

# 加工条件对烤制鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响

王 武, 吴 巧, 董 琪, 夏新武, 陈从贵  
(合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 以鹌鹑蛋为原料, 采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱相结合的方法对不同烤制条件下鹌鹑蛋熟制品挥发性风味物质进行分析和研究。应用“相对气味活度值(ROAV)”评价各个成分对烤制鹌鹑蛋总体风味的贡献程度。结果表明, 对烤制鹌鹑蛋风味贡献作用最大的主要是1-辛烯-3-醇、乙酸异戊酯、碳原子数在10个以下的饱和或者不饱和的脂肪醛等。随着温度的升高和烤制时间的延长, 醛类的含量基本都增多, 乙酸异戊酯的含量减少, 杂环类含量呈现先增多后减少的趋势。不同温度、不同时间烤制的鹌鹑蛋风味有共同之处, 同时也具有一定的差异。

**关键词:** 鹌鹑蛋; 烤制; 挥发性风味物质; 气相色谱-质谱; 相对气味活度值

Effect of Processing Conditions on the Key Flavor Compounds of Baked Quail Eggs as Analyzed by “ROAV” Method

WANG Wu, WU Qiao, DONG Qi, XIA Xin-wu, CHEN Cong-gui  
(School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** The volatile flavor compounds in quail eggs under different baking conditions were analyzed by headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Relative odor activity value (ROAV) was applied to evaluate the contribution of various ingredients to the overall flavor of baked quail eggs. Results indicated that 1-octene-3-ol, isoamyl acetate, saturated or unsaturated fatty aldehydes (carbon atom number  $\leq 10$ ) were the major flavor components of baked quail eggs. With increasing of temperature and extended baking time, the concentration of aldehydes was increased while the concentration of isoamyl acetate was reduced. In addition, the concentration of heterocycle was increased first and then decreased. The flavor of quail eggs baked at different temperatures for different times revealed both identical and different characteristics.

**Key words:** quail eggs; baking; volatile flavor compounds; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); relative odor activity value (ROAV)

中图分类号: TS253.46

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)22-0234-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201322046

中国是世界上最大的鹌鹑蛋生产国和消费国, 每年人均消费约50枚<sup>[1]</sup>, 鹌鹑蛋体积小, 其营养价值却超越了鸡蛋。中医认为, 鹌鹑蛋无毒、甘、平, 且能入心、肺、肝、胃、肾经, 具有良好的补血、养神、降血压、健肾和益肺等功效, 常被人们誉为具有延年益寿作用的“灵丹妙药”<sup>[2]</sup>。传统的风味蛋品加工有卤制蛋、五香茶蛋、五香熏蛋、调味咸蛋、醋蛋和虎皮蛋。近年来, 烤蛋加工工艺的研究在一定程度上扩大了禽蛋类的消费市场, 并且能促使该产业的经济效益得到相应的提高<sup>[3]</sup>。

Stadelman<sup>[4]</sup>指出口感是一种食品获得认可的重要特征。风味是决定消费者接受一个产品的主要因素, 也是决定一种食品长时间在市场上被保持和重复购买的主要因素<sup>[5]</sup>。对风味的分析常用感官评价和色谱技术相结合的方法<sup>[6]</sup>。但是挥发性风味物质因其成分众多, 如何有

效评价各成分对食品风味的贡献一直是困扰学术界的一大难题。目前较常采用的评价指标是“气味活度值(odor activity value, OAV)”<sup>[7]</sup>, 它表示物质含量 $C/(\mu\text{g}/\text{kg})$ 与感觉阈值 $T/(\mu\text{g}/\text{kg})$ 的比值。当 $\text{OAV} < 1$ 时, 表示该物质对总体风味没有实际作用; 而 $\text{OAV} > 1$ 时, 表示该物质对总体风味可能有直接影响; 并且在一定的范围内, OAV值越大表示该物质对总体风味的贡献越大。刘登勇等<sup>[8]</sup>用各个化合物占总挥发性化合物的百分含量( $C_i$ )来代替绝对含量, 引用了一个新的参数——相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV), ROAV的取值范围为 $0 < \text{ROAV} \leq 100$ , ROAV值越大的成分对样品总体风味的贡献越大。ROAV $\geq 1$ 的化合物为样品的关键风味成分, 而 $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ 的组分能对样品的总体风味起到重要的修饰作用<sup>[9]</sup>。

