

鸡肉酶解液制备鸡汤热反应过程中呈味物质的变化

侯佰慧¹, 夏杨毅^{1,2,*}, 周涛¹, 张维悦¹

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘 要: 以鸡胸肉、木瓜蛋白酶和葡萄糖为原料建立热反应体系, 借助气相色谱-质谱联用仪和全自动氨基酸分析仪, 研究热反应过程鸡肉酶解液呈味物质的变化。结果表明: 随着加热时间延长游离氨基酸和呈味氨基酸含量均显著增加 ($P < 0.05$), 其中苦味氨基酸占主导。实验中共检测出66种挥发性化合物, 对照组中检测出37种, 热反应组分别检测出44、51、52种, 包括醛类25种、烷烃类7种、酮类6种、醇类8种、酸类13种、杂环类1种、芳香类2种、酯类3种、烯炔类1种; 其中共有成分24种。挥发性化合物含量随热反应时间延长而增加, 90 min时达到最大值, 即鸡肉酶解液在热反应条件下更易产生挥发性化合物。

关键词: 酶解液; 鸡汤; 热反应; 氨基酸; 风味

Change of Taste Components in Thermal Reaction Model System Containing Chicken Enzymatic Hydrolysate with Reaction Time

HOU Baihui¹, XIA Yangyi^{1,2,*}, ZHOU Tao¹, ZHANG Weiyue¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

Abstract: In this study, a thermal reaction model system consisting of papain hydrolysate of chicken breast and glucose was built and used to investigate the change of taste components during the reaction process through analysis by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and using an automatic amino acid analyzer. The results indicated that with the increase in heating time, the contents of free amino acids and taste-active amino acids increased significantly ($P < 0.05$), with bitter amino acids being the dominant ones. A total of 66 volatile compounds including 25 aldehydes, 7 alkanes, 6 ketones, 8 alcohols, 13 acids, 1 heterocyclic compound, 2 aromatics, 3 esters and 1 alkene compound were detected, 37 of which were detected in the control group (not heated), and 44, 51 and 52 of which were detected at different reaction times of 30, 60 and 90 min, respectively. Twenty-four volatile compounds were common to these four samples. The content of volatile compounds increased with increasing reaction time, reaching a maximum at 90 min. In conclusion, volatile compounds could be more easily produced from chicken enzymatic hydrolysate under thermal reaction conditions.

Key words: enzymatic hydrolysate; chicken soup; thermal reaction; amino acids; volatile flavor compounds

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201714027

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 14-0175-06

引文格式:

侯佰慧, 夏杨毅, 周涛, 等. 鸡肉酶解液制备鸡汤热反应过程中呈味物质的变化[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 175-180.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201714027. <http://www.spkx.net.cn>

HOU Baihui, XIA Yangyi, ZHOU Tao, et al. Change of taste components in thermal reaction model system containing chicken enzymatic hydrolysate with reaction time[J]. Food Science, 2017, 38(14): 175-180. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201714027. <http://www.spkx.net.cn>

2013年我国鸡肉总产量居世界第2位, 人均消费量仅次于猪肉成为第二大肉品^[1], 鸡肉的加工方式多种多样,

但鸡汤仍是最营养的食用方式。鸡汤因为其具有浓郁的鲜香、较高的食疗和营养价值^[2]而受到人们的青睐。目前

收稿日期: 2016-09-23

基金项目: 四川省科技支撑计划项目 (12ZC2439); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303082-7)

作者简介: 侯佰慧 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: 1580505029@qq.com

*通信作者: 夏杨毅 (1970—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品加工过程质量与安全控制。E-mail: 2658355128@qq.com

国内有关鸡汤的研究主要集中在工艺条件优化^[3-4]和酶解制备香精和调味料方面^[5],对于高效生产工业化鸡汤研究较少。刘玉凌等^[6]在探讨酶解鸡汤熬制过程中蛋白质和氨基酸变化时发现,适度酶解熬制能加快蛋白质类物质的溶出和降解,氨基酸总量增加,缩短了熬制时间,但鸡汤苦味氨基酸也有所增加。国外主要研究鸡汤的风味和活性成分以及杀菌^[7],研究发现添加谷氨酸和肌苷酸的鸡汤香气强度值显著增加,当谷氨酸钠含量从0%增加到0.3%时香气值增大2.5倍,添加量超过0.3%时达到平衡^[8]。研究者在分析土鸡和商用肉鸡制成的脱脂冷冻干燥鸡汤的滋味和生物活性成分时,得出土鸡的甜菜碱、肉毒碱、5'-磷酸肌苷、半胱氨酸含量比肉鸡高,且土鸡的脂质层中亚油酸、 α -亚麻酸、花生四烯酸含量更高而饱和脂肪酸含量更低^[9]。

