

基于智能燃气灶的乌鸡汤炖制工艺分析

黄佳露¹, 王凤丽¹, 刘若男¹, 刘冬梅¹, 覃丽明², 姚家前², 周鹏¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122) (2. 华帝股份有限公司, 广东中山 605567)

摘要: 为探讨鸡汤炖制方式与鸡汤品质之间的关系, 以乌骨鸡为原料, 家庭用智能燃气灶为设备, 通过分析不同的炖制时间和炖制方式对乌鸡汤的感官品质的影响, 测定不同乌鸡汤的游离氨基酸含量和嘌呤含量, 并采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术 (SPME-GC-MS) 测定乌鸡汤中挥发性风味物质, 确定出现代家用智能燃气灶的乌鸡汤炖制条件: 中档烧开后继续滚煮 10 min, 然后转低档小火炖制 30 min。结果表明, 在此条件下炖制的乌鸡汤呈乳黄色、表面有小粒浮油、汤汁黏度适中, 鸡汤香味浓郁, 鲜味较适中, 滋味醇厚。该条件的汤中风味氨基酸共 17 种, 含量达到 35.47 mg/100 mL; 嘌呤共 4 种, 含量达到 154.74 mg/L; 挥发性风味物质共 33 种, 其中烃类 12 种、醛类 12 种、酮类 3 种、醇类 4 种、含氮和含硫化物各 1 种, 烃类占 13.4%、醛类占 71.26%、酮类占 2.29%、醇类占 11.73%、含氮化合物占 0.4%、含硫化物占 0.92%。比较四种煲汤模式的样品, 中档烧开后炖 10 min, 转低档炖 30 min 后炖制的样品风味佳、营养丰富、嘌呤含量较低且时间较短, 是一种营养健康的炖制方式。

关键词: 智能燃气灶; 乌鸡汤; 感官评价; 游离氨基酸; 嘌呤; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2020)09-251-259

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0205

Process Analysis of the Stewing Method of Silky Fowl Soup Based on Intelligent Gas Stove

HUANG Jia-lu¹, WANG Feng-li¹, LIU Ruo-nan¹, LIU Dong-mei¹, QIN Li-ming², YAO Jia-qian², ZHOU Peng¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

(2. Vatti Corporation Limited, Zhongshan 605567, China)

Abstract: The relationship between the quality of chicken soup and stewing way was explored by using silky fowl and intelligent kitchen gas as raw material and equipment, respectively, and the effects of different stewing way and time on the sensory quality of chicken soup were analyzed through determining the contents of free amino acid and purine, and the volatile aromatic compounds were identified using solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The best silky fowl soup stewing condition was determined: cooking the silky fowl soup to a boil for 10 min, and then turning to low heat and cooking for 30 min. The results showed that the stewed chicken soup under this condition had little grain of floating oil with creamy yellow color and the viscosity was moderate with rich aroma and delicious taste. The soup was found to contain 17 free amino acids and 4 purines, and their contents were 35.47 mg/100 ml and 154.74 mg/L, respectively. A total of 33 volatile components were identified in the soup, including 12 hydrocarbons, 12 aldehydes, 3 ketones, 4 alcohols, and 2 nitrogen compounds and sulfur compounds, and the percentage were accounted for 13.4%, 71.26%, 2.29%, 11.73%, 0.4% and 0.92%, respectively. Compared with the samples of four kinds of stewing modes, the samples with medium-grade boiling for 10 min and low-grade stewing for 30 min have good flavor, rich nutrition, low purine content and short time, which is a kind of healthy and nutritious stewing way.

Key words: intelligent kitchen gas; silky fowl soup; sensory evaluation; free amino acid; purine; flavor compounds

引文格式:

黄佳露, 王凤丽, 刘若男, 等. 基于智能燃气灶的乌鸡汤炖制工艺分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 251-259

HUANG Jia-lu, WANG Feng-li, LIU Ruo-nan, et al. Process analysis of the stewing method of silky fowl soup based on intelligent gas stove [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 251-259

收稿日期: 2020-03-04

作者简介: 黄佳露 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 周鹏 (1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品物性、乳制品和水产品加工

乌骨鸡 (*Gallus geiuis demesticus brissen*), 英文名 silky fowl, 又名泰和乌鸡、丝毛乌骨鸡, 乌鸡肉含有丰富而全面的人体必需营养素, 特别是含大量必需氨基酸和微量元素, 其营养价值高于普通鸡肉^[1,2]。乌鸡营养成分分析结果表明, 乌骨鸡肉中至少含有 17 种以上氨基酸, 其中人体必需的 10 种氨基酸含量丰富。其次, 乌骨鸡中含 26 种元素, 其中 Mg、Zn、Se、Fe 等含量丰富^[3]。乌骨鸡中具有抗癌作用的黑色素含量较其它畜禽肉要高得多, 其营养价值高于一般的肉用或蛋用鸡, 不仅是滋补身体的佳品, 而且兼备药用价值。

鸡汤在熬制过程中, 其中的一些水溶性成分便溶解到鸡汤中, 并随着加热时间的延长, 鸡汤中营养素的含量也不断增加^[4]。鸡汤中含有 2% 的浸出含氮物质和蛋白质浸出物, 主要有肌凝蛋白原、肌肽、肌酐和一些嘌呤碱、氨基酸等物质。另外鸡汤中的含硫化合物也赋予了鸡汤独一无二的风味。鸡汤内同样含有脂肪、无机盐、维生素和氨基酸等营养素^[5]。虽然鸡汤中营养物质不如鸡肉高, 但其中的一些化合物能引起中枢神经系统的兴奋, 刺激胃黏膜, 促进胃酸分泌、增进食欲、促进消化, 并且经过长时间的熬制, 各种营养物质经过了初步水解, 使人体更容易吸收消化。鸡汤里富含各种人体所需的营养成分, 对人体新陈代谢过程影响相当重要。

