形成的过程中添加一些热敏性或易挥发的组分不会影响到风味的丧失。这对开发一些功能性组分的食品体系特别是对控制释放领域的发展有重要的应用价值。葡聚糖作为一种非凝胶中性多糖,其结构已被广泛研究^[4]。目前对大豆蛋白的凝胶机理及稳定凝胶体分子间的作用力也做了许多研究。但迄今为止国内外对葡聚糖/大豆分离蛋白冷

收稿日期:2009-06-17 * 通讯联系人

作者简介:闵维(1984-),女,硕士,主要从事粮食油脂与植物蛋白工程研究。

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD27B04);广东省自然科学基金团队项目(B12B6051000)。

致混合凝胶的流变性和质构性质尚未报道。本研究以不同分子量和不同浓度葡聚糖与大豆分离蛋白为研究对象,研究混合冷致凝胶体系的流变特性和质构性质并对酸化速率的影响做了深入探讨,以期对开发新型的食品工艺提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆豆粕粉 山东新嘉华公司提供,蛋白质含量为 34.5% (干基); 葡聚糖 ($M = 10、67、100、500\text{kDa}$) 购自 sigma 生物试剂有限公司。

冷冻离心机 日本 Hitachi 公司; ECP-3000 三恒电泳仪 北京市六一仪表厂; TAQ100-DSC 热分析仪 美国 TA Instruments 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大豆分离蛋白的制备^[5-6] 将大豆原料粉碎,过 40 目筛,采用碱提酸沉法制备大豆分离蛋白。制备方法为:脱脂大豆粕按 1:15 料液比加入去离子水,充分溶解,用 2mol/L NaOH 溶液调 pH8.0,室温下低速搅拌(60r/min) 1.5h,以 $3000 \times g$ 离心 30min,弃去沉淀。上清液用 2mol/L HCl 溶液调节至 pH4.5,以 $3000 \times g$ 离心 30min,弃去上清液,得到蛋白凝乳经水洗后,加水并用 2mol/L NaOH 溶液回调至 pH7.5,搅拌均匀,4℃ 条件下透析 36h。所得蛋白溶液分别经冷冻干燥后为大豆分离蛋白。冷冻干燥条件为:物料厚度不超过 10mm,冷凝温度-25℃,真空度 30Pa,冻干时间 24h,得到干燥的 SPI。通过此法得到的 SPI 得率约为 65%。

1.2.2 冷致凝胶的制备 将大豆分离蛋白(SPI)分散于双蒸水中,充分搅拌 3h 并在 4℃ 条件下过夜,以确保大豆分离蛋白分子充分水化,制备的 SPI 蛋白储备液浓度为 8% (w/v)。蛋白质充分水化后,95℃ 加热 30min,冰浴条件下迅速冷却至 25℃ 制备大豆蛋白聚集体溶液,调节 pH 至中性,加入 10、100、500kDa 的葡聚糖于大豆蛋白聚集体溶液中,至蛋白浓度为 4% (w/v),然后搅拌 5min 至不出现宏观相分离,葡聚糖的浓度分别为 0.5%、4%、6%、8% (w/v)。加入 0.6%~1% (w/v) 的 GDL,控制 GDL 酸化速度,使得最终 pH 为 4.5~3.7,此样品将用于凝胶流变性质的测定。

1.2.3 pH 的监控 采用 PMX 3000pH 计对酸化过程中的混合物进行连续监控。在一定的孵化温度条件下,先将 pH 计在 4、7、9 处的三点校正,pH 测定的精确度为 0.05pH 单位,通过 pH/时间曲线表征酸化速率。

1.2.4 凝胶流变性质的测定方法 采用的仪器是哈克流变仪,所带配件是平行板,其间隙设置为 1mm,实验时将 1mL 大豆 7S 蛋白和葡聚糖的均匀混合液置于平板之间,除去过量的样品,并在样品裸露部位添加一层薄硅油,以防止水分的蒸发。平衡后溶液自 20℃ 升温至 95℃,并在 95℃ 恒温 30min,然后降温至 20℃,记录此过程的样品随时间变化的弹性模量(G')及粘性模量值(G'');然后对样品进行频率扫描,记录弹性模量(G')及粘性模量值(G'')随频率变化趋