热反应是汤类煮制工艺中较为复杂、对风味物质影响非常重要的一步,目前有关酶解鸡肉制备鸡汤在热反应过程中风味变化的研究较少。本实验利用木瓜蛋白酶适度酶解鸡肉,结合热反应,初步了解热反应对酶解液制备鸡汤的呈味特性影响,以期为鸡汤工业化研究提供更多理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鸡胸肉市购,放入-23℃低温冰箱冻藏。

葡萄糖、磺基水杨酸、茚三酮、NaCl(均为分析纯) 成都市科龙化工试剂厂;2-甲基-3-庚酮(色谱纯) 美国Sigma公司;木瓜蛋白酶(500 IU/mg) 比利时Enzybel公司。

1.2 仪器与设备

2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;L-8800型全自动氨基酸分析仪 日本日立公司;Avanti J-30I冷冻离心机 美国贝克曼库尔特公司;HH-S6数显恒温水浴锅 常州普天仪器制造有限公司;C21-RT2121电磁炉 广东美的生活电器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

样品预处理:参考刘玉凌等^[6]的方法略作修改,去除表面脂肪和筋膜,切成大小约1 cm×1 cm×1 cm的肉丁,放入搅拌机搅成肉糜,备用。

鸡肉酶解液制备热反应鸡汤:取鸡肉糜40 g,按料液比1:2(g/mL)加水80 mL,根据预实验优化的最佳酶解条件为木瓜蛋白酶0.048 g(2%),55℃恒温水浴酶解60 min,在100℃水中灭酶活3 min,冷冻离心后取上清液40 mL,添加2%葡萄糖,盖层保鲜膜100℃条件下热反应并计时,每隔30 min进行指标测定,未经加热组作为对照。

1.3.2 游离氨基酸组成的测定

准确取样品3 mL于5 mL塑料离心管中,加入0.5 mL 42%磺基水杨酸溶液振荡摇匀。冰箱静置12 h后于13 000 r/min离心2 min,用0.22 μ m滤膜过滤上机分析。

每个样品分析周期53 min,分析时有2个柱,分离柱:4.6 mm×60 mm,洗脱液流速0.4 mL/min,柱温700℃,柱压11.627 MPa;反应柱:茚三酮及茚三酮缓冲液流速0.35 mL/min,柱温135℃,柱压1.078 MPa。

1.3.3 挥发性风味物质的测定

1.3.3.1 顶空固相微萃取

准确称取鸡汤4 mL(精确到0.000 1 g)于15 mL萃取瓶中,加入4 mL饱和食盐水和1 μ L 0.816 μ g/mL标准品2-甲基-3-庚酮,置于90℃水浴中15 min后,插入活化固相微萃取头(250℃、30 min),90℃恒温水浴萃取30 min。

1.3.3.2 气相色谱-质谱分析

气相色谱条件:DB-5 MS毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm,0.25 μ m);压力106.6 kPa;总流量14.4 mL/min;柱流量1.90 mL/min;载气为氦气,分流比5:0;进样口温度250℃;升温程序:起始温度40℃,以12℃/min升至200℃,保持2 min,再以6℃/min升至250℃,保持4 min。

质谱条件:电子电离源;电子能量70 eV;接口温度230℃;离子源温度230℃;检测器电压350 V;质量扫描范围 m/z 40~350。

1.4 数据统计与分析

采用SPSS 19.0和Origin 8.1对相关数据进行处理与分析。

气相色谱-质谱数据定量分析:根据化合物的保留时间,检索质谱谱库(NIST 08和NIST 08S),仅报道相似度高于85%的化合物,确定挥发性化合物结构式及名称,利用内标法计算出挥发性化合物的含量。