随着智能厨电行业的飞速发展, 越来越多的智能厨电企业希望将模式菜单简单化、集成化, 从而实现消费者在交互界面前端的简易操作, 为消费者的家庭

烹饪提供最大的便捷。智能燃气灶的出现, 很好地将电煮锅功能和明火烹饪等功能整合为一体, 实现了家庭烹饪的简约化和多样化。目前, 智能燃气灶行业亟待解决的主要问题是, 各种食材加热的程序确定和优化, 从而为实现智能烹饪提供数据支持。

本研究旨在通过测定乌鸡汤的游离氨基酸、嘌呤和风味成分等指标, 同时结合感官评价指标, 确定出乌鸡汤的炖制条件, 从而为家庭用智能燃气灶一键化烹饪方式的实现提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

乌鸡; 生姜; 盐; 饮用自来水等。

三氯乙酸、高氯酸、氢氧化钾、磷酸二氢钾、甲醇(色谱纯)等。腺嘌呤、鸟嘌呤、次黄嘌呤和黄嘌呤标准品, 美国 Sigma 公司; 其他试剂均为分析纯。

1.2 实验仪器

智能燃气灶; PL 2002 型电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; Agilent 1100 高效液相色谱系统、Agilent Hypersil ODS 柱 (5 μm, 4.6 mm×250 mm); Waters 2695 型 HPLC、2489 UV 检测器、C18 色谱柱 (5 μm, 4.6 mm×250 mm) GC-MS 气质联用仪。

1.3 实验方法

1.3.1 乌鸡汤炖制

表 1 乌鸡汤炖制模式

Table 1 The stewing mode of silky fowl soup

分组	炖制模式	炖制时间/min	总时间/min
A	高档烧开后, 低档炖 30 min	30	34.5
B	高档烧开后, 低档炖 60 min	60	64.5
C	中档烧开后炖 10 min, 转低档炖 30 min	40	46
D	低档烧开后, 转低档炖制 (总时间 90 min)	76	90

将购买的乌鸡(带骨, 没有内脏)切成均匀大小的肉块, 放入冷水中, 水开后焯 1 min, 上冷水冲洗, 沥干, 称质量。将鸡肉冷水下入实验锅中, 并按照 100:1:500 (肉:姜:水)的比例加入肉、姜和水, 进行炖制, 炖制结束前 10 min 加入盐(肉:盐=100:1)。

鸡汤煮制好后, 去除上层黏稠鸡油, 取清液冷却至室温后放入 4 °C 冰箱贮藏备用。

1.3.2 乌鸡汤感官评定^[6]

取刚煲出来的鸡汤盛入洁净杯子中, 10 名学生品尝样品, 并按照表 2 的评分标准分别给各种样品感官品质打分, 感官品质评价细分成 6 项, 每项权重各不相同, 分别记为 (X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆), 总分记为 X, $X=0.1X_1+0.15X_2+0.1X_3+0.2X_4+0.25X_5+0.2X_6$ 。

表2 乌鸡汤感官评分标准表

Table 2 Standard and score of sensory evaluation of silky fowl soup

指标	乌鸡汤感官评分标准	评分
色泽 (10分)	鸡汤呈乳黄色或乳白色	9~10
	鸡汤呈米黄色	6~8
	鸡汤呈黄色	3~5
	鸡汤呈白色或无色	0~2
外观 (10分)	汤汁表面有小粒浮油, 可接受	9~10
	有少量大粒浮油, 可接受	6~8
	汤汁表面有大片油脂, 难以接受	3~5
	汤汁被表面油脂完全覆盖, 油脂层较厚, 比较反感	0~2
形态 (10分)	汤汁浓稠适中, 有少量沉淀	9~10
	鸡汤有较多沉淀	6~8
	鸡汤较清澈或较稠	3~5
	鸡汤清澈如水或过于浓稠	0~2
香气 (10分)	鸡汤香味强, 浓郁	9~10
	有鸡汤香味, 香味淡	6~8
	鸡汤香味较弱, 无异味	3~5
	没有鸡汤香味, 有异味	0~2
鲜味 (10分)	鸡汤入口鲜味适中	9~10
	鸡汤鲜味较淡或过于浓郁	6~8
	鸡汤口味清淡, 没有鲜味	3~5
	鸡汤有异味	0~2
滋味		
醇厚感 (10分)	鸡汤口感醇厚, 回味清甘	9~10
	鸡汤醇厚感不足或过于醇厚, 口感纯正	6~8
	鸡汤口味清淡, 醇厚感较差, 无回味	3~5
	没有鸡汤味, 有异味	0~2

1.3.3 乌鸡汤游离氨基酸含量测定^[7]

取汤样, 用 10 g/100 mL 三氯乙酸等体积稀释, 记录稀释倍数, 保证溶液体系中 TCA 终浓度为 5%, 过夜放置。双层滤纸过滤, 取澄清滤液离心, 转速 15000 r/min, 离心 30 min。上清液经 0.22 μm 滤膜过滤, 取 400 μL 于液相样品瓶。

