

热加工对草鱼鱼肉品质及风味成分的影响

The influence of thermal treatment on grass carp quality and volatile flavor compounds

陈惠¹ 刘焱¹ 李志鹏¹ 黄黎慧^{1,2}

CHEN Hui¹ LIU Yan¹ LI Zhi-peng¹ HUANG Li-hui^{1,2}

(1. 湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省粮油产品质量监测中心, 湖南 长沙 410005)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2. Hunan Province, Grain and Oil Products Quality Monitoring Center, Changsha, Hunan 410005, China)

摘要:以草鱼为研究对象,以外形、质地、营养价值及风味为评价指标,研究草鱼鱼肉在 60,70,80,90,100 ℃ 热处理后其品质、蛋白质组成及挥发性风味成分的变化。结果表明:随着热处理温度的增加,鱼肉的 L^* 值升高, a^* 值降低,硬度、内聚性、氨基酸含量、 E/N 总体呈上升趋势。利用 SPME-GC-MS 检测出 87 种挥发性成分,烷烃类 24 种,醛类 19 种,酸类 14 种,酯类 12 种,醇类 9 种,酮类 4 种,其他化合物 5 种,其中醇类和醛类物质在所有样品中相对含量最高,是主体物质。

关键词:草鱼;热加工;品质;风味成分

Abstract: The changes of quality, protein composition and volatile flavor compounds of grass carp were studied at 60, 70, 80, 90 and 100 ℃, shape, texture, nutritional value and flavor were set as the evaluation indexes. The results showed that the weight loss rate of fish increased with the treatment temperature, and the L^* value of fish increased, but the a^* value decreased. The hardness, cohesion, amino acid content, E/N ratio showed an upward trend. 87 types of volatile compounds were detected by SPME-GC-MS, including 24 kinds of alkanes, 19 kinds of aldehydes, 14 kinds of acids, 12 kinds of esters, 9 kinds of alcohols, 4 kinds of ketones and 5 other compounds. Among them, alcohol and aldehydes substances in all samples relative content of were the highest.

Keywords: grass carp; thermal treatment; quality; volatile flavor compounds

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*), 俗名鲢鱼, 是中国淡水

水养殖最为普遍的经济鱼类,肉厚刺少,肉质白嫩,蛋白质含量为 15%~20%,且含有人体中所必须的各类氨基酸,易消化吸收,是一种优质的动物蛋白资源^[1]。

热加工是鱼类产品加工中极为重要的工艺环节,会引起一系列反应,赋予产品独特的风味、质地和色泽。鱼肉在受热的过程中各项指标的变化在很大程度上会影响最终产品的质量和得率,在实际生产过程中,如果工艺控制不当,会给生产企业带来经济损失^[2-4]。而在热加工对鱼肉品质的影响研究中,未见有对草鱼肉各项指标、营养价值及挥发性风味物质等的变化做综合评价,因此本试验以草鱼为研究对象,对草鱼的各项基本指标、蛋白质组成和挥发性风味物质等在加热过程中的变化进行研究,以鱼肉质、质地、外形、营养价值及风味成分为综合评价指标,以选择经济合理的热处理温度,旨在为草鱼的合理加工利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

草鱼:体重 2.0~3.0 kg,购于长沙市湘梓超市。

1.2 仪器与设备

全自动色差仪:CR-400 型,日本柯尼卡美能达公司;

质构仪:TA-XT2i 型,英国 SMS 公司;

氨基酸分析仪:日立 835-50 型,日本岛津公司;

气相色谱质谱联用仪:GCMS-QP2010 型,日本岛津公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料处理 将新鲜草鱼宰杀,去皮,取背部肌肉,切块(2 cm×3 cm×2 cm),称重后装入聚乙烯袋中,封口。将样品分为 5 组,分别置于 60,70,80,90,100 ℃ 的恒温水浴中加热 15 min,使肌肉蛋白质达到指定温度,以未加热的鱼肉为对照组。到设定时间后,取出样品并迅速冷却,待中心温度降到 10 ℃ 以下,再进行各项指标的测定。

1.3.2 失重率的测定 将草鱼块表面水分吸干,迅速用电子

基金项目:国家星火计划重大项目(编号:2011GA770007);湖南省重大科技专项(编号:2010FJ1007-2)

作者简介:陈惠,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:刘焱(1970—),女,湖南农业大学教授,博士。

E-mail:759673079@qq.com

收稿日期:2017-06-15

天平精确称重,记录数据。装入蒸煮袋中,加热冷却后开袋取出鱼肉块,拭干表面水分后,再次精确称重,记录数据^[5]。按式(1)计算失重率。

$$R=\frac{a-b}{a}\times100\%,$$

(1)