势;最后对样品进行振幅扫描,记录 G' 、 G'' 随振幅的变化趋势。

1.2.5 质构分析^[7] 采用 1.2.2 中方法制得的冷致凝胶样品直接置于 TA-XT2 i 质构仪样品台上。采用 TPA 模式,探头为圆柱体 P /0.25SS,测试前速度 1mm/s,测试速度 1mm/s,测试后速度 1mm/s,下行距离为样品总高度的 30%。

2 结果与讨论

2.1 不同酸化速率对大豆分离蛋白凝胶流变性的影响

本文用流变振荡流变测试了大豆分离蛋白冷致凝胶的流变性质。经过热变性后的大豆分离蛋白充分展开,表面具有大量暴露的巯基。冷却后的大豆分离蛋白通过添加不同浓度的 GDL 诱导 pH 逐步下降至等电点,凝胶开始由非共价键交联形成。在之后的凝胶形成过程中,生成了较多的二硫键以稳定网络结构并增加凝胶强度^[8]。图 1 为大豆分离蛋白聚集体通过不同浓度 GDL 酸化形成冷致凝胶的酸化速率曲线。GDL 通过水解释放出大量葡萄糖酸,因此,GDL 的含量越高酸化速率越高。由图 1 可知,1% (w/v) GDL 酸化速率最高,其 pH 在 5h 时已达到平衡,且其最终 pH 相比其它条件下的酸化速率最低 (pH=4.0)。GDL 含量为 0.6% (w/v) 条件下形成的凝胶最终 pH 最高,为 4.5,相应的含量为 0.8% (w/v)。GDL 酸化速率在两者之间,平衡 pH 也在两者之间。

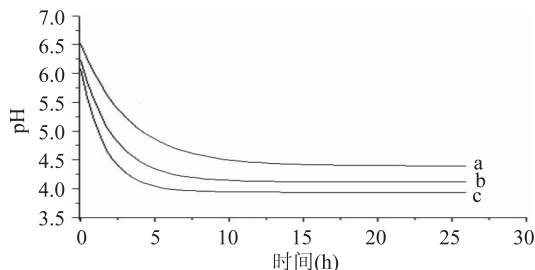


图 1 4% 大豆分离蛋白在不同酸化速率条件下形成的冷致凝胶的 pH 随时间变化曲线

注:曲线 a、b、c 的 GDL 含量分别为 0.6%、0.8%、1% (w/v)。

图 2 为不同酸化速率条件下形成的大豆分离蛋白冷致凝胶的 G' 、 G'' -t 测试曲线。加入不同浓度 GDL 诱导形成的冷致凝胶具有不同的凝胶起始点。在 0.9h, GDL 为 1% 的混合体系出现 $G' > G''$ 且 $G' > 10\text{Pa}$,说明由这点开始形成凝胶^[9]。而含量为 0.6% 的混合体系凝胶点为 1.8h,这表明酸化速率越高,凝胶起始点越早,这与不同酸化速率形成的乳清蛋白冷致凝胶结果相一致^[10]。由此点开始, G' 随着时间逐渐增加且酸化速率越高的条件下越早达到模量峰值。相同条件下,GDL 含量较低的混合体系形成的凝胶模量较小且未到峰值。酸化速率 0.6% 形成的冷致凝胶最终模量为 800Pa,即为一种较弱的凝胶;1% 的 GDL 形成凝胶的最终凝胶强度为 1800Pa,已具有一定的凝胶强度。GDL 含量为 0.8% 的凝胶体系在反应 5h 后的模量约为 1700 且未达到峰值,说明若凝胶时间延长可能会形成模量更大具备更高凝胶