2 结果与分析

2.1 热处理对鸡肉酶解液氨基酸含量组成的影响

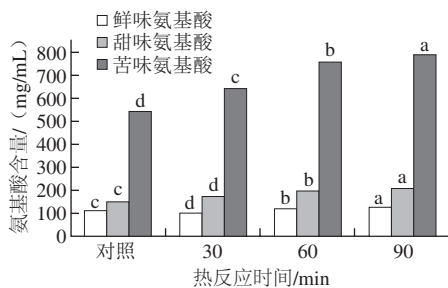
游离氨基酸既是重要的滋味物质,也是香味前体物质,参与美拉德反应和含硫化合物降解,影响鸡汤的整体风味。由表1可知,对照组游离氨基酸总量为943.333 mg/100 mL,其中Phe含量最高为216.314 mg/100 mL,占总量的22.93%,其次是Arg(100.635 mg/100 mL)、Leu(98.380 mg/100 mL)、Lys(92.612 mg/100 mL)。经热反应后,实验组与对照组相比,随着加热时间的延长,游离氨基酸总量均显著增加($P<0.05$),因为在高温条件下随时间延长褐变程度增加,氨基和羰基更易连接发生共价化合反应^[10]。

天冬氨酸 (Asp) 和谷氨酸 (Glu) 作为强度值最高的鲜味氨基酸也显著增加 ($P<0.05$)，这与孙红梅等^[11]的结论相同。Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Val、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg 含量均呈增加趋势，而 Cys、Pro 含量呈先减少后增加变化，Met 含量呈先增加后减少变化，这和热反应过程中蛋白质和氨基酸发生复杂的化学反应有关；加热时间 90 min 时，甜味氨基酸苏氨酸 (Thr) 含量增加了 206.04%，同时苦味氨基酸 Phe、Ile、Tyr 也分别增加了 67.73%、58.65%、49.55%。

表 1 热处理对鸡肉酶解液氨基酸组成含量的影响
Table 1 Effect of heat treatment on amino acid composition in chicken enzymatic hydrolysate

氨基酸	对照	热反应时间/min		
		30	60	90
天冬氨酸 (Asp)	31.369±1.000 ^c	29.405±0.621 ^d	34.835±0.141 ^b	37.340±1.166 ^a
苏氨酸 (Thr)	16.071±0.448 ^c	43.690±0.655 ^b	48.437±0.214 ^a	49.183±1.105 ^a
丝氨酸 (Ser)	30.576±0.259 ^c	29.111±0.469 ^d	34.808±1.249 ^b	36.710±0.476 ^a
谷氨酸 (Glu)	79.242±0.468 ^c	71.173±0.545 ^d	85.242±0.250 ^b	87.885±0.679 ^a
甘氨酸 (Gly)	22.078±0.830 ^c	20.707±0.138 ^d	24.102±0.388 ^b	25.667±0.864 ^a
丙氨酸 (Ala)	63.458±0.946 ^c	61.058±0.187 ^d	71.865±1.337 ^b	75.424±0.996 ^a
半胱氨酸 (Cys)	10.268±0.273 ^c	12.863±0.507 ^b	12.046±0.148 ^b	15.069±0.216 ^a
缬氨酸 (Val)	39.728±1.195 ^d	44.999±0.808 ^c	54.459±1.136 ^b	55.337±0.956 ^a
蛋氨酸 (Met)	39.772±0.616 ^d	45.744±0.865 ^c	64.544±0.923 ^a	56.351±1.101 ^b
异亮氨酸 (Ile)	31.886±0.731 ^d	41.159±0.781 ^c	47.994±0.851 ^b	50.588±0.899 ^a
亮氨酸 (Leu)	98.380±1.111 ^d	107.089±0.818 ^c	125.966±1.654 ^b	131.522±0.938 ^a
酪氨酸 (Tyr)	34.038±0.294 ^d	40.228±0.889 ^c	47.131±0.618 ^b	50.903±1.165 ^a
苯丙氨酸 (Phe)	216.314±2.061 ^d	295.054±1.204 ^c	348.260±1.468 ^b	362.815±2.199 ^a
赖氨酸 (Lys)	92.612±1.644 ^b	93.132±1.306 ^b	110.570±1.021 ^a	112.211±1.124 ^a
组氨酸 (His)	18.901±0.730 ^c	23.072±0.369 ^b	27.818±0.801 ^a	28.051±0.320 ^a
精氨酸 (Arg)	100.635±1.309 ^b	87.961±0.883 ^c	103.747±1.558 ^b	108.246±1.047 ^a
脯氨酸 (Pro)	18.005±0.266 ^b	17.474±0.400 ^b	17.177±0.317 ^b	21.528±0.740 ^a
总量	943.333±2.644 ^d	1 063.919±4.049 ^c	1 258.999±1.417 ^b	1 304.83±5.683 ^a