收稿日期: 2012-10-26

基金项目: 安徽省科技攻关重点项目(12010302076)

作者简介: 王武(1968—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为畜禽产品开发。E-mail: ww68@163.com

烤制鹌鹑蛋的加工工艺国内已有研究,鸡蛋经过加热后挥发性风味物质的研究也有较多报道<sup>[10-17]</sup>,但烤制鹌鹑蛋制品挥发性香味物质的研究目前国内研究较少。本实验采用顶空固相微萃取(headspace solid phase micro-extraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)方法,研究烤制温度和烤制时间对鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响,以期风味鹌鹑蛋烤制品加工提供更多的技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鹌鹑蛋 市售。

### 1.2 仪器与设备

QP-2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司; 50/30 $\mu$ m DVB/CAR/PDMS固相微萃取针、57330U固相微萃取手柄 美国Supelco公司; CY-1-10远红外烤箱 瑞安市成业食品机械厂。

### 1.3 挥发性风味物质检测方法

#### 1.3.1 萃取头老化

将首次使用的50/30 $\mu$ m DVB/CAR/PDMS顶空固相微萃取头在气相色谱的进样口老化至无杂峰,老化温度为270 $^{\circ}$ C,老化时间为90min。

#### 1.3.2 样品制备

将鹌鹑蛋在沸水中预煮3min后激冷3min,去壳,然后在不同加工条件下烤制,将烤制后的鹌鹑蛋全蛋分别切碎,将蛋白和蛋黄混匀。每组称取2.5g样品粉末放入15mL样品瓶中,将50/30 $\mu$ m DVB/CAR/PDMS微萃取针头插入样品瓶中取样,在65 $^{\circ}$ C水浴中顶空萃取30min,然后将萃取头插入GC-MS仪器进样口中于250 $^{\circ}$ C热解吸2.5min,同时启动仪器采集数据。

### 1.4 检测条件

#### 1.4.1 色谱条件

色谱柱: DB-5MS毛细管色谱柱(60m $\times$ 0.32mm, 1 $\mu$ m);升温程序:起始柱温50 $^{\circ}$ C,保持2min,以8 $^{\circ}$ C/min上升至200 $^{\circ}$ C,保留3min;再以10 $^{\circ}$ C/min上升至250 $^{\circ}$ C,无保留。载气(He)流速1mL/min;恒压40kPa;不分流;进样口温度与接口温度均为250 $^{\circ}$ C;检测温度240 $^{\circ}$ C。

#### 1.4.2 质谱条件

电子电离(electron ionization, EI)源;电子能量70eV;离子源温度200 $^{\circ}$ C;质量扫描范围 $m/z$  50~500。

### 1.5 化合物定性分析

化合物经计算机检索同时与NIST library (107k compounds)和Wiley Library (320k compounds, version 6.0)相匹配,从而确定其化学成分。仅报道匹配度和纯度大于800(最大值1000)的鉴定结果<sup>[10]</sup>。

### 1.6 化合物定量分析

化合物相对百分含量按峰面积归一化计算<sup>[10]</sup>。

### 1.7 风味成分的评价

各个物质的ROAV值按下式计算:

$$ROAV = 100 \times \frac{C_{ti}}{C_{rmax}} \times \frac{T_{max}}{T_i}$$

式中:  $C_{ti}$ 为第*i*种物质的相对百分含量;  $C_{rmax}$ 为OAV最高物质的相对百分含量;  $T_i$ 为第*i*种物质的感觉阈值/ $\mu$ g/kg;  $T_{max}$ 为OAV最高物质的感觉阈值/ $\mu$ g/kg。

### 1.8 实验设计

以ROAV为指标,烤制时间为25min,设置烤箱温度分别为160、180、200、220 $^{\circ}$ C,研究不同烤制温度对样品挥发性风味物质的影响,并结合感官评价得分进行分析。

以ROAV为指标,选择上述感官评价得分最高的烤制温度,研究0、25、30、35min的烤制时间对样品挥发性风味物质的影响,并结合感官评价得分进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 烤制温度对鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响