表1 SPI和SPI/葡聚糖混合凝胶TPA值

样品	硬度(g)	弹性	内聚性	黏性(g)
4% SPI + 0.8% GDL	16.1 ± 0.9	0.94 ± 0.02	0.58 ± 0.01	8.7 ± 0.73
4% SPI + 0.8% GDL + 0.5% 10kDa 葡聚糖	16.3 ± 1.5	0.93 ± 0.01	0.54 ± 0.01	8.7 ± 0.92
4% SPI + 0.8% GDL + 0.5% 100kDa 葡聚糖	17.3 ± 0.6	0.95 ± 0.01	0.53 ± 0.06	9.3 ± 1.41
4% SPI + 0.8% GDL + 0.5% 500kDa 葡聚糖	17.4 ± 0.7	0.94 ± 0.01	0.55 ± 0.02	9.3 ± 0.82

强度的凝胶。A.L.F.Cavallieri 等^[11]指出,酸致凝胶主要分为两步,第一步为在凝胶点处开始形成凝胶网络,第二步为之后通过键的增强和区域重排引发的结构成型。而在最终 pH 处的分子重排是增强网络结构的基础,因此较低酸化速率条件下形成的最终凝胶强度比最高酸化速率要高。本文中不同分子量葡聚糖/大豆分离蛋白的冷致凝胶体系选取了 0.8% GDL 的酸化速率进行研究。

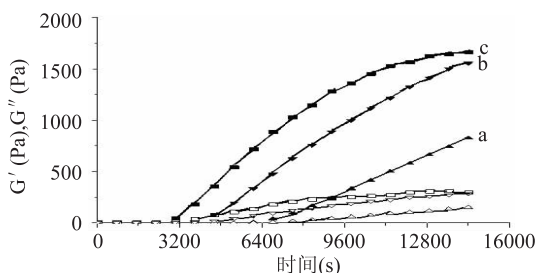


图2 不同 GDL 含量诱导的大豆分离蛋白混合冷致凝胶时间进程

注:SPI 浓度为 4%, GDL 为 0.6% (c)、0.8% (b)、1% (a)。

2.2 不同分子量葡聚糖对大豆分离蛋白凝胶流变性和相行为的影响

加入不同分子量葡聚糖的 pH 变化曲线与单纯大豆分离蛋白相似(图未给出),这表明加入多糖不会影响凝胶形成过程中 pH 的变化,这与 S.de Jong 得到的结果相一致^[12]。含有不同分子量葡聚糖的混合体系具有相同的凝胶起始点,但其最终的凝胶强度不同(见图 3)。加入 0.5% 10kDa 葡聚糖的混合冷致凝胶体系最终形成的凝胶强度与未加糖的粘弹性模量曲线相似,这是由于较低含量和分子量的葡聚糖对凝胶强度影响不大,这与葡聚糖/7S 热致凝胶的结果相一致^[13]。当 SPI 加入高分子量的葡聚糖后,混合体系的凝胶粘弹性质显著大于单纯的 SPI 体系,此过程 SPI 热变性聚集体由 GDL 酸化逐渐聚集并形成网络结构。而多糖的增加对凝胶网络形成有协同增加效应,从而使得凝胶强度显著增加。葡聚糖是非凝胶性中性多糖,自身不带任何性质电荷,葡聚糖使大豆分离蛋白凝胶粘弹性增加的主要原因是葡聚糖的空间占位效应(occupy effect)增加了体系中的大豆分离蛋白有效凝胶形成浓度。

表 1 为 SPI/葡聚糖混合凝胶在加入 GDL 酸化诱导常温下孵化 24h 后测得的 TPA 值。未加多糖和含有 0.5% 10kDa 葡聚糖的凝胶硬度值相似,而含有高分子量多糖的凝胶硬度显著升高,这与前文中得到的模量值相一致。四种不同类型凝胶的弹性值和内聚性差异不显著,说明多糖的加入不会改变凝胶的最终弹性和内聚性。由表可知,加入高分子量多糖后的凝胶黏性值有所下降,这表明多糖的存在会导