流动相 A: 27.6 mmol/L 醋酸钠-三乙胺-四氢呋喃 (体积比为 500:0.11:2.5), pH=7.2。流动相 B: 80.9 mmol/L 醋酸钠-甲醇-四氢呋喃 (体积比为 1:2:2), pH=7.2。采用梯度洗脱, 洗脱程序为: 0 min, 8% B; 17 min, 50% B; 20.1 min, 100% B; 24.0 min, 0% B; 流动相流速为 1.0 mL/min; 柱温为 40 °C; 紫外检测器 (VWD) 检测波长为 338 nm; 脯氨酸以 262 nm 检测; 氨基酸含量以外标法定量。

1.3.4 乌鸡汤嘌呤含量测定^[8]

将 5 mL 的汤样与 10% (V/V) 的高氯酸 15 mL 混合, 置于沸水浴中水解 1 h, 然后冰冷却至室温。用 1 mol/L 和 0.2 mol/L 氢氧化钾溶液滴定上清液至中性。

将混合物在离心机中离心。过滤, 取滤液 5 mL, 用 1 mol/L 磷酸溶液调节 pH 至 4, 定容至 10 mL。溶液通过 0.22 μm 水系滤膜过滤供 HPLC 分析。

流动相: A 为 7.0×10^{-3} mol/L 的 $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4$ (pH=4.0), B 为甲醇, 采用等度洗脱, 流动相 A 和 B 比例为 99:1, 流速为 1.0 mL/min, 柱温为 25 °C, 检测波长 254 nm, 进样量 20 μL。

1.3.5 乌鸡汤挥发性成分分析^[9]

SPME 条件: 风味物质的萃取采用自动顶空固相微萃取, 准确移取 5 mL 乌鸡汤样品于 20 mL 顶空固相萃取瓶中, 将老化好的 SPME 萃取头插入顶空瓶中, 在 55 °C 水浴中萃取吸附 30 min, 250 °C 下脱附 5 min, 利用 GCMS 分析。

GC 条件: 色谱柱 DB-WAX (30 m×0.25 mm×0.25 μm), 载气 He, 流速 0.8 mL/min, 不分流; 升温程序: 起始温度 40 °C, 保持 3 min; 5 °C/min 升温到 90 °C, 然后以 10 °C/min 的速率升温到 230 °C, 保持 7 min; 汽化室温度 250 °C。

MS 条件: EI 电离源, 电子能量 70 eV, 灯丝发射电流 200 μ A, 离子源温度为 200 $^{\circ}$ C, 接口温度 250 $^{\circ}$ C。检测电压 1000 V, 扫描质量范围为 35~350 m/z 。

1.3.6 数据分析

使用 SPSS 20.0 单因素方差分析 (ANOVA) 评估感官分析、氨基酸和嘌呤的数据。采用 Duncan 检验分析数据的显著性差异 ($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 不同炖制条件下乌鸡汤的感官品质

A 模式中, 由于炖制时间较短, 乌鸡汤较清澈, 汤汁香味不足, 口感不足, 因此在感官评定中得分相对较低。D 模式由于炖制时间较长, 乌鸡汤表面有大粒浮油, 底部有少许沉淀, 外观形态不佳, 因此在评价指标外观和形态得分上得分较低。

鸡肉中的风味前体物质被加热后, 反应生成多种呈味物质, 从而表现出肉类的基本滋味和香气。该反应中最重要的一类就是美拉德反应。美拉德反应是肉类烹饪时发生的主要化学反应之一, 通常发生在氨基化合物和还原糖之间, 并最终生成肉类风味化合物。在该反应的初始阶段, 还原糖的羰基与氨基化合物缩合, 经由糖胺形成了葡糖胺产物。随后, 这些化合物与其他反应成分 (如胺、氨基酸、醛、硫化氢和氨) 发生相互作用, 并形成香气化合物^[10]。由表 3 可知, 不同加热模式烹饪的鸡汤样品的所有感官属性均有显著性差异 ($p < 0.05$), 不同烹饪模式下乌鸡汤的感官属性得分不同。加热的档位火力和时间是影响鸡汤感官指标评价的主要因素。A 模式中, 由于炖制时间较短, 原料中的蛋白质以及其它呈味物质等从原料中浸出程度较低, 因此其滋味不足。C 模式炖制的乌鸡汤整体滋味和香气较好, 得分较高, 表现出口味醇厚, 肉香味浓郁。

表 3 不同炖制条件下乌鸡汤的感官品质

Table 3 The sensory quality of silky fowl soup in different stewing mode

评价指标	A	B	C	D
	高档烧开后, 低档炖 30 min	高档烧开后, 低档炖 60 min	中档烧开后炖 10 min, 转低档炖 30 min	低档烧开后, 转低档炖制 (总时间 90 min)
色泽	6.7 \pm 0.62 ^b	8.6 \pm 0.97 ^a	8.6 \pm 0.82 ^a	7.9 \pm 1.2 ^{ab}
外观	6.1 \pm 0.92 ^b	8.2 \pm 1.23 ^a	7.4 \pm 0.84 ^a	6.7 \pm 1.34 ^b
形态	5.3 \pm 0.51 ^c	8.1 \pm 0.74 ^a	8 \pm 0.94 ^a	6.9 \pm 1.2 ^b
香气	5.8 \pm 0.35 ^b	8.1 \pm 0.74 ^a	8.9 \pm 0.57 ^a	8.9 \pm 0.57 ^a
鲜味	5.6 \pm 0.52 ^c	7.3 \pm 1.06 ^b	9.1 \pm 0.57 ^a	8.4 \pm 0.7 ^{ab}
醇厚感	4.9 \pm 0.52 ^c	7.8 \pm 0.79 ^b	8.7 \pm 0.67 ^a	8.6 \pm 0.97 ^a
总分	5.3 \pm 0.65 ^c	7.91 \pm 0.4 ^b	8.57 \pm 0.39 ^a	8.09 \pm 0.33 ^b