烤制时间为25min时,不同烤制温度对样品挥发性风味物质的影响如表1所示。

由表1可知,160 $^{\circ}$ C烤制条件下鹌鹑蛋的风味组分中ROAV $\geq$ 1的化合物有9种,根据ROAV值由大到小排列分别为:壬醛、乙酸异戊酯、3-甲基丁醛、辛醛、己醛、癸醛、3-羟基-2-丁酮、2-戊基呋喃、2,3-丁二酮,对风味起修饰作用的是辛醇、乙酸异丁酯、2-甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、己醇、2,5-二甲基吡嗪;180 $^{\circ}$ C烤制鹌鹑蛋的关键风味成分依次为:壬醛、1-辛烯-3-醇、己醛、3-甲基丁醛、辛醛、癸醛、乙酸异戊酯、庚醛,起重要修饰作用的物质为2-甲基吡嗪、辛醇、2,3,5-三甲基吡嗪;200 $^{\circ}$ C烤制鹌鹑蛋的关键风味成分依次为:3-甲基丁醛、反-2-壬烯醛、己醛、壬醛、辛醛、1-辛烯-3-醇、癸醛、庚醛、乙酸异戊酯、(E)-2-辛烯醛,起修饰作用的是2-戊基呋喃、苯乙醛;220 $^{\circ}$ C烤制鹌鹑蛋的关键风味成分依次为:3-甲基丁醛、壬醛、2-甲基丁醛、己醛、1-辛烯-3-醇、辛醛、反-2-壬烯醛、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、癸醛、庚醛。

温度升高后,鹌鹑蛋产生的挥发性物质中醛类的含量增大,数量也增多,其中不同烤制温度下,己醛的含量较高,壬醛、3-甲基丁醛的含量也较高。醛类对风味产生重要的贡献,主要是由脂肪酸的氧化作用产生的,升高温度能够显著加速脂肪热降解<sup>[20]</sup>。此外,温度的升高促进美拉德反应的发生,美拉德反应的产物经过Ama-dori重排、Heyenes重排以及Strecker降解也能够生成醛类。3-甲基丁醛、己醛、辛醛、壬醛、癸醛是不同烤制温度条件下共有的主要挥发性风味物质,对鹌鹑蛋风味

有着重要的影响。低分子质量的醛会有一种不愉快的难闻的气味,但随着醛的分子质量的增加,开始出现水果风味,因此高浓度的醛应该对风味的贡献很大<sup>[21]</sup>。Matiella等<sup>[22]</sup>报道了3-甲基丁醛具有水果味、发酵味、烧奶酪味或烤可可味,该物质在猪肝、虾和蟹等的挥发性物质中检出过,可能是蛋品中一种重要的风味化合物。

表1 烤制温度对鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响

Table 1 Effect of baking temperature on volatile flavor compounds of baked quail eggs