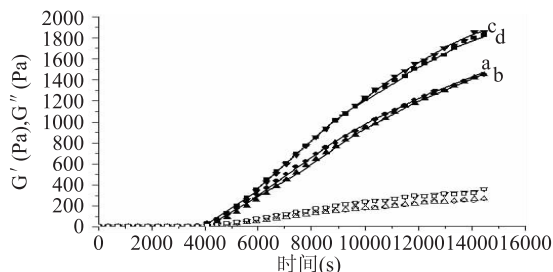


图3 4%大豆分离蛋白与0.5%不同分子量葡聚糖形成冷致凝胶的时间进程

注:GDL 含量为 0.8%,葡聚糖的分子量为对照(a)、10kDa(b)、100kDa(c)、500kDa(d)。

致黏性增加,这可能是因为多糖的存在增加了溶液的粘度导致最终凝胶的黏度升高。

2.3 不同浓度的葡聚糖对大豆分离蛋白凝胶流变性和相行为的影响

图 4 为不同浓度葡聚糖的添加对大豆分离蛋白凝胶的 G' 、 G'' -t 测试曲线的影响。由图可知,分子量为 10kDa 的葡聚糖,混合凝胶随着葡聚糖浓度的增加 G' 呈现先增加后减少的现象。当葡聚糖浓度为 4% 时,混合凝胶的模量最高,继续增加葡聚糖的浓度,弹性模量出现下降趋势(图 4A)。这是由于葡聚糖对大豆分离蛋白凝胶体系的作用为占位效应,增加一定量的葡聚糖浓度增加了蛋白的有效浓度,使得模量显著上升,然而继续增加葡聚糖的浓度会导致蛋白/多糖两相由最初的蛋白单相体系逆转为多糖的单相体系,从而凝胶强度下降^[14]。对于分子量为 100kDa 的葡聚糖/蛋白混合体系,模量的最高值在葡聚糖浓度为 0.5% 时达到,继续添加葡聚糖的浓

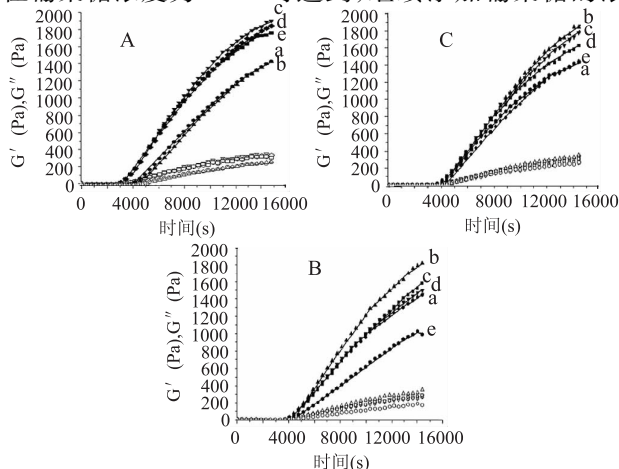


图4 4%大豆分离蛋白与不同浓度不同分子量葡聚糖形成冷致凝胶的时间进程

注:GDL 含量为 0.8%;葡聚糖的浓度为对照

(a)、0.5% (b)、4% (c)、6% (d)、8% (e);

葡聚糖分子量为 10kDa(A)、100kDa(B)、500kDa(C)。

度导致模量下降(见图4B)。当葡聚糖浓度为8%时, G' 曲线又出现几乎与不含葡聚糖的凝胶体系相重合的现象, 其下降程度相比10kDa葡聚糖要大。图4C为500kDa不同浓度的葡聚糖与蛋白混合体系动力学凝胶过程, 当多糖浓度为0.5%时模量最高, 继续添加多糖导致凝胶强度下降。模量曲线的最低值在多糖浓度为8%的混合凝胶体系出现, 这与含有100kDa葡聚糖的体系相似, 然而在此浓度条件下500kDa葡聚糖/蛋白的凝胶强度比相同浓度100kDa葡聚糖/蛋白体系要低。这是由于葡聚糖对此混合凝胶的占位效应存在一个模量值和糖浓度分子量的关系曲线。相同浓度条件下, 多糖分子量升高会导致其占位效应增强, 即在更低的浓度下达到模量峰值, 继续增加浓度导致模量下降越快。最终导致同浓度、不同分子量葡聚糖的添加形成凝胶强弱不同的混合凝胶体系。