注：同行不同肩标小写字母代表差异显著 ($P<0.05$)。



相同种类呈味氨基酸柱形图不同小写字母代表差异显著 ($P<0.05$)。

图 1 热反应对鸡肉酶解液中呈味氨基酸含量的影响

Fig. 1 Effect of thermal reaction on the contents of amino acids in chicken enzymatic hydrolysate

由图1可知，对照组鲜味氨基酸含量为13.81%，甜味氨基酸含量为18.76%，苦味氨基酸含量为67.43%，说明鸡肉酶解液中以苦味氨基酸为主，这与陈怡颖等^[12]检测鸡肉酶解液中苦味氨基酸比例达到72.60%占主导地位的研究结果一致。苦味的产生主要是蛋白质水解成疏水

性氨基酸以及苦味肽，还与蛋白质来源、水解条件、酶种类等有关^[13]。有很多研究者针对鸡肉酶解液苦味氨基酸含量较高进行了脱苦研究，主要是通过选择性吸附剂、加入掩盖剂和利用酶的降解等，或者是直接利用苦味受体结合苦味化合物^[14]。Karangwa等^[15]在食品体系中加入具有生物活性的呈味肽^[16]来改善食品滋味，或者在鸡汤中加入 γ -Glu-Val-Gly混合物能明显提高鸡汤的鲜味，使鸡汤口感圆润醇厚^[17-18]。段婷婷^[19]研究发现在合成N-乙酰氨基酸衍生物来降低苦味的同时也能提高体系的浓厚味。也有学者通过复配香菇水解提取物弥补鲜味物质不足，使整体呈味效果更加均衡^[20-21]。随着加热时间的延长，鲜味、甜味和苦味氨基酸含量均显著增加 ($P<0.05$)，原因可能是鸡肉经木瓜蛋白酶水解成包含多肽、小肽、氨基酸等酶解液，经加热蛋白质或肽进一步水解成游离氨基酸，即酶解液经热反应产生的氨基酸量要多于热反应消耗量^[22]，使得整体游离氨基酸含量呈增加趋势，也可能是还原糖的存在使肽的结构发生改变，在高温条件下降解产生游离氨基酸^[23]。

2.2 热处理对鸡肉酶解液风味物质的影响

表 2 热处理对鸡肉酶解液挥发性物质的影响
Table 2 Effect of heat treatment on volatile compounds in chicken enzymatic hydrolysate

				ng/100 mL		
序号	化合物名称	保留 时间/min	对照	热反应时间/min		
				30	60	90
醛类						
1	己醛	3.34	38.16	258.96	179.49	379.95
2	(E)-2-庚烯醛	5.89	6.31	16.86	23.44	75.54
3	苯甲醛	6.00	9.11	72.50	66.07	193.80
4	(E,E)-2,4-庚二烯醛	6.63	0.51	—	—	0.64
5	辛醛	6.77	13.06	76.20	62.72	129.09
6	反-2-辛烯醛	7.85	12.31	38.78	55.41	138.98
7	壬醛	8.77	27.11	149.71	114.79	238.74
8	(E)-壬烯醛	9.85	7.54	23.43	34.86	75.54
9	(E,E)-2,4-壬二烯醛	10.93	3.00	6.74	9.59	23.27
10	反-2-癸烯醛	11.80	22.85	75.87	106.57	192.21
11	(E,E)-2,4-癸二烯醛	12.84	14.56	42.99	55.87	140.89
12	十一醛	12.63	0.99	6.07	3.50	8.61
13	反-2-十一烯醛	13.65	15.63	—	5.18	9.24
14	十二醛	14.43	1.46	7.76	5.94	15.62
15	(E,E)-2,4-十二碳二烯醛	14.66	0.32	—	1.22	2.23
16	十三醛	17.76	11.56	214.96	173.40	397.80
17	3-甲硫基丙醛	5.21	—	0.34	—	—
18	苯乙醛	7.60	—	16.52	15.99	31.88
19	2-十一烯醛	13.67	—	53.78	84.64	147.90
20	癸醛	10.75	—	9.78	6.85	—
21	顺-7-十四烯醛	20.45	—	1.18	5.02	7.33
22	庚醛	4.92	—	—	28.01	65.34
23	4-庚烯醛	13.94	—	—	9.13	40.48
24	十四醛	22.67	—	—	4.26	20.08
25	4-N-戊(烷)基苯甲醛	15.36	—	—	—	5.74
小计			184.48	1 072.43	1 051.97	2 340.90