注: 每行数字上标中的字母表示数据的显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.2 游离氨基酸测定结果

氨基酸指的是含有氨基和羧基的一类有机化合物的通称, 是蛋白质的基本组成单位。游离氨基酸是食

品中一类重要的营养物质, 也是一类食品中重要的呈味物质和风味前体物质, 是肉类制品中鲜味物质主要来源。

表 4 不同炖制条件下乌鸡汤的外观

Table 4 The appearance of silky fowl soup in different stewing mode

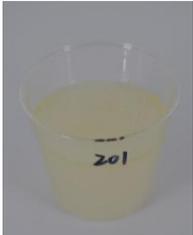
模式	A	B	C	D
	高档烧开后, 低档炖 30 min	高档烧开后, 低档炖 60 min	中档烧开后炖 10 min, 转低档炖 30 min	低档烧开后, 转低档炖制 (总时间 90 min)
外观				

表5 不同烹饪模式下乌鸡汤的氨基酸组成

Table 5 The content of free amino acid in silky fowl soup in different stewing mode (mg/100 mL)

氨基酸名称	A	B	C	D
	高档烧开后, 低档炖 30 min	高档烧开后, 低档炖 60 min	中档烧开后炖 10 min, 转低档炖 30 min	低档烧开后, 转低档炖制 (总时间 90 min)
天冬氨酸 (Asp)	1.57±0.05 ^a	3.24±0.06 ^b	3.28±0.05 ^b	4.35±0.08 ^c
谷氨酸 (Glu)	4.75±0.08 ^a	10.75±0.17 ^b	11.66±0.06 ^c	14.99±0.19 ^d
丝氨酸 (Ser)	0.34±0.15 ^a	0.54±0.01 ^b	0.54±0.02 ^b	0.61±0.02 ^b
组氨酸 (His)	0.44±0.03 ^a	0.86±0.02 ^b	0.94±0.03 ^c	1.01±0.03 ^d
甘氨酸 (Gly)	1.85±0.02 ^a	4.88±0.06 ^b	4.81±0.03 ^b	6.12±0.05 ^c
苏氨酸 (Thr) *	2.65±0.02 ^a	5.46±0.02 ^d	3.81±0.01 ^b	4.77±0.03 ^c
精氨酸 (Arg)	1.04±0.05 ^a	2.43±0.13 ^b	2.38±0.02 ^b	2.97±0.03 ^c
丙氨酸 (Ala)	5.55±0.08 ^a	11.92±0.18 ^b	15.72±0.24 ^c	18.96±0.33 ^d
酪氨酸 (Tyr)	0.63±0.03 ^a	1.46±0.05 ^b	1.88±0.03 ^c	2.38±0.04 ^d
半胱氨酸 (Cys-s)	0.08±0.01 ^c	0.08±0.01 ^d	0.05±0.00 ^a	0.06±0.01 ^b
缬氨酸 (Val) *	1.37±0.01 ^a	2.88±0.01 ^b	3.32±0.02 ^c	4.22±0.05 ^c
蛋氨酸 (Met) *	0.47±0.04 ^c	0.96±0.01 ^c	1.17±0.09 ^a	1.44±0.11 ^b
苯丙氨酸 (Phe) *	0.66±0.03 ^a	1.42±0.01 ^a	1.50±0.01 ^b	1.93±0.03 ^c
异亮氨酸 (Ile) *	0.47±0.01 ^a	1.13±0.01 ^a	1.49±0.01 ^a	1.91±0.02 ^b
亮氨酸 (Leu) *	1.18±0.03 ^a	2.47±0.01 ^b	2.71±0.01 ^c	3.48±0.03 ^d
赖氨酸 (Lys) *	0.01±0.00 ^a	2.58±0.07 ^b	4.28±0.04 ^c	5.28±0.04 ^d
脯氨酸 (Pro)	0.01±0.00 ^a	3.02±0.03 ^c	2.82±0.16 ^b	3.55±0.13 ^d
总量 (TAA)	25.31±0.14 ^a	56.06±0.35 ^b	62.35±0.01 ^c	78.03±0.93 ^d
风味氨基酸 (FAA)	13.71±0.15 ^a	30.79±0.30 ^b	35.47±0.13 ^c	44.42±0.62 ^d
鲜味氨基酸	6.32±0.13 ^a	13.99±0.23 ^b	14.94±0.11 ^c	19.34±0.27 ^d
EAA/TAA (%)	26.87 ^a	30.15 ^b	29.32 ^c	29.53 ^d

注: *为必需氨基酸, 每行数字上标中的字母表示数据的显著性差异 ($p < 0.05$)。

表5反映了烹饪模式下乌鸡汤的氨基酸组成。氨基酸中的天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸都是决定食物鲜味的主要因子, 统称为风味氨基酸 (FAA)。所检测的17中氨基酸中, 天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸含量较高, 其次是苏氨酸、甘氨酸等。

结果表明, 不同加热模式烹饪的鸡汤中游离氨基酸的含量存在差异。五种模式烹饪的鸡汤样品的总游离氨基酸分别为25.31、56.06、62.35和78.03 mg/100 mL。鸡汤在加热过程中游离氨基酸主要是由两种化学反应的动态平衡形成: 蛋白水解成小肽和氨基酸, 以及作为风味前体通过美拉德反应转化为挥发性化合物的游离氨基酸的热降解^[11]。