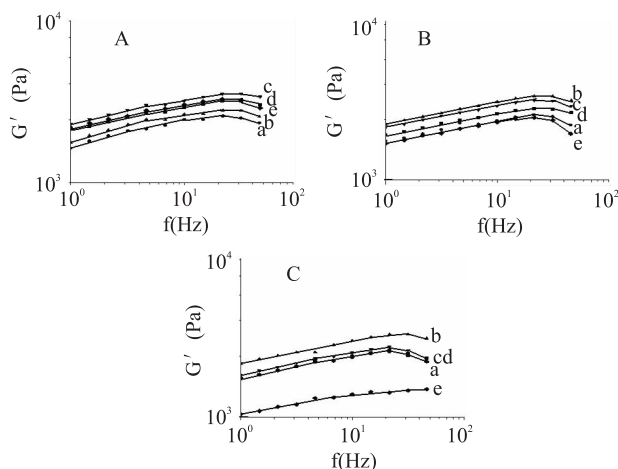


图5 4%大豆分离蛋白与不同浓度不同分子量

葡聚糖形成冷致凝胶 G' 与振荡频率的关系

注: GDL 含量为0.8%; 葡聚糖的浓度为对照

(a)、0.5% (b)、4% (c)、6% (d)、8% (e);

葡聚糖分子量为10kDa(A)、100kDa(B)、500kDa(C)。

图5为大豆分离蛋白与不同浓度不同分子量葡聚糖形成冷致凝胶 G' 与振荡频率的关系曲线。整条曲线中 $G' > G''$ (G'' 未给出), 说明发生相分离的过程中大豆分离蛋白与葡聚糖体系已经形成了网络结构。但是 G' 值在低频率区域与频率成线性相关, 说明大豆分离蛋白/葡聚糖形成的冷致凝胶为一种较弱的凝胶。C.Rocha^[15]在研究大豆乳清蛋白与刺槐豆胶体系的热致凝胶也出现了类似结果。对于不同分子量葡聚糖与大豆分离蛋白混合冷致凝胶体系, 其最终的模量值与时间扫描的结果相一致。为了进一步说明葡聚糖分子量以及浓度对混合凝胶作用的差异, 图6表征了反应4h后的冷致大豆蛋白葡聚糖凝胶的粘弹性模量。由图可知, $G' > G''$ 且 G'' 随着 G' 值变化而变化, 这表明不同条件下反应后的大豆分离蛋白葡聚糖混合体系都形成了凝胶且其粘弹性值由蛋白多糖两相决定。随着葡聚糖浓度的增加混合体系的凝胶强度呈先上升后下降的趋势, 其增加与下降的趋势又由葡聚糖的分子量决定, 最终分子量越高的体系凝胶强度的变化趋势越显著。再次印证

了葡聚糖对大豆分离蛋白冷致凝胶的占位效应, 即随葡聚糖浓度的增加蛋白有效浓度增加从而导致凝胶强度上升, 继续提高葡聚糖的浓度导致体系发生相逆转从而模量下降; 另一方面, 分子量越高的葡聚糖的占位效应越明显, 导致凝胶强度的变化更加剧烈。