续表2

序号	化合物名称	保留 时间/min	对照	热反应时间/min		
				30	60	90
烷烃						
26	十三烷	12.49	1.82	—	—	17.21
27	十五烷	15.95	1.26	6.07	6.39	40.48
28	十七烷	19.06	1.34	17.37	9.90	—
29	二十八烷	22.27	0.43	—	2.59	—
30	十六烷	17.54	—	9.10	3.04	21.36
31	3-甲基十一烷	19.97	—	1.69	—	—
32	十二烷	14.26	—	—	4.41	—
小计			4.85	34.22	26.34	79.05
酮类						
33	2,3-辛二酮	6.40	6.35	16.19	13.85	25.50
34	2-壬酮	8.49	1.18	3.71	5.02	3.51
35	2-癸酮	10.46	1.30	3.03	3.04	—
36	3-十一酮	12.16	—	4.38	3.20	—
37	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	15.08	—	3.03	2.13	—
38	二苯甲酮	18.09	—	0.67	—	—
小计			8.83	31.02	27.25	29.01
醇类						
39	反-2-辛烯-1-醇	8.00	2.80	3.88	3.81	7.33
40	1-十六烷醇	17.42	0.32	4.72	1.22	6.69
41	1-辛醇	8.09	13.49	—	24.05	45.58
42	1-壬醇	10.09	0.91	3.71	1.67	2.87
43	反-2-癸烯醇	10.74	1.82	—	—	14.66
44	十二醇	15.54	1.70	5.90	5.79	9.56
45	庚醇	6.12	—	52.77	41.10	—
46	1-辛烯-3-醇	12.16	—	—	—	9.56
小计			21.04	70.98	77.64	96.26
酸类						
47	己酸	3.66	24.31	28.49	—	56.42
48	戊酸	4.78	0.95	—	0.61	1.59
49	十二酸	16.84	0.91	2.87	2.59	3.19
50	十五酸	21.43	1.30	6.24	3.96	2.87
51	十八酸	27.38	2.76	—	—	—
52	癸酸	13.54	—	3.20	2.74	2.87
53	十四酸	19.86	—	16.19	10.81	9.56
54	乙酸	2.74	—	—	4.72	7.33
55	棕榈酸	23.50	—	—	51.15	58.65
56	顺-十八碳烯酸	27.10	—	—	13.09	11.16
57	硬脂酸	27.39	—	—	2.74	3.19
58	(E)-11-二十烯酸	23.00	—	—	—	7.33
59	油酸	27.11	—	—	—	4.46
小计			30.23	56.99	92.41	168.62
杂环类						
60	2-戊基呋喃	6.51	3.83	21.24	20.25	67.26
小计			3.83	21.24	20.25	67.26
芳香类						
61	1-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯	12.28	0.91	—	—	2.23
62	3,5-二叔丁基苯酚	16.04	—	4.72	—	—
小计			0.91	4.72	0.00	2.23
酯类						
63	邻苯二甲酸二异丁酯	21.52	0.28	4.55	2.13	1.28
64	α -戊基- γ -丁内酯	13.59	—	3.71	3.04	5.10
65	丙位十二内酯	15.41	—	3.37	—	—
小计			0.28	11.63	5.18	6.38
烯炔						
66	1-十三烯	15.82	—	1.69	1.67	9.24
小计			—	1.69	1.67	9.24

注：—,未检出。下表同。

由表2可知,实验中共检测出66种挥发性化合物,对照组中检测出37种挥发性化合物,热反应组分别检测出44、51、52种。各实验组挥发性化合物总量变化范围在254.43~2 798.95 ng/100 mL之间,对照组含量最低,随热反应时间延长而增加,90 min时含量达到最高,因此鸡肉酶解液在热反应条件下更易产生挥发性化合物。所有实验组检测出的挥发性物质包括醛类25种、烷烃类7种、酮类6种、醇类8种、酸类13种、杂环类1种、芳香类2种、酯类3种、烯炔类1种;其中共有成分24种,分别是己醛、(E)-2-庚烯醛、苯甲醛、辛醛、反-2-辛烯醛、壬醛、(E)-壬烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、反-2-癸烯醛、十一醛、十二醛、十三醛、十五烷、2-壬酮、2,3-辛二酮、反-2-辛烯-1-醇、1-十六烷醇、1-壬醇、十二醇、十二酸、十五酸、2-戊基呋喃、邻苯二甲酸二异丁酯。