另外, 谷氨酸和天冬氨酸是食品中两种重要的鲜味游离氨基酸。鲜味游离氨基酸在不同鸡汤样品中的浓度为6.62、13.99、14.94和19.34 mg/100 mL。C和D样品的鲜味氨基酸含量较多, 尤其是D样品, 这可能也是C样品和D样品在感官评价鲜味值中表现出更高分数的原因。

此外, 赖氨酸是人体必需氨基酸之一, 能促进人体发育、增强免疫功能, 提高中枢神经组织功能^[12]。C和D样品中赖氨酸的含量显著高于其他样品。

2.3 嘌呤含量测定结果

针对4个样品进行安全性 (嘌呤含量) 检测, 每个样品均从前处理开始平行测定三次, 样品信息及测试结果见表6。

不同炖煮模式下, 乌鸡汤的嘌呤含量会发生变化。从表可以看出, 随着炖制火力和炖制时间的不同, 汤中的嘌呤含量也随之变化, 而引起这一变化的主要是次黄嘌呤^[13]。

次黄嘌呤是嘌呤核苷酸生物合成过程中的第一个产物, 即6-羟基嘌呤核苷酸 (IMP), 在谷氨酰胺转移酶作用下接受氨基合成腺嘌呤核苷酸 (AMP), 或经氧化生成黄嘌呤核苷酸 (XMP) 后再接受氨基合成鸟嘌呤核苷酸 (GMP)^[13]。随着煮制时间的延长4种嘌呤核苷酸总量和次黄嘌呤核苷酸含量呈明显升高的趋

势,其中次黄嘌呤核苷酸含量在鸡汤嘌呤核苷酸总含量中占很大的比例。IMP 和 GMP 是形成鸡汤特征鲜

味主要原因之一,这可能也是 C 样品和 D 样品在感官评价鲜味值中表现出更高分数的另一原因^[14]。

表 6 不同烹饪模式下乌鸡汤的嘌呤含量

Table 6 The content of purine in silky fowl soup in different stewing mode (mg/L)

嘌呤名称	A	B	C	D
	大档烧开后,小档炖 30 min	大档烧开后,小档炖 60 min	中档烧开后炖 10 min,转小档炖 30 min	小档烧开后,转小档炖制(总时间 90 min)
腺嘌呤+鸟嘌呤	23.66±0.70 ^d	31.71±2.61 ^b	27.11±1.32 ^c	34.65±2.22 ^a
次黄嘌呤	62.83±3.73 ^d	112.29±7.04 ^b	109.08±17.99 ^c	122.51±16.96 ^a
黄嘌呤	15.74±0.28 ^d	19.67±0.41 ^b	18.55±1.17 ^c	20.55±2.21 ^a
总量	102.23±4.71 ^d	163.67±10.06 ^b	154.74±20.48 ^c	177.71±21.39 ^a

注:每行数字上标中的字母表示数据的显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.4 不同炖制条件下乌鸡汤挥发性成分分析

4 种模式下乌鸡汤样品中挥发性成分的 GC/MS 图谱如图 1~图 4 所示,其种类和含量见表 7。A、B、C、D 模式下挥发性物质总个数分别为 27、30、33、31 个,主要都为烃、醛、酮、醇、含硫及含氮化合物等物质。从挥发性成分的相对含量上来看,不同炖煮模式所得乌鸡汤中烃、醛、醇类化合物的相对含量均较高,酮、含氮及含硫化合物的相对含量较低。

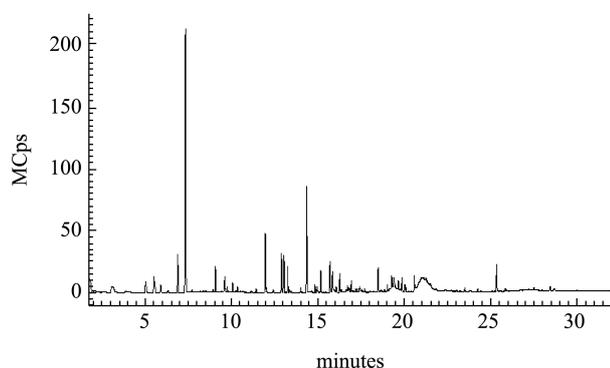


图 1 A 模式乌鸡汤中挥发性风味物质的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of volatility compounds of chicken soup by A mode

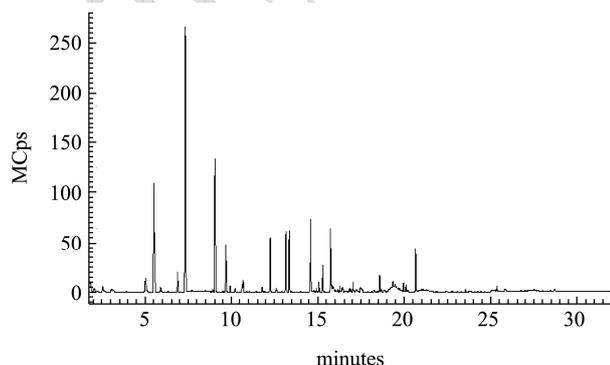


图 2 B 模式乌鸡汤中挥发性风味物质的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatograms of volatility compounds of chicken soup by B mode