序号	化合物	感觉阈值/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	ROAV			
			160 $^{\circ}\text{C}$	180 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$	220 $^{\circ}\text{C}$
1	壬醛 <sup>[18]</sup>	1	100.00	100.00	35.68	57.62
2	1-辛烯-3-醇 <sup>[9]</sup>	1	—	74.33	25.13	21.64
3	己醛 <sup>[9]</sup>	4.5	39.61	71.64	39.31	35.24
4	3-甲基丁醛 <sup>[18]</sup>	0.40	45.34	33.13	100.00	100.00
5	辛醛 <sup>[9]</sup>	0.7	42.19	25.44	25.17	17.94
6	癸醛 <sup>[9]</sup>	1	7.51	7.04	13.48	5.59
7	乙酸异戊酯 <sup>[18]</sup>	2	49.35	6.63	2.56	—
8	庚醛 <sup>[9]</sup>	3	—	5.11	3.59	5.07
9	2-甲基吡嗪 <sup>[18]</sup>	60	0.18	0.29	0.03	0.04
10	辛醇 <sup>[9]</sup>	110	0.29	0.16	0.07	0.06
11	2,3,5-三甲基吡嗪 <sup>[9]</sup>	400	0.15	0.20	0.02	0.04
12	2,5-二甲基吡嗪 <sup>[18]</sup>	800	0.11	0.07	<0.01	0.05
13	2-庚酮 <sup>[18]</sup>	140	—	0.06	0.02	0.02
14	庚醇 <sup>[9]</sup>	330	—	0.02	0.01	<0.01
15	二丙基二硫醚	ND	—	ND	ND	—
16	1-十一烯	ND	—	ND	ND	—
17	2,2-二甲基-1-丙醇	ND	—	ND	—	—
18	4-甲基戊醇	ND	—	ND	—	—
19	丁酸异丁酯	ND	ND	ND	ND	—
20	丁酸异戊酯	ND	ND	ND	ND	—
21	2,6-二叔丁基对甲苯酚	ND	—	ND	ND	—
22	茴香脑	ND	—	ND	—	—
23	6-十一酮	ND	—	ND	—	—
24	苯乙醛 <sup>[9]</sup>	4	—	—	0.64	—
25	(E)-2-辛烯醛 <sup>[18]</sup>	3	—	—	1.01	—
26	反-2-壬烯醛 <sup>[18]</sup>	0.08	—	—	—	17.14
27	十四醛	ND	ND	ND	—	—
28	2-辛酮 <sup>[18]</sup>	50	—	—	0.02	—
29	2-壬酮 <sup>[18]</sup>	5	—	—	ND	—
30	己醇 <sup>[9]</sup>	250	0.13	—	0.01	0.01
31	3-甲基己醇	ND	ND	—	—	ND
32	3-甲基丁醇 <sup>[9]</sup>	170	—	—	0.01	—
33	戊醇 <sup>[9]</sup>	4000	<0.01	—	<0.01	—
34	嘧啶	ND	—	—	—	ND
35	2-戊基呋喃 <sup>[18]</sup>	6	1.94	—	0.84	—
36	3-羟基-2-丁酮 <sup>[9]</sup>	55	4.01	—	—	—
37	乙酸异丁酯 <sup>[18]</sup>	66	0.27	—	ND	—
38	乙酸仲戊酯	ND	ND	—	—	—
39	2-乙基-4-甲基戊醇	ND	—	—	ND	—
40	异丁酸异戊酯	ND	—	—	—	ND
41	邻苯二甲酸二己酯	ND	—	—	—	ND
42	甲酸丁酯	ND	—	—	—	ND
43	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪 <sup>[18]</sup>	0.40	—	—	—	9.39
44	2,3-丁二酮 <sup>[18]</sup>	2.30	1.01	—	—	—
45	1-十二烯	ND	—	—	—	ND
46	2-甲基丁醛 <sup>[18]</sup>	1	—	—	—	44.35
47	4-甲基-2-己酮	ND	—	—	ND	—

注: ND. 检测到该物质, 但因为无法查到该化合物的感觉阈值而未作分析; —. 未检测到或含量低难以定量。下同。

只有在160 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 出现了2,3-丁二酮、3-羟基-2-丁酮、乙酸异丁酯、乙酸仲戊酯, 这些可能赋予其不同于其他温度下的特殊风味, 2,3-丁二酮具有甜香、奶油、白脱的气味<sup>[18]</sup>, 3-羟基-2-丁酮香气特征具有令人愉快的奶油香<sup>[18]</sup>, 乙酸异丁酯具有甜的果香及轻飘的苹果、香蕉香韵、花香香气<sup>[18]</sup>。只有在220 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 出现了反-2-壬烯醛。反-2-壬烯醛浓度高时会有强烈的尖刺脂肪气息, 浓度低时却有鸢尾样令人十分愉快的香气<sup>[16]</sup>。因此这种化合物可能使得该温度下烤制的鹌鹑蛋与其他温度下的风味存在差异。

一定范围内, 随着温度的升高, 一些杂环类化合物的含量有所升高, 如2-乙基-3,6-二甲基吡嗪等, 二丙基二硫醚的含量也有所升高, 2,3,5-三甲基吡嗪、2-甲基吡嗪含量先升高后降低。温度不仅能够影响美拉德反应中各种风味化合物的浓度, 而且可以影响它们之间的相互作用, 较高的温度可提高美拉德反应速度。烷基吡嗪是最先被确认对所有焙烤类食品或类似加热食品的风味有重要影响的物质<sup>[17]</sup>, 且吡嗪类被认为是呈现典型焙烤坚果香气的主要风味化合物<sup>[23]</sup>。吡嗪类物质含量上的差异会导致食品主体风味的差异。此外, 有几种组分因为无法查到相应的感觉阈值而未作具体分析, 譬如二丙基二硫醚, 由于它的结构和二甲基二硫醚非常接近, 阈值大小可能也接近, 因而它对烤制鹌鹑蛋的总体风味也具有很重要的贡献。