热反应条件下,己醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、十一醛、十二醛、苯乙醛这些挥发性化合物含量随加热时间的延长先减少后增加,(E)-2-庚烯醛、反-2-辛烯醛、(E)-壬烯醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、反-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、2-十一烯醛、顺-7-十四烯醛含量与加热时间呈正相关。Noleau等^[24]指出热反应时会产生烯醇和二烯醇等特征风味物质,实验中随着热反应时间延长烯醇和二烯醇含量也增加。其中阈值较低、对鸡汤风味贡献较大的己醛、壬醛、2,4-癸二烯醛随热反应时间变化而变化,具有浓郁油脂香味的2,4-癸二烯醛含量在热反应90 min后比对照组增加了10倍,因为鸡汤中的脂类在低温条件下氧化生成大量己醛,而在高温长时间条件下则更易氧化产生2,4-癸二烯醇。苯甲醛能够赋予鸡汤浓厚的脂香,实验组苯甲醛的含量随时间延长而增加,在90 min时是对照组的20倍,这可能是通过苯丙氨酸降解产生的^[25],在高温条件下氨基酸会不断代谢生成醛醇等物质。

表3 热处理对鸡肉酶解液挥发性物质种类和含量的影响
Table 3 The effect of heat treatments on contents and varieties of volatile compounds in enzymatic chicken soup

热处理条件	化合物	醛类	烷烃类	醇类	烯炔类	酯类	酮类	芳香族	杂环类	酸类	总计
对照	种类	16	4	6	—	1	3	1	1	5	37
	含量/(ng/100 mL)	184.48	4.85	21.04	—	0.28	8.83	0.91	3.83	30.23	254.44
30 min	种类	18	4	5	1	3	6	1	1	5	44
	含量/(ng/100 mL)	1 072.43	34.22	70.98	1.69	11.63	31.02	4.72	21.24	56.99	1 304.92
60 min	种类	22	5	6	1	2	5	—	1	9	51
	含量/(ng/100 mL)	1 051.97	26.34	77.64	1.67	5.18	27.25	—	20.25	92.41	1 302.71
90 min	种类	23	3	7	1	2	2	1	1	12	52
	含量/(ng/100 mL)	2 340.90	79.05	96.26	9.24	6.38	29.01	2.23	67.26	168.62	2 798.95

醛类阈值较低具有脂肪香味,是评价肉类食品风味的可靠指标^[26]。由表3可知,醛类总量的变化范围为184.48~2 340.90 ng/100 mL,占挥发性化合物总量的

72.50%~83.63%，热处理后的醛类含量超过对照组5.7倍以上，因为高温有助于美拉德反应的进行，随着时间延长蛋白质和氨基酸发生降解和代谢生成香味前体物质，说明热处理有助于酶解液中醛类的产生。与对照组相比烷烃种类没有明显变化，但含量显著增加，范围为4.85~79.05 ng/100 mL，烷烃类物质阈值较高，虽不直接影响鸡汤的整体风味但参与杂环物质生成^[27]。酮类总量变化范围为8.83~31.02 ng/100 mL，含量不高但作为一种羰基化合物对鸡汤特征风味形成有重要意义，检测出的1,2-二(呋喃-2-基)-2-羟基乙-1-酮含有呋喃环，进一步反应可能会生成杂环类化合物。

醇类总量的变化范围为21.04~96.26 ng/100 mL，含量随加热时间延长而增加。具有较高阈值的饱和醇对鸡汤风味贡献不显著，然而在热反应达到90 min后检测到1-辛烯-3-醇的存在，这种醇类会使鸡肉酶解液产生金属味、土腥味等，有研究者认为1-辛醇-3-醇相比其他醇类物质对鸡汤风味影响更大^[28]。同时，具有腥味的1-辛醇在90 min时含量显著增加，进一步说明热反应体系使鸡汤特征风味物质含量增加的同时部分不良气味物质相应增加。

酸类物质是由醛酮氧化或脂肪酸降解产生能够有效地修饰风味，酶解液经热处理后酸类化合物的含量和种类均增加，总量变化范围为30.23~168.62 ng/100 mL。