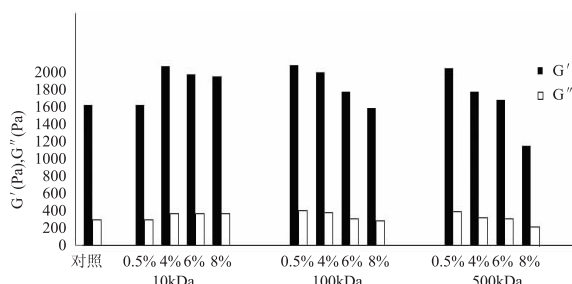


图6 SPL/葡聚糖混合凝胶在反应终点处的 G' , G'' 值

3 结论

在大豆分离蛋白冷致凝胶体系中, 凝胶的速率和强度受到酸化速率的影响。高酸化速率条件下形成的大豆分离蛋白冷致凝胶的凝胶起始点早且最快达到模量峰值; 低酸化速率条件下形成的大豆分离蛋白冷致凝胶的凝胶起始点晚且最终模量较低。葡聚糖的添加对大豆分离蛋白冷致凝胶的凝胶强度影响显著。其中葡聚糖分子量和浓度对大豆分离蛋白冷致凝胶具有不同程度的影响, 即随葡聚糖浓度的增加凝胶强度呈现先上升后下降的趋势; 而随着葡聚糖分子量增加凝胶强度变化越显著, 这可能是因为蛋白/多糖系统中发生了不同程度的相分离所致。这将在后续研究中通过激光共聚焦或电镜扫描等技术手段对其微结构进行更直观地分析。

参考文献

- [1] Tolstoguzov V B. Phase behaviour of macromolecular components in biological and food systems[J]. Nahrung, 2000a, 44(5): 299-308.
- [2] Lorén, N, Hermansson A M. Phase separation and gel formation in kinetically trapped gelatin/maltodextrin gels[J]. Int J Biol Macromol, 2000, 27: 249-262.
- [3] Bryant S, Mc Clements D J. Molecular basis of protein functionality with special consideration of cold-set gels derived from heat-denatured whey[J]. Trends Food Sci Technol, 1998, 9: 143-151.
- [4] Tvaroska I, Perez S. Conformational analysis of (1-6)- α -D-glucan[J]. Carbohydrate Research, 1978, 61: 97-106.
- [5] 朱文娟, 周相玲, 张惠, 等. 不同品种差异对大豆分离蛋白得率的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(S1): 21-27.
- [6] 冯子龙, 杨振娟, 袁保龙, 等. 大豆分离蛋白生产工艺与实践[J]. 中国油脂, 2004, 29(11): 29-30.
- [7] Bourne M C. Texture profile analysis[J]. Food Technology, 1978, 7: 62-66.
- [8] Altling A C, Hamer R J, de Kruif C G, et al. Formation of disulfide bonds in acid-induced gels of preheated whey protein isolate[J]. Agric Food Chem, 2000, 48: 5001-5007.
- [9] Abbasi S, Dickinson E. Influence of sugars on higher -

(下转第80页)

殖场采样草鱼肉中检出的则有乙苯、苯乙烯、2-羟基-丙酰胺及2-乙基呋喃。市售草鱼肉中检出的萘和1-甲基萘也可能是运销途中的环境污染所造成,并转移到鱼体内而被鉴定出的^[12]。此外,本实验在市售草鱼背肉、腹肉中检测出甲氧基-苯基酚,其含量分别可达3.02%及1.61%,也可能与环境污染、兽药等其他因素有关,需进一步考察。

2.3 养殖场及市场采样草鱼肉气味存在差异的考察

本实验采用电子鼻气味检测的结果,显示养殖场与市场采样草鱼肉之间存在显著差异,并且养殖场采样草鱼背肉与腹肉也存在一定的差异,市场采样草鱼背肉与腹肉的气味则无法用PCA分析区分。同时挥发性成分测定的养殖场与市场采样的草鱼肉中,也检测出一些在种类数量上不同的气味物质,其中养殖场采样的草鱼肉中检出较多具有代表性的气味成分为己醛和(E)-2-辛烯-1-醇。此外,养殖草鱼背肉与腹肉在这两种气味成分的含量上均存在显著差异($P < 0.05$),而市场采样草鱼背肉与腹肉在己醛含量上无显著差异($P > 0.05$)。

在样品处理时,发现养殖场采样草鱼的内脏中留有大量的青草残余。由此可以推断,养殖场喂养草鱼的饲料以青草为主。摄入的青草经消化系统分解,小分子物质直接渗透过肠道,进入血液循环,渗透积累到肌肉组织中。天然水体中存在大量的浮游植物,由于这些浮游植物及其分泌的代谢产物通过鱼鳃和皮肤渗透进入鱼体各部分,经化学反应产生导致气味物质贮存和积累,使鱼体的气味加重。同样,天然水体中放线菌产生的一些挥发性成分经过鱼体富集之后,会使鱼肉带有特有的泥土味。因此,鱼类的生存环境及饲养条件对鱼肉气味造成的影响是不容忽视的。但对于造成养殖草鱼背肉与腹肉气味差异的原因有待进一步考察。此外,在市场采样的草鱼肉中检测出一些可能与运输流通中污染有关的苯、萘一类的衍生物,这些与食品卫生安全有关的物质的种类和来源,有待进一步的检测探讨。