式中:
 R ——失重率,%;
 a ——试样加热前的重量,g;
 b ——试样加热后的重量,g。

1.3.3 失水率的测定 参照 GB 5009.3—2010 直接干燥法,测定样品的水分含量^[5],按式(2)计算失水率。

$$P=\frac{(c-d)}{c}\times100\%,$$

(2)

式中:
 P ——失水率,%;
 c ——试样未加热的水分含量,g;
 d ——试样加热后的水分含量,g。

1.3.4 色差的测定 使用色差仪测定鱼块的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。 L^* 为明度指数; a^* 表示红色程度(正值); b^* 表示黄色程度(正值)。

1.3.5 质构特性(TPA)测定 采用 SMS P/36 型探头对样品进行 TPA 测试。参考文献[6~7]的方法,略作修改,确定测定参数:测试前速度 2 mm/s,测试速度 1 mm/s,测试后速度 5 mm/s,压缩程度 35%,往复压缩 2 次,2 次之间停留时间 5 s,触发类型自动,触发力 5 g。

1.3.6 热加工前后鱼肉的氨基酸含量测定 取各温度下处理的鱼肉样品及对照组各 5 g,经 6 mol/L 盐酸水解后,采用日立 835-50 型高速氨基酸分析仪测定水解氨基酸含量。

1.3.7 鱼肉的挥发性风味成分测定

(1) 自动顶空—固相微萃取:取处理后搅碎的鱼肉 5 g 于 15 mL 顶空瓶中,用垫片密封后固定于磁力搅拌器上,插入萃取头,推出纤维探头于样品的上部,60 ℃ 萃取 30 min,将萃取好的探头取出热解吸 5 min,温度 250 ℃。

(2) 色谱条件:TR-5MS 弹性毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);升温程序:初始柱温 40 ℃,保持 3 min,以 5.0 ℃/min 升至 270 ℃,保留 5 min;载气(He)流速 1.0 mL/min,1 min 进样不分流;进样口温度 250 ℃。

(3) 质谱条件:传输线温度 250 ℃,EI 电子能量 70 eV,离子源温度 200 ℃,扫描质量范围为 33~500 amu。

挥发性物质通过 NIST 和 Wiley 谱图库进行解析,再通过面积归一化法求得各挥发性物质的相对百分含量。

1.3.8 数据分析 各组试验数据均重复 3~5 次,用 Excel 和 SPSS 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 失重率与失水率的比较

肉类在加热中重量会明显减轻^[8],并出现脱水现象。图 1 为草鱼鱼块热加工处理后失重率和失水率随温度变化的曲线。

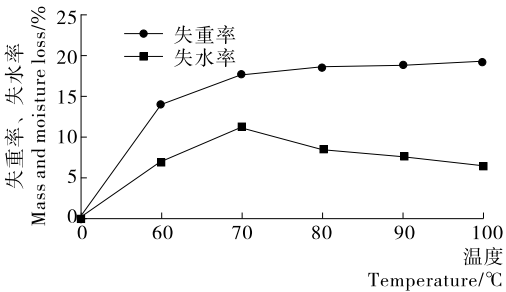


图 1 草鱼肉块在不同加工温度下的失重率、失水率比较
Figure 1 Effects of heating temperature on rate of mass and moisture loss of grass fish ($n=3$)

由图 1 可知,在热加工过程中,随着温度的上升,草鱼肉的损失不断增加,到 100 ℃ 时失重率达到 19.19%。由于在热加工过程中,鱼肉块水分以及一些可溶性含氮化合物溶出、脂肪分离等造成重量变化。同时草鱼肉的水分含量也降低了,这是因为加热使肌肉收缩排出水分,同时蛋白质的保水性变差,处于易脱水的状态^[9]。但与失重率的变化趋势不同的是,失水率在 70 ℃ 时达到最大值(11.26%),在 70~100 ℃ 时失水率出现下降。因为较高温度处理后的鱼肉中含有的胶原蛋白在高温作用下转化为明胶,吸收了部分水分,减少了鱼肉中水分的流失^[10]。总体而言,失水率要低于失重率,尤其在高温下,失水率降低而失重率仍在持续升高,因此加热温度过高对于草鱼肉的出品率会造成不良影响。

2.2 色差

不同加热条件对草鱼肉样品中的 L^* 、 a^* 和 b^* 值的变化情况见表 1。

表 1 加热对草鱼肉 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响[†]

Table 1 Effects of heating temperature on brightness, redness and yellowness of grass fish ($n=5$)