酯类总量的变化范围在0.28~11.63 ng/100 mL之间，鸡肉脂肪氧化产生的醇能够与脂肪酸发生反应生成具有香味的酯类，提高鸡汤的整体滋味和风味。Wasserman等^[29]认为丙位十二内酯在鸡汤风味形成中具有重要作用，本实验检测到的酯类化合物较少，仅热反应30 min条件下检测到丙位十二内酯，一方面可能是因为原料预处理阶段用的鸡胸肉剔除了表面脂肪，鸡肉酶解液中脂肪含量较低，另一方面可能是提取方法不同产生差异。

本实验芳香类化合物检测出2种分别是1-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯、3,5-二叔丁基苯酚，烷烃类检测出1种1-十三烯，杂环类检出1种2-戊基呋喃。其中2-戊基呋喃在热反应90 min时含量最高，比对照组增加了17.6倍。在各类肉味香精中呋喃类物质是必不可少的，由于呋喃阈值很低，即使这类物质含量很少也会对风味贡献显著^[30]，曾晓房^[31]在研究鸡骨架酶解制备鸡肉香精时所检出含量最高的呋喃化合物也为2-戊基呋喃。

3 结 论

探讨热处理对鸡肉酶解液制备鸡汤呈味特性影响，其中游离氨基酸和呈味氨基酸含量均随加热时间的延长显著增加($P<0.05$)，热反应90 min时达到最大值。对照组游离氨基酸总量为943.333 mg/100 mL，其中Phe含

量最高为216.314 mg/100 mL，占总量的22.93%，其次是Arg、Leu、Lys。天冬氨酸(Asp)和谷氨酸(Glu)作为强度值最高的鲜味氨基酸也显著增加($P<0.05$)。加热时间90 min时，甜味氨基酸苏氨酸(Thr)含量增加了206.04%，同时苦味氨基酸Phe、Ile、Tyr也分别增加了67.73%、58.65%、49.55%，鸡肉酶解液热反应制备的鸡汤以苦味氨基酸为主。

所有样品共检测出66种挥发性化合物，对照组检测出37种，热反应组分别检测出44、51、52种。所有实验组检测出的挥发性物质包括醛类25种、烷烃类7种、酮类6种、醇类8种、酸类13种、杂环类1种、芳香类2种、酯类3种、烯炔类1种，其中共有成分24种。各实验组挥发性化合物总量变化范围在254.43~2 798.95 ng/100 mL之间，对照组含量最低，实验组挥发性风味物质含量随热反应时间延长而增加，90 min时含量达到最高，因此鸡肉酶解液在热反应条件下更易产生挥发性化合物。对风味贡献最大的醛类占挥发性化合物总量的72.50%~83.63%，热处理后的鸡肉酶解液醛类含量超过对照组的5.7倍，高温有助于美拉德反应的进行，随着时间延长蛋白质和氨基酸发生降解和代谢生成香味前体物质，即热处理有助于醛类物质的产生。鸡肉酶解液热反应体系使鸡汤特征风味物质含量增加的同时部分不良气味物质相应增加。

参考文献:

- [1] 文杰. 国内外肉鸡产业现状及未来发展对策[J]. 北方牧业, 2016(2): 18-19.
- [2] 周玮婧, 孙智达. 鸡汤的营养成分及食疗功能研究进展[J]. 食品科技, 2008, 33(9): 261-264. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2008.09.077.
- [3] 李艳利, 刘姝韵, 王雪峰, 等. 美味牛肝菌土鸡汤工艺配方的优化[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(31): 193-195. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2015.31.074.
- [4] 杜华英, 叶慧, 高国清, 等. 不同熬制方法对鸡汤品质的影响[J]. 肉类研究, 2013, 27(7): 26-29.
- [5] 陈雅韵, 夏杨毅, 李洪军, 等. 酶解鸡汤的流变学特性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 107-110. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.012.
- [6] 刘玉凌, 陈雅韵, 夏杨毅, 等. 酶解鸡汤熬制过程中蛋白质和氨基酸的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 235-238. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.24.042.
- [7] ATES M B, RODE T M, SKIPNES D, et al. Modeling of *Listeria monocytogenes* inactivation by combined high-pressure and mild-temperature treatments in model soup[J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(2): 279-287. DOI:10.1007/s00217-015-2539-2.
- [8] NISHIMURA T, GOTO S, MIURA K, et al. Umami compounds enhance the intensity of retronasal sensation of aromas from model chicken soups[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 577-583. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.036.
- [9] JAYASENA D D, JUNG S, ALAHAKOON A U, et al. Bioactive and taste-related compounds in defatted freeze-dried chicken soup made from two different chicken breeds obtained at retail[J]. Journal of Poultry Science, 2015, 52(2): 156-165. DOI:10.2141/jpsa.0140093.