3 结论

电子鼻能判别出养殖场采样与市售草鱼肉之间的的气味差异,通过气-质联用分析,养殖场与市场采样草鱼肉也分别检测出相当多的数量和种类不同的挥发性气味物质。特别是养殖场采样的草鱼肉中存在的己醛和(E)-2-辛烯-1-醇带有青草和泥土气味

的成分,可能与青草饲料及天然水体中的浮游植物和放线菌有关。此外市场采样的鱼肉中也检出了一些可能来自运输流通中的污染物质。从改进草鱼养殖和运输流通中的风味品质和卫生安全条件,对于这类物质的种类和来源,有待今后作进一步的检测探讨。

参考文献

- [1] SHAHIDI F 著,李洁,朱国斌,译.肉制品与水产品的风味[M].第二版.北京:中国轻工业出版社,2001.
- [2] 章超桦,平野敏行,铃木健,等.鲫的挥发性成分[J].水产学报,2000,24(4):354-358.
- [3] HANNE H F, REFSGAARD, HAAHR, et al. Isolation and quantification of volatiles in fish by dynamic headspace sampling and mass spectrometry[J]. J Agric Food Chemistry, 1999, 47(3): 1114-1118.
- [4] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Variations in the occurrences of enzymically derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish [J]. J Agric Food Chemistry, 1984, 32(6): 1344-1347.
- [5] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Enzymic hydroperoxide initiated effects in fresh fish [J]. J Food Science, 1987, 52(3): 596-600.
- [6] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Volatile compounds characterizing the aroma of fresh Atlantic and Pacific oysters [J]. J Food Science, 1985, 50(1): 5-9.
- [7] 王锡昌, 陈俊卿. 顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分 [J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 176-180.
- [8] 江健, 王锡昌, 陈西瑶. 顶空固相微萃取与 GC-MS 联用法分析淡水鱼肉气味成分 [J]. 现代食品科技, 2005, 22(2): 219-222.
- [9] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [10] 赵庆喜, 薛长湖, 徐杰, 等. 微波蒸馏-固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉检测器联用分析鳙鱼鱼肉中的挥发性成分 [J]. 色谱, 2007, 25(2): 267-271.
- [11] 张青, 王锡昌, 刘源. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉测量联用初探鲢肉的挥发性风味物质 [J]. 水产学报, 2009, 33(4): 692-696.
- [12] OGATA M, MIYAKE Y. Identification of substance in petroleum causing objectionable odor in fish [J]. Water Research, 1973, 7(10): 1493-1504.

(上接第75页)

pressure induced gelation of skim milk dispersions [J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15: 315-319.

[10] A L F Cavallieri, et al. The effect of acidification rate, pH and ageing time on the acidic cold set gelation of whey proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22: 439-448.

[11] Saskia de Jong, H Jan Klok, Fred van de Velde. The mechanism behind microstructure formation in mixed whey protein-polysaccharide cold-set gels [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23: 755-764.

[12] 阎维, 杨晓泉. 不同分子量葡聚糖与大豆7S蛋白混合凝

胶流变学性质研究 [J]. 食品科学, 2010(1): 10.

[13] Sperry P R. Morphology and mechanism in latex flocculated by volume restriction [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1984, 99(1): 97-108.

[14] Saskia de Jong, et al. Charge density of polysaccharide controls microstructure and large deformation properties of mixed gels [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21: 1172-1187.

[15] C Rocha, et al. Rheological and structural characterization of gels from whey protein hydrolysates/locust bean gum mixed systems [J]. Food Hydrocolloids, 2009, In press.