加热温度/℃	L^*	a^*	b^*
对照组	42.42±0.34 ^f	0.36±0.04 ^a	2.09±0.16 ^c
60	63.66±0.23 ^c	-0.16±0.26 ^b	8.22±0.15 ^{ab}
70	65.50±0.48 ^d	-0.21±0.07 ^b	9.07±0.19 ^a
80	67.12±0.11 ^c	-0.23±0.14 ^b	9.26±1.32 ^a
90	68.13±0.57 ^b	-0.42±0.30 ^{bc}	8.99±0.19 ^{ab}
100	69.64±0.26 ^a	-0.88±0.06 ^c	7.54±0.06 ^b

[†] 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 1 可知,草鱼肉的 L^* 值随着热处理温度的升高呈上升趋势,且差异显著($P<0.05$); a^* 值随着热处理温度的升高而降低,在感官上也可以看出,草鱼肉的颜色逐渐由红色转变为灰白色,这是由于草鱼肉中球蛋白构象被破坏,亚铁红素氧化被代替所导致的。鱼肉呈现红色,主要是因为含有肌红蛋白和血红蛋白,以及其他一些色素蛋白,这些蛋白含量的变化直接影响着鱼肉的色泽^[11]; b^* 值的变化则是先上升后下降。

2.3 热加工前后草鱼鱼肉质构特性变化

热处理后草鱼肉块质构测定参数见表 2。

表 2 热加工前后鱼肉质构测定参数[†]

Table 2 TPA properties for grass carp after heating (*n* = 5)

加热温度/℃	硬度/g	黏性/(g·s)	弹性	内聚性	咀嚼性/g	回复性
对照组	214.333±97.36 ^b	−26.708±0.72 ^a	0.61±0.01 ^b	0.578±0.01 ^a	75.326±33.14 ^b	0.220±0.04 ^a
60	239.197±52.69 ^{ab}	−27.139±7.75 ^a	0.81±0.02 ^a	0.609±0.04 ^a	116.569±16.23 ^{ab}	0.227±0.01 ^a
70	501.467±68.25 ^a	−23.414±5.83 ^a	0.65±0.08 ^b	0.569±0.08 ^a	212.709±40.86 ^a	0.228±0.01 ^a
80	234.041±105.40 ^{ab}	−18.737±4.79 ^a	0.66±0.04 ^b	0.557±0.03 ^a	88.428±46.71 ^b	0.199±0.03 ^a
90	236.409±58.21 ^{ab}	−21.266±2.61 ^a	0.69±0.06 ^{ab}	0.578±0.04 ^a	76.978±34.45 ^{ab}	0.208±0.03 ^a
100	252.508±41.13 ^d	−16.002±2.41 ^a	0.67±0.06 ^b	0.603±0.04 ^a	103.483±30.42 ^{ab}	0.228±0.02 ^a

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

由表 2 可知,鱼肉经热加工处理后,各质构特性值均有所变化。草鱼肉块经热处理后硬度值的变化最为明显,在 70 ℃时达到最高值,相比对照组约增加了 1.5 倍,这是因为在加热后,鱼肉组织收缩,含水量下降,且蛋白受热变性,形成凝胶,因此硬度明显增加。硬度值越高,相对应产品的“咬感”就越好,但构成肌基质的胶原蛋白持续受高温影响,会部分溶解成明胶而导致鱼肉软化^[12],这也是硬度值并没有随温度升高而持续增加的原因之一。随热加工温度的变化黏性及回复性变化幅度很小,基本保持不变,差异不显著(P>0.05)。经热加工处理后,鱼肉的弹性总体也呈上升趋势,在 60 ℃时达到最高值,但其变化无明显规律。内聚性反映的是鱼肉受咀嚼时保持其完整性的能力,总体呈上升趋势,表示鱼肉咀嚼时细腻,口感好^[13]。咀嚼性的变化趋势与硬度的一致,说明鱼肉的硬度与咀嚼度呈正相关。因此总体而言,经 70 ℃加工处理可使鱼肉的肉质结实,有咀嚼感,质构特性较好。

2.4 热加工前后草鱼鱼肉氨基酸组成分析

对于鱼肉而言,其所含蛋白质营养价值的高低以及其独特风味的呈现都与所含氨基酸种类、数量息息相关,尤其是必需氨基酸、呈味氨基酸的种类和数量。不同加热温度处理后草鱼肉氨基酸组成变化见表 3。