- [10] 郑晓杰, 林胜利, 聂小华, 等. 温度对鸡骨酶解液美拉德反应产物光谱特性和挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 127-132. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201508025.
- [11] 孙红梅, 张春晖, 李侠, 等. 鸡骨素及其酶解液Maillard反应产物滋味成分研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(8): 1872-1877.
- [12] 陈怡颖, 张玥琪, 孙颖, 等. 鸡肉及其酶解液挥发性风味成分的对比分析[J]. 精细化工, 2015, 32(4): 426-433. DOI:10.13550/j.jxhg.2015.04.014.
- [13] BUMBERGER E, BELITZ H D. Bitter taste of enzymic hydrolysates of casein[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1993, 197(1): 14-19. DOI:10.1007/BF01202693.
- [14] 陈兆斌. 氨基酸的苦味淬灭研究及评价模型的构建[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [15] KARANGWA E, ZHANG Xiaoming, MUREKATETE N, et al. Effect of substrate type on sensory characteristics and antioxidant capacity of sunflower Maillard reaction products[J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(5): 939-960. DOI:10.1007/s00217-014-2398-2.
- [16] 林萌莉. 鲜味肽功能及制备安全性研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [17] TAKASHI M, KAWASAKI H, KURODA M, et al. Effect of akokumi peptide, γ -glutamyl-valyl-glycine, on the sensory characteristics of chicken consommé[J]. Flavour, 2015(4): 1-8. DOI:10.1186/2044-7248-4-17.
- [18] TAKEAKI O, AMINO Y, NAGASAKI H, et al. Nvolvement of the calcium-sensing receptor in human taste perception[J]. Journal of Biological Chemistry, 2010, 285(2): 1016-1022. DOI:10.1074/jbc.M109.029165.
- [19] 段婷婷. 含氨基酸结构的浓厚感物质及苦味抑制剂研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. DOI:10.7666/d.Y2803317.
- [20] 赵静, 丁奇, 孙颖, 等. 香菇菌汤及酶解液中滋味成分及呈味特性的对比分析[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 99-104. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201624015.
- [21] 冯珍泉, 郝武斌, 袁军, 等. 鲜味物质对鸡汤鲜味及风味的影响[J]. 中国食品添加剂, 2016(10): 97-101. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2016.10.008.
- [22] 成坚, 刘晓艳. 加热过程对鸡肉风味前体物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 146-148. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2005.01.039.
- [23] LAN Xiaohong, LIU Ping, XIA Shuqin, et al. Temperature effect on the non-volatile compounds of Maillard reaction pro-ducts derived from xylose-soybean peptide system: further insights into thermal degradation and cross-linking[J]. Food Chemistry, 2010, 120(4): 967-972. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.11.033.
- [24] NOLEAU I, TOULEMONDE B. Volatile components of roast chicken fat[J]. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 1987, 20(1): 37-41.
- [25] XIE J C, SUN B G, WANG S B. Aromatic constituents from Chinese traditional smoked-cured bacon of Mini-pig[J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 329-340. DOI:10.1177/1082013208098331.
- [26] 谢伟, 刘登勇, 徐幸莲, 等. 不同卤水复卤对盐水鸭风味的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(3): 664-666. DOI:10.3969/j.issn.1000-4440.2010.03.043.
- [27] 赵琴, 张立彦, 曾清清, 等. 不同熬煮方法对鸡骨汤风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 314-319. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.07.057.
- [28] 林翔云. 香精香料词典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 381-382.
- [29] WASSERMAN A E. Symposium on meat flavor chemical basis for meat flavor[J]. Journal of Food Science, 1979, 44(1): 6-11. DOI:10.1111/j.1365-2621.1979.tb09993.x.
- [30] 吴昊, 许时婴. 牛肉风味料的香气成分[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(2): 158-163. DOI:10.3321/j.issn:1673-1689.2001.02.011.
- [31] 曾晓房. 鸡骨架酶解及其产物制备鸡肉香精研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2007.