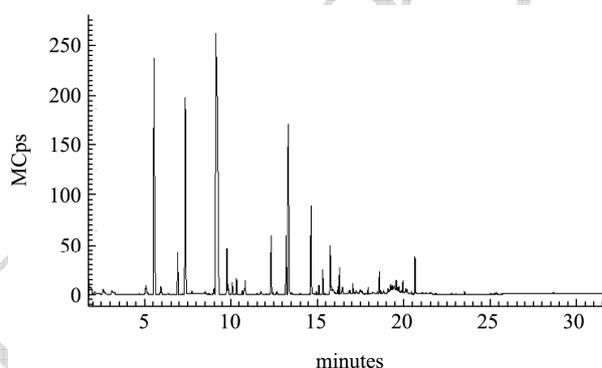


图 3 C 模式乌鸡汤中挥发性风味物质的总离子流图

Fig.3 Total ion chromatograms of volatility compounds of chicken soup by C mode

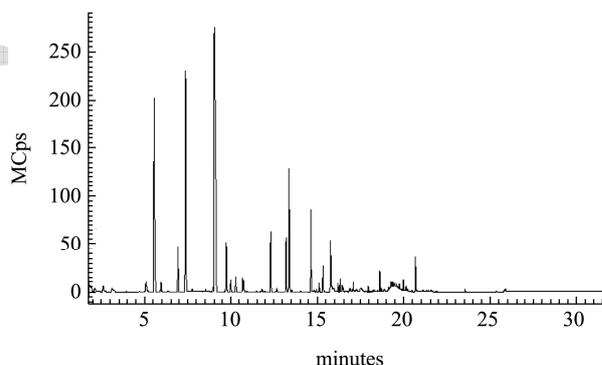


图 4 D 模式乌鸡汤中挥发性风味物质的总离子流图

Fig.4 Total ion chromatograms of volatility compounds of chicken soup by D mode

在检出的所有挥发性风味物质中,烃类化合物数量最多;其次是醛类;醇类化合物总量居第三。烃类物质通常是因为经过高温处理后,其中一些脂类物质发生热降解而产生的。尽管烃类位置的香味阈值比较高,对肉类汤料风味的贡献不是很大,但由于它的种类丰富,对乌鸡汤的总体风味起着关键作用,能够提高鸡汤的整体风味。瘦肉含有肌内甘油三酸酯和结构性磷脂,由于脂质氧化,可以在肉中产生期望的以及不期望的风味,而脂质的轻度热氧化导致熟肉中产生

所需的风味化合物和香气^[15]。鸡肉香味成分中的醛主要来自脂肪氧化，大多是由肌肉中甘油三酸酯中的多不饱和脂肪酸氧化所产生，一般阈值比较低，且具有脂肪香味，醛类化合物对肉类特征风味有重要影响^[16]。有研究报道，2-烯醛、2,4-二烯醛对鸡肉风味有重要的作用，特别是反式-2,4-癸二烯醛^[17]。在鸡汤的风味化合物中，己醛是最丰富的醛类化合物，这可能是因为亚油酸氧化的基本产物是己醛和 2,4-癸二烯醛，而烹饪模式主要是在三档条件下炖制，脂类在低温氧化时，会产生大量的己醛^[18,19]。脂肪氧化的另一主要产物是酮，酮类的相对含量和阈值均没有醛类理想，

但是有学者指出，酮类作为一种羰基化合物对乌鸡汤特征峰的形成也极为重要^[20,21]。因此，脂质对鸡肉风味的影响主要是通过脂肪酸组成和所产生的羰基化合物的差异造成的。

除烃类、羰基化合物之外，有研究报道，煮沸的肉中含有较高含量的含硫杂环化合物，它们的气味阈值较低，一般带有硫磺、洋葱味（有时甚至有肉味）。这些化合物有助于煮熟肉的整体风味和香气^[22]。本实验共检测到 2 种含硫和含氮化合物，包括 2-乙酰基噻唑和二烯丙基二硫，它们都是鸡汤非常重要的挥发性风味物质。

表 7 不同炖煮模式下乌鸡汤挥发性成分种类及相对含量

Table 7 The content and varieties of volatile compounds in silky fowl soup in different stewing mode