由表 3 可知,在草鱼肉中共测出 15 种氨基酸,包括人体必需的 7 种氨基酸,色氨酸因水解被破坏而未检出。经热处理后,草鱼肉氨基酸总含量增加,在 60 ℃处理的条件下,草鱼肉氨基酸总含量值达到最大(19.24%)。其中必需氨基酸由未热处理时的 5.529% 分别增加到 7.813%,7.703%,6.682%,6.978%,6.678%,其中苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、半胱氨酸、赖氨酸、异亮氨酸和亮氨酸等必需氨基酸相对含量都有一定程度的升高,这是由加热后鱼肉中汁液流失造成的^[14]。而温度>70 ℃温度处理后的草鱼肉因为在升温过程中,鱼肉流失的不仅包括水分,还包括脂肪、小分子蛋白质等物质,且在 70~100 ℃鱼肉水分流失还出现下降的过程,因此相对于 60,70 ℃处理后的鱼肉而言,氨基酸总量降低了。80 ℃条件下处理的鱼肉 *E/N* 值最高(0.687),表明经过热加工处理后草鱼肉蛋白质氨基酸含量增加,必需氨基酸占比也有不同程度的提升,因此其氨基酸热加工后仍具有较好的组成。

表 3 草鱼肉不同温度处理后氨基酸组成分析[†]

Table 3 Amino acid contents in grass carp after heating by different temperatures (*n* = 3)

g/100 g

氨基酸	对照组	60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃	100 ℃
天冬氨酸(Asp)	1.563	2.183	2.157	1.851	1.949	1.879
苏氨酸(Thr) *	0.689	0.935	0.945	0.810	0.849	0.814
丝氨酸(Ser)	0.677	0.883	0.894	0.770	0.801	0.776
谷氨酸(Glu)	2.589	3.572	3.543	3.036	3.183	3.026
脯氨酸(Pro)	0.652	0.608	0.612	0.533	0.531	0.579
甘氨酸(Gly)	1.113	1.000	1.018	0.863	0.893	0.922
丙氨酸(Ala)	0.989	1.210	1.190	1.021	1.071	1.051
缬氨酸(Val) *	0.675	0.976	0.959	0.826	0.873	0.835
蛋氨酸(Met) *	0.510	0.657	0.664	0.590	0.611	0.577
异亮氨酸(Ile) *	0.616	0.891	0.875	0.758	0.797	0.765
亮氨酸(Leu) *	1.194	1.718	1.708	1.465	1.545	1.469
苯丙氨酸(Phe) *	0.476	0.649	0.576	0.551	0.525	0.527
赖氨酸(Lys) *	1.369	1.987	1.976	1.682	1.778	1.691
组氨酸(His)	0.473	0.747	0.729	0.608	0.640	0.618
精氨酸(Arg)	0.984	1.224	1.236	1.047	1.098	1.067
呈味氨基酸	6.254	7.965	7.908	6.771	7.096	6.878
必需氨基酸	5.529	7.813	7.703	6.682	6.978	6.678
非必需氨基酸	9.040	11.427	11.379	9.729	10.166	9.918
<i>E/N</i>	0.612	0.684	0.677	0.687	0.686	0.673
总量	14.569	19.240	19.082	16.411	17.144	16.596

† * 表示人体必需氨基酸;*E/N* 表示必需氨基酸含量/非必需氨基酸含量。

2.5 热加工后鱼肉挥发性风味成分变化

未经处理的淡水鱼普遍带有鱼腥和泥土味,但受热后一般又会产生特有的香气,这些气味成分复杂,通常为烃类、醛类、酮类和醇类等挥发性化合物^[15]。经不同温度热处理后的草鱼鱼肉挥发性风味物质总离子图见图 2,主要挥发性组分及其相对百分含量见表 4。

由表 4 可知,经不同温度热处理后的草鱼肉中共检测鉴定出 88 种匹配度高于 80% 的挥发性风味化合物,并确定了相对百分含量。经检测出的挥发性化合物中有烷烃类化合物 24 种,醛类 19 种,酸类 14 种,酯类 12 种,醇类 9 种,酮类 4 种,其他化合物 5 种,由其相对百分含量可知,醇类和醛类

表 4 挥发性风味物质组成及相对百分含量
Table 4 The composition of volatile flavor components and relative percentage content

化合物 种类	化合物名称	保留时间/ min	相对含量/%				
			60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃	100 ℃
烃类	1,3-辛二烯	6.492	—	2.52	—	3.48	—
	环氧乙烷	6.724	—	—	7.66	—	—
	辛烷	11.830	8.45	—	—	18.15	10.74
	十二炔	13.257	1.43	—	—	—	—
	壬烷	13.246	—	—	—	—	1.34
	1,3-己二烯	13.259	—	0.15	—	0.16	—
	己烷	13.268	—	1.65	1.01	1.30	2.50
	1-硝基己烷	13.746	1.52	—	—	—	—
	庚烷	14.224	—	—	—	—	2.49
	十一碳烯	16.026	—	—	—	—	0.42
	癸烷	16.221	—	—	—	—	0.37
	1-壬烯	16.320	2.52	—	—	—	—
	十二烷	18.614	0.42	—	—	—	—
	十一烷	21.580	0.42	—	—	—	—
	十二烷	21.584	—	—	0.65	—	1.00
	十三烷	21.589	—	0.29	—	—	—
	正-1-十一碳烯	23.048	0.16	—	—	—	—
	十四烷	24.394	0.14	0.08	0.34	—	0.15
	长叶烯	24.860	—	—	—	—	0.09
	环戊烷	25.756	—	—	—	—	0.03
	十五烷	27.039	0.17	0.07	0.45	—	—
	9-十八烯	31.417	0.15	—	—	—	—
	十九烯	31.421	—	—	0.19	—	—
	十七烷	31.916	0.20	0.11	0.93	—	0.16
	小计		15.58	4.76	11.23	23.09	19.29
醛类	己醛	5.548	10.94	5.63	—	22.41	38.96
	2,2-二甲基-3-羟基丙醛	5.695	—	4.97	—	—	—
	庚醛	7.195	—	3.92	2.78	—	—
	反-2-庚烯醛	10.700	0.60	0.21	—	0.20	—
	苯甲醛	10.860	—	0.27	—	0.22	0.94
	正辛醛	12.294	—	2.33	6.45	—	1.83
	反-2-辛烯醛	14.171	1.45	0.88	0.88	0.86	—
	2-甲基苯甲醛	14.509	—	—	0.59	—	—
	壬醛	15.674	5.82	5.40	9.07	6.05	3.47
	反式-2-壬烯醛	17.467	0.49	0.27	—	0.36	—
	十二醛	18.872	0.47	—	0.17	—	—
	癸醛	18.875	—	0.37	—	—	0.76
	2-癸烯醛	20.581	0.80	0.22	0.53	—	—
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	22.250	—	0.32	—	—	—
	2-十一烯醛	23.522	0.70	0.31	0.80	—	—
	反-2-十二烯醛	26.271	0.15	—	—	—	—
	十三醛	27.430	—	—	0.08	0.01	—
	肉豆蔻醛	29.957	—	0.06	0.34	—	—
	十八醛	32.350	—	—	0.11	—	0.07
	小计		21.42	25.16	21.80	30.11	46.03

续表 4							
化合物 种类	化合物名称	保留时间/ min	相对含量/%				
			60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃	100 ℃
酮类	1-辛烯-3-酮	10.651	—	—	0.33	—	—
	2,3-辛二酮	10.942	—	—	2.94	—	—
	2-甲基茚满-1-酮	23.944	0.15	—	0.43	—	—
	香叶基丙酮	25.925	—	0.02	0.09	0.04	—
	小计		0.15	0.02	3.79	0.04	
醇类	1-戊醇	4.927	—	1.88	—	—	—
	正己醇	8.170	49.39	33.98	35.82	38.50	21.61
	1-辛烯-3-醇	11.676	—	17.07	0.36	—	—
	1-辛醇	14.957	—	5.10	—	—	2.61
	2-丙基-1-庚醇	15.081	—	—	—	—	2.85
	四氢薰衣草醇	16.650	—	—	—	—	0.08
	1-壬醇	19.563	1.52	5.88	5.20	2.98	—
	1-萆醇	19.820	2.11	—	—	—	—
	十二醇	21.350	—	—	—	—	0.09
	小计		53.02	63.91	41.38	41.48	27.24
	gamma-丁内酯	10.346	—	0.05	—	0.74	0.30
酯类	2-乙基丁酸烯丙酯	15.454	—	—	—	—	1.61
	丙烯酸 2-乙基己酯	19.575					0.10
	酞酸二乙酯	29.664	0.16	—	—	0.09	—
	邻苯二甲酸二异丁酯	35.878	—	—	0.48	—	0.05
	棕榈酸甲酯	36.914	0.20	0.06	0.41	0.11	0.14
	棕榈酸异丙酯	38.900	—	0.03	0.22	0.07	0.03
	硬脂酸甲酯	40.892	0.09	0.02	0.20	0.05	0.06
	十六酸乙烯酯	42.785	0.12	—	—	—	—
	甘油单油酸酯	46.328	0.09	—	—	—	—
	单硬脂酸甘油酯	46.733	0.07	0.01	0.15	—	—
	1,3-二硬脂酸甘油酯	47.513	0.16	0.02	0.95	—	0.06
	小计		0.89	0.19	2.41	1.06	2.35
	己酸	9.663	—	0.07	—	—	—
	庚酸	15.125	0.49	—	—	—	—
	辛酸	18.161	0.15	—	—	—	—
酸类	亚油酸	18.200	—	—	—	0.39	—
	壬酸	21.038	0.32	0.56	—	—	0.34
	3-乙基庚酸	21.087	—	—	—	0.26	—
	月桂酸	28.891	—	—	0.20	—	—
	肉豆蔻酸	33.531	—	0.03	0.27	0.05	—
	十六碳烯酸	37.425	—	0.03	—	—	—
	棕榈酸	37.799	2.20	1.22	5.42	0.78	1.16
	十八碳烯酸	40.422	0.32	0.96	0.95	0.21	0.24
	油酸	41.285	—	—	3.59	—	0.85
	顺式-十八碳烯酸	41.299	1.72	0.86	—	0.47	—
	硬脂酸	41.692	2.40	1.14	4.79	0.69	1.18
	小计		7.60	4.87	14.82	2.85	3.77
	炔己蚁胺	7.642	—	—	—	—	0.15
	2-戊基呋喃	11.127	—	—	2.82	—	—
其他	N,N-二丁基甲酰胺	21.858	0.32	0.21	0.47	0.35	0.33
	二甲氨基二硫代甲酸钠	24.166	0.90	0.70	1.22	0.74	0.90
	(±)-1,2-二棕榈精	44.052	—	0.06	—	0.04	0.09
	小计		1.22	0.97	4.51	1.13	1.32