分类	名称	保留时间/min				相对含量/%			
		A	B	C	D	A	B	C	D
烃类	2-蒎烯	5.90	5.90	5.90	5.90	1.4±0.17	0.93±0.09	1.65±0.07	2.6±0.31
	正辛烷	/	2.55	2.55	2.55	/	1.28±0.22	1.39±0.07	0.26±0.03
	甲苯	6.32	6.31	6.32	6.31	0.59±0.04	0.26±0.08	0.28±0.04	1.04±0.28
	蒎烯	6.88	6.88	6.88	6.88	5.18±0.58	2.88±0.29	5.66±0.1	6.84±0.69
	6-亚甲基-3-异丙基-1-环己烯	9.91	9.90	9.92	9.99	1.07±0.37	0.83±0.08	1.26±0.35	1.97±0.06
	2-甲基-3-乙基-1,3-己二烯	/	15.06	15.05	15.07	/	1.07±0.01	0.98±0.07	0.73±0.05
	β-倍半水芹烯	/	20.16	20.16	20.18	/	0.13±0.02	0.37±0.14	1.31±0.17
	β-蒎烯	/	/	7.71	7.70	/	/	0.32±0.14	0.2±0.03
	苯乙烯	/	/	11.40	11.46	/	/	0.16±0.04	0.33±0.17
	萜品油烯	/	/	11.85	/	/	/	0.12±0.02	/
	邻二甲苯	/	/	/	8.81	/	/	/	0.41±0.25
	正十九烷	/	/	/	18.11	/	/	/	0.54±0.38
	对二甲苯	9.19	/	/	/	0.22±0.08	/	/	/
	1-癸炔	10.53	/	10.57	10.52	0.62±0.37	/	1±0.46	1.52±0.16
	长叶烯	17.46	/	/	/	0.78±0.3	/	/	/
	十四烷	15.61	/	/	/	0.59±0.07	/	/	/
	正十五烷	17.52	/	/	/	0.31±0.14	/	/	/
	Alpha-姜黄烯	19.92	20.20	20.19	20.21	0.37±0.11	0.12±0.01	0.21±0.18	1.25±0.2
	总量	-	-	-	-	11.13	7.50	13.40	19.00
醛类	顺-6-壬烯醛	17.01	17.03	17.03	17.05	0.98±0.14	1.03±0.13	1.13±0.19	0.75±0.15
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	19.70	/	/	/	1.31±0.93	/	/	/
	正己醛	7.32	7.32	7.32	7.32	38.73±2.82	35.15±1.82	30.33±0.95	33.18±0.71
	戊醛	5.03	5.03	5.03	5.03	1.84±0.4	2.9±0.41	2.37±0.04	2.5±0.19
	庚醛	9.67	9.66	9.68	9.71	6.3±2.94	7.04±0.32	5.14±2.16	6.99±0.87
	正辛醛	12.17	12.23	12.22	12.27	8.82±0.63	7.24±0.58	7.15±0.3	5.88±0.11
	(E)-2-庚烯醛	/	13.14	13.14	/	/	8.96±0.22	6.6±0.61	/
	正癸醛	/	16.43	16.42	16.45	/	0.67±0.18	0.68±0.21	1.43±0.49
	苯甲醛	/	16.87	16.87	16.87	/	0.38±0.01	0.44±0.09	2.73±0.24
	2-十一烯醛	/	19.94	/	/	/	0.94±0.02	/	/

转下页

接上页

	反式-2,4-癸二烯醛	/	/	20.64	/	/	/	4.22±0.36	/
	壬醛	14.52	14.57	14.60	14.60	13.45±0.44	8.62±1.09	9.29±0.92	11.86±0.87
	2-辛烯醛	15.08	15.04	15.07	15.13	2.51±0.34	2.89±0.07	1.74±0.62	2.42±0.26
	反式-2-癸烯醛	18.55	18.57	18.57	18.58	1.7±1.2	1.87±0.17	2.17±0.28	1.8±0.27
	顺式-柠檬醛	19.07	/	/	/	1.06±0.53	/	/	/
	总量	-	-	-	-	76.7	77.69	71.26	69.54
酮类	2-正戊基呋喃	10.61	10.66	10.65	10.75	1.05±0.38	1.61±0.52	1.56±0.2	2.06±0.1
	甲基庚烯酮	13.44	13.47	13.47	13.49	0.31±0.02	0.08±0.01	0.19±0.03	0.41±0.06
	4-辛烯-3-酮	/	/	12.59	/	/	/	0.54±0.04	/
	3-辛烯-2-酮	/	14.91	/	/	/	0.41±0.01	/	/
	1-辛烯-3-酮	/	/	/	12.62	/	/	/	1.13±0.06
	总量	-	-	-	-	1.36	2.10	2.29	3.6
醇类	桉叶油醇	10.19	10.21	10.20	10.22	2.15±0.78	0.48±0.02	2±0.05	1.18±0.06
	蘑菇醇	15.72	15.73	15.74	15.73	3.4±0.46	9.3±0.54	8.65±0.71	3.19±0.34
	正戊醇	/	11.77	11.79	/	/	0.66±0.1	0.6±0.04	/
	4-乙基环己醇	/	16.67	/	/	/	0.33±0.22	/	/
	异蒲勒醇	/	/	17.23	/	/	/	0.48±0.08	/
	4,4,6-三甲基-2-环己烯-1-醇	/	/	/	23.53	/	/	/	0.63±0.09
	L-芳樟醇	17.22	/	/	/	0.24±0.04	/	/	/
	正辛醇	17.46	17.48	/	/	0.82±0.16	0.96±0.25	/	/
	总量	-	-	-	-	6.61	11.73	11.73	5.00
含氮化合物	2-乙酰基噻唑	18.65	18.66	18.66	18.67	0.31±0.08	0.28±0.05	0.4±0.06	1.11±0.13
	总量	-	-	-	-	0.31	0.28	0.4	1.11
含硫化合物	二烯丙基二硫	/	16.15	16.14	16.17	/	0.71±0.44	0.92±0.13	1.75±0.78
	总量	-	-	-	-	/	0.71	0.92	1.75

3 结论

在鸡汤加工工艺条件中, 鸡汤炖制方法和炖制时间是影响鸡汤品质的两个重要参数。目前普遍采用的鸡汤炖制方式如砂锅煲制、电炖锅煲制等的时间都需要 2 h 以上, 时间较长。本文以乌骨鸡为原料、智能燃气灶为设备, 得出乌鸡汤的最佳炖制条件为: 中档烧开后炖 10 min, 转低档炖 30 min, 共需 46 min, 在此条件下, 乌鸡汤炖制时间短、整体滋味和香气较好, 口味醇厚, 肉香味浓郁。汤中游离氨基酸含量相对较高, 为 62.35 mg/100 mL, 且谷氨酸和天冬氨酸两种鲜味氨基酸含量较高, 为鸡汤提供较好的鲜味; 对人体健康有不利影响的嘌呤含量相对较低, 为 154.74 mg/L; 通过采用 SPME-GC-MS 对该条件下的乌鸡汤挥发性成分进行分析, 发现挥发性风味物质有 33 种, 其中醛类和酮类物质含量较多, 分别占 71.26% 和 2.29%, 为鸡汤提供了浓郁的肉类风味和香气。因此, 该模式下炖制的鸡汤在具有较佳感官品质和风味的同时, 嘌呤含量较低, 对痛风病人具有较低风险, 具有