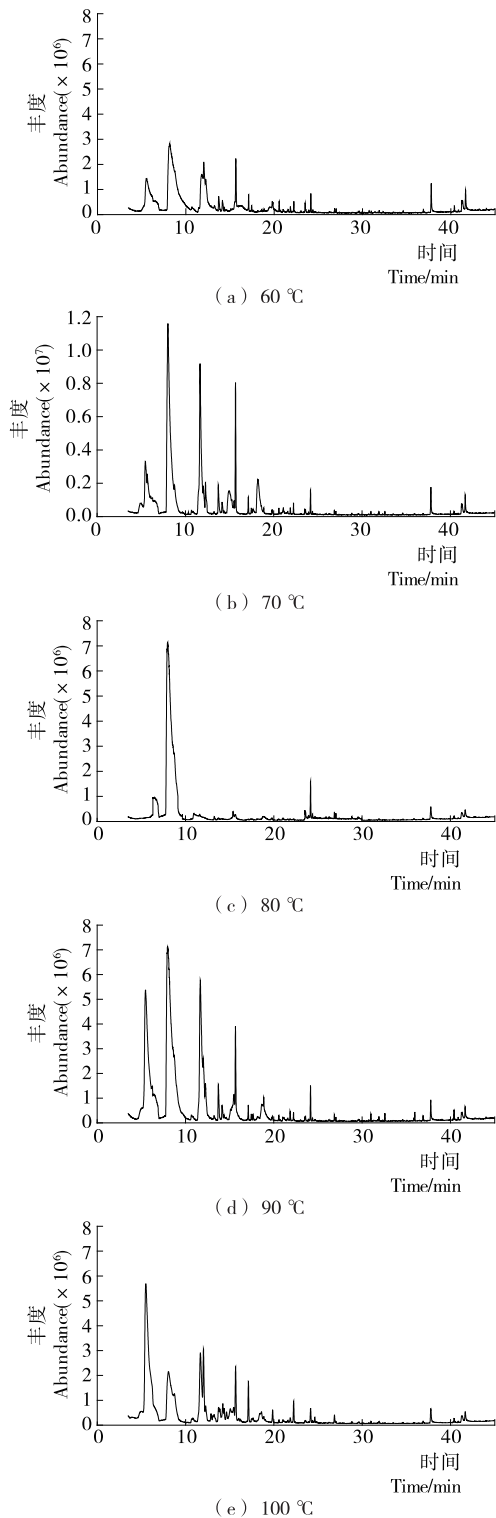


图 2 不同温度条件下挥发性风味物质 GC-MS 总离子流图
Figure 2 Total ion current chromatogram in GC-MS of grass carp at different extraction temperatures

物质在所有样品中相对含量较高,是热处理后鱼肉挥发性风味物质的主要成分。其中,90 °C 处理的草鱼肉中所检测出的烃类挥发性风味物质含量最高,占其总量的 23.09%;100 °C 处理的草鱼肉中醛酮类挥发性风味物质含量最高,占其总量的 46.03%;70 °C 处理的草鱼肉中醇类挥发性风味物质含量最