较高的营养价值。

参考文献

- [1] CHEN Guo-shun, CAI Yu, SU Ying-yu, et al. Effects of Spirulin algae as a feed supplement on nutritional value and flavour components of silkie hens eggs [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019, 103(5): 1408-1417
- [2] 谢明勇, 田颖刚, 涂勇刚. 乌骨鸡活性成分及其功能研究进展[J]. *现代食品科技*, 2009, 25(5): 461-465
XIE Ming-yong, TIAN Ying-gang, TU Yong-gan. Review of the bioactive components of black-bone silky fowl and their functions [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2009, 25(5): 461-465
- [3] 田颖刚, 胡清清, 谢明勇. 乌骨鸡与非药用鸡种矿物元素含量特征比较研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(11): 3563-3566
TIAN Ying-gang, HU Qing-qing, XIE Ming-yong. Comparison of mineral element contents in silky fowl and non-medicinal chicken [J]. *Spectroscopy and Spectral*

- Analysis, 2018, 38(11): 3563-3566
- [4] Chiang P, Yen C, Mau J. Non-volatile taste components of various broth cubes [J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 932-937
- [5] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor [J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80
- [6] 张慢.清炖型肉汤的风味形成机制及电炖锅烹饪程序优化 [D].无锡:江南大学,2019
- ZHANG Man. Flavor formation mechanism of braised meat soup and optimization of electrical stewpot cooking process [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019
- [7] 顾伟钢,张进杰,辛梅,等.柱前衍生-反相高效液相色谱法测定不同方法煮制的猪肉及其汤汁中的游离氨基酸[J].色谱, 2011,29(10):1041-1045
- GU Wei-gang, ZHANG Jin-jie, XIN Mei, et al. Determination of free amino acids in the pork and its broth cooked by different methods using reversed-phase high performance liquid chromatography coupled with pre-column derivatization [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2011, 29(10): 1041-1045
- [8] 王新宴,凌云,储晓刚,等.肉制品中四种嘌呤含量在水煮过程中的变化[J].食品科学,2008,7:67-69
- WANG Xin-yan, LING Yun, CHU Xiao-gang, et al. Effects of boil processing on content of four kinds of purines in meat products [J]. Food Science, 2008, 7: 67-69
- [9] 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 12 [J]. Journal of Dairy Science, 1971, 54(1): 1-4
- [10] QI Jun, WANG Hu-hu, ZHOU Guang-hong, et al. Evaluation of the taste-active and volatile compounds in stewed meat from the Chinese yellow-feather chicken breed [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(3): S2579-S2595
- [11] KONG Yan, YANG Xiao, DING Qi, et al. Comparison of non-volatile umami components in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate [J]. Food Research International, 2017, 102: 559-566
- [12] Rikimaru K, Takahashi H. Evaluation of the meat from Hinai-jidori chickens and broilers: analysis of general biochemical components, free amino acids, inosine 5'-monophosphate, and fatty acids [J]. Journal of Applied Poultry Research, 2010, 19(4): 327-333
- [13] Vani N D, Modi V K, Kavitha S, et al. Degradation of inosine-5'-monophosphate (IMP) in aqueous and in layering chicken muscle fibre systems: Effect of pH and temperature [J]. LWT - Food Science and Technology, 2006, 39(6): 627-632
- [14] Kawai M, Okiyama A, Ueda Y. Taste enhancements between various amino acids and IMP [J]. Chem Senses, 2002, 27(8): 739-745
- [15] Shahidi F, Samaranyaka A G P, Pegg R B. Heat effects on meat | Maillard Reaction and Browning [J]. Encyclopedia of Meat Sciences, 2004: 578-592
- [16] Tanimoto S, Kitabayashi K, Fukusima C, et al. Effect of storage period before reheating on the volatile compound composition and lipid oxidation of steamed meat of yellowtail *Seriola quinqueradiata* [J]. Fisheries Science, 2015, 81(6): 1145-1155
- [17] Macnell J H, Dimick P S. POULTRY PRODUCT QUALITY. 1. Compositional changes during cooking of turkey roasts [J]. Journal of Food Science, 1970, 35(2): 184-186
- [18] FENG Yun-zi, CAI Yu, FU Xiong, et al. Comparison of aroma-active compounds in broiler broth and native chicken broth by aroma extract dilution analysis (AEDA), odor activity value (OAV) and omission experiment [J]. Food Chemistry, 2018, 265: 274-280
- [19] Schindler S, Krings U, Berger R G, et al. Aroma development in high pressure treated beef and chicken meat compared to raw and heat treated [J]. Meat Science, 2010, 86(2): 317-323
- [20] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424
- [21] Lorenzo J M, Dominguez R. Cooking losses, lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat as affected by cooking procedure [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2014, 29(4): 240-248
- [22] Jayasena D D, Ahn D U, Nam K C, et al. Flavour chemistry of chicken meat: a review [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2013, 26(5): 732-742