高,占其总量的 63.91%;80 °C 处理的草鱼肉中酯类及酸类挥发性风味物质含量最高,分别占其总量的 2.41%,14.82%。

醇类由脂质氧化分解生成,一般产生植物香、芳香等比较柔和的气味,对肉类风味贡献较大;酯类化合物一般由酸和醇酯化而成,也是肉品特征香味的重要物质^[16],在草鱼肉热加工过程中,这 2 类物质的含量都随着温度的增加先增加后减少,分别在 70 °C (醇类)和 80 °C (酯类)时达到最高值;其中一些是肉品的重要风味物质,如具有类似蘑菇气味的亚油酸降解物 1-辛烯-3-醇^[17],仅在 70,80 °C 时被检出;具有豆香和青草味的杂环类物质 2-戊基呋喃^[18-19],仅在 80 °C 时被检出,因此 70~80 °C 处理的鱼肉有些许腥味,但肉香味浓郁,可认为其挥发性风味物质组成代表熟鱼肉的风味。而 60 °C 处理的鱼肉,含有十二醛等产生不愉快土腥味的物质^[20],因此鲜味平淡,腥味较重,处于由生鱼肉向熟鱼肉过渡的阶段,因此 60 °C 不适用作草鱼肉热加工的处理温度。醛酮类的气味阈值较低,低含量时可对风味产生较大贡献^[21],其中一些醛类(己醛、苯甲醛等)随温度升高含量明显增加,从表 4 中也可看出在 100 °C 处理后的鱼肉中,此类物质含量最高,因此认为其对熟草鱼肉的风味有较大贡献。

3 结论

(1) 热加工后草鱼肉 L^* 值随热处理温度的升高而升高, a^* 值随着热处理温度的升高而降低, b^* 值的变化则是先上升后下降;草鱼肉硬度值的变化最为明显,较对照组均增加了 1.5 倍,内聚性、咀嚼性的变化趋势与硬度基本一致;且热加工处理后草鱼肉的必须氨基酸占比增加,氨基酸具有较好的组成。

(2) 利用 SPME-GC-MS,在热加工后的草鱼肉中检测出 87 种挥发性成分,烷烃类 24 种,醛类 19 种,酸类 14 种,酯类 12 种,醇类 9 种,酮类 4 种,其他化合物 5 种,其中醇类及醛类物质在所有样品中相对含量最高,是主体物质。

从经济节约的角度出发,草鱼热加工方式宜采用 70~80 °C 进行处理,能保证其品质、蛋白质质量及风味保持在较好的水平。

参考文献

[1] 刘红英, 齐凤生, 张辉. 水产品加工与贮藏[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1-4.
[2] 范三红, 刘晓华, 胡雅楠, 等. 加热处理对鱼肉蛋白质理化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 32(12): 104-107, 112.
[3] 刘洋涛, 陆利霞, 林丽军, 等. 热处理对鱼肉品质的影响研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15 891-15 893.
[4] 贾培培, 王锡昌. 热处理方式对动物源肉类食品品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 388-392.
[5] 孙丽, 夏文水. 蒸煮对金枪鱼肉及其蛋白质热变性的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 22-25.
[6] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5 种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.
[7] 陈桂平. 草鱼低温贮藏期间质构及风味物质变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014: 13.

中较为优良的莲藕品种,特别是其风味物质种类和含量最多,这为开发生产口感醇厚、风味柔和的莲藕食品提供了原料选择依据。

(2) 3 种莲藕的风味成分主要是酯类、烷烃类和芳香烃类,特别是酯类物质含量较多,占总检出物质的 65%左右,鄂莲 5 号鲜藕的风味物质中酯类物质含量甚至达 68.8%。

(3) 莲藕的酯类风味物质主要是邻苯二甲酸二丁酯,其含量达总风味物质的 58%~65%。由于邻苯二甲酸二丁酯是一种常见的增塑剂,虽然其对身体基本无伤害,但是禁止在食品中添加。其来源以及是否会对莲藕制品的安全构成威胁还需要进一步研究。

参考文献

[1] 熊桂云, 童军, 刘冬碧, 等. 湖北省莲藕生产与施肥现状调查[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19): 3 934-3 939.

[2] 金定樑, 夏文水. 柠檬酸亚锡二钠对鲜切莲藕护色作用的研究[J], 食品与机械, 2011, 27(4): 129-132.

[3] 祝美云, 党建磊, 魏征, 等. 壳聚糖复合涂膜保鲜鲜切莲藕的研究[J], 食品与机械, 2010, 26(1): 145-147.

[4] 张华, 董月强, 李星科, 等. 高密度二氧化碳技术对鲜切莲藕酶活性的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 170-172.

[5] 刘小芳, 王发祥, 俞健, 等. 鲜切莲藕冷藏过程中优势腐败菌的分离与鉴定[J], 食品与机械, 2016, 32(4): 148-150.

[6] 邢芳, 王建辉, 何新益, 等. 莲藕脆片组合干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 190-192.

[7] 徐燕燕, 孙杰, 陈雅卉, 等. 莲藕多酚浸提工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 128-132.

[8] 潘凤莲, 章玉平. 莲中生物活性物质研究进展[J]. 广东农业科学, 2010(10): 129-130.

[9] 刘军波, 张慙, 任志灿. 以全藕粉为原料加工藕汁的稳定性及风

味[J]. 食品与生物技术学报, 2011(2): 228-233.

[10] 张文君, 何慧, 杨尔宁, 等. SPME-GC-MS 法检测油炸藕夹挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2012(14): 228-234.

[11] YANGA W J, YUA J, PEIA F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 860-866.

[12] 颜廷才, 邵丹, 李江阔, 等. 基于电子鼻和 GC-MS 评价不同品种葡萄采后品质和挥发性物质的变化[J]. 现代食品科技, 2015(11): 290-297.

[13] GIOVANNI P, LORENZO C, GIUSEPPE P, et al. Composition of commercial truffle flavored oils with GC-MS analysis and discrimination with an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2014, 146(7): 30-35.

[14] CHENG Huan, CHEN Jian-le, CHEN Shi-guo, et al. Characterization of aroma-active volatiles in three Chinese bayberry (*Myrica rubra*) cultivars using GC-MS-olfactometry and an electronic nose combined with principal component analysis[J]. Food Research International, 2015, 72: 8-15.

[15] XU Li-rong, YU Xiu-zhu, LIU Lei, et al. A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 229-235.

[16] 段小明, 张蓓, 冯叙桥, 等. 不同压力处理大米制得米饭冷藏期间风味变化的电子鼻分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 325-330.

[17] 朱丽云, 张拥军, 何杰民, 等. 不同工艺热反应风味香料的电子鼻检测[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 207-212.

[18] 张拥军, 蒋家新, 何杰民, 等. 电子鼻检测改性聚砜膜用于啤酒澄清处理的研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 199-203.

[19] 李靖, 王成涛, 刘国荣, 等. 电子鼻快速检测煎炸油品质[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 236-239.

(上接第 58 页)

[8] 朱蓓薇, 曾名湧. 水产品加工工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 58.

[9] 吕兵, 张静. 肉制品保水性的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(4): 23-26.

[10] LIDA H. Studies on the accumulation of dimethyl-propiothetin and the formation of dimethyl sulfide in aquatic organisms[J]. Bull Tokailey. Fish. Res. Lab, 1998, 25(124): 55-63.

[11] 郑皎皎. 鲤鱼肌肉热加工过程中品质变化的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2014: 28.

[12] 刘铁玲, 何新益, 李昀. 冻藏对鲢鱼、鲤鱼鱼肉质构影响的比较研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 13-18.

[13] 齐海萍 胡文忠, 姜爱丽, 等. 热加工对鲤鱼质构的影响研究[J]. 食品科技, 2011, 27(5): 144-146, 150.

[14] 李凤林, 张忠, 李凤玉. 食品营养学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 24-49.

[15] FRANOIS L, FREDERIC K, BRUNO L, et al. Differentiation of fresh and frozen/thawed fish, European sea bass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*), cod (*Gadus morhua*) and salmon (*Salmo salar*), using volatile compounds

by SPME/GC/MS[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(12): 2 560-2 568.

[16] JIANG Jin-jin, ZENG Qing-xiao, ZHU Zhi-wei. Analysis of volatile compounds in traditional chinese fish sauce[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(2): 266-271.

[17] RIVAS-CANEDO A, JUEZ-OJEDA C, NUNEZ M, et al. Volatile compounds in low-acid fermented sausage “espetec” and sliced cooked pork shoulder subjected to high pressure processing: A comparison of dynamic headspace and solid-phase microextraction[J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 18-26.

[18] 杨锡洪, 解万翠, 吴海燕, 等. 快速发酵金丝鱼挥发性风味成分的 SPME-GC-MS 检测[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 102-105.

[19] 马海建, 施文正, 宋洁, 等. 超高压处理对草鱼鱼肉风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 204-212.

[20] 郑平安, 黄健, 孙静, 等. HS-SPME 结合 GC-MS 法分析鲈鱼肉加热前后挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 242-246.

[21] 严子钧, 施文正, 齐自元, 等. 超高压对鳙鱼鱼糜风味的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 107-112.