肖润<sup>[12]</sup>曾指出对产生鸡蛋香气起关键作用的主要是一些杂环类化合物, 180 $^{\circ}\text{C}$ 时吡嗪类物质的含量和相对气味活度值较其他温度条件下要高, 因此选择180 $^{\circ}\text{C}$ 为鹌鹑蛋烤制的适宜温度。

## 2.2 烤制时间对鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响

选择上述适宜烤制温度(即烤制温度为180 $^{\circ}\text{C}$ ), 研究不同烤制时间对样品相对气味活度值的影响, 如表2所示。

由表2可知, 煮制后未经烤制的鹌鹑蛋关键风味成分依次为: 己醛、壬醛、乙酸异戊酯、辛醛、3-甲基丁醛、庚醛、2-戊基呋喃, 起修饰作用的是辛醇、2,3,5-三甲基吡嗪、乙酸异丁酯、乙酸乙酯; 烤制25min的鹌鹑蛋关键风味成分依次为: 壬醛、1-辛烯-3-醇、己醛、3-甲基丁醛、辛醛、癸醛、乙酸异戊酯、庚醛, 起重要修饰作用的物质为2-甲基吡嗪、辛醇、2,3,5-三甲基吡嗪; 烤制30min的鹌鹑蛋关键风味成分依次为: 壬醛、3-甲基丁醛、反-2-壬烯醛、己醛、1-辛烯-3-醇、辛醛、庚醛、癸醛、2-戊基呋喃、(E)-2-辛烯醛, 起修饰作用的是苯乙醛、辛醇、2-甲基吡嗪、2-壬酮、壬醇; 烤制35min的鹌鹑蛋关键风味成分依次为: 壬醛、3-甲基丁醛、反式-2-壬烯醛、己醛、1-辛烯-3-醇、辛醛、庚醛、癸醛, 起修饰作用的是(E)-2-辛烯醛、苯乙醛、2-十一酮、2-甲基吡嗪。

**表 2 烤制时间对鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响**  
**Table 2 Effect of baking time on volatile flavor compounds of baked quail eggs**

序号	化合物	感觉阈值/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	ROAV			
			0min	25min	30min	35min
1	壬醛 <sup>[18]</sup>	1	88.58	100.00	100.00	100.00
2	1-辛烯-3-醇 <sup>[9]</sup>	1	—	74.33	31.44	25.69
3	己醛 <sup>[9]</sup>	4.5	100.00	73.02	42.43	33.93
4	3-甲基丁醛 <sup>[18]</sup>	0.40	23.68	33.13	68.34	50.68
5	辛醛 <sup>[9]</sup>	0.7	38.57	25.44	24.69	22.45
6	癸醛 <sup>[9]</sup>	1	—	7.45	5.87	5.02
7	乙酸异戊酯 <sup>[18]</sup>	2	42.47	6.42	—	—
8	庚醛 <sup>[9]</sup>	3	9.00	5.11	6.19	6.93
9	2-甲基吡嗪 <sup>[18]</sup>	60	—	0.29	0.12	0.12
10	辛醇 <sup>[9]</sup>	110	0.20	0.16	0.14	0.09
11	2,3,5-三甲基吡嗪 <sup>[9]</sup>	400	0.15	0.20	<0.01	0.01
12	2,5-二甲基吡嗪 <sup>[18]</sup>	800	—	0.07	<0.01	0.01
13	2-庚酮 <sup>[18]</sup>	140	—	0.06	0.02	0.02
14	庚醇 <sup>[9]</sup>	330	0.04	0.03	0.02	0.02
15	二丙基二硫醚	ND	—	ND	—	—
16	1-十一烯	ND	—	ND	—	—
17	2,2-二甲基丙醇	ND	—	ND	—	—
18	4-甲基-1-戊醇	ND	—	ND	—	—
19	丁酸异丁酯	ND	ND	ND	—	—
20	丁酸异戊酯	ND	ND	ND	—	—
21	2,6-二叔丁基对甲苯酚	ND	—	ND	—	—
22	茴香脑	ND	—	ND	—	—
23	6-十一酮	ND	—	ND	—	—
24	苯乙醛 <sup>[6]</sup>	4	—	—	0.78	0.65
25	(E)-2-辛烯醛 <sup>[18]</sup>	3	—	—	1.11	0.95
26	反-2-壬烯醛 <sup>[18]</sup>	0.08	—	—	42.49	44.30
27	十四醛	ND	ND	ND	—	—
28	2-辛酮 <sup>[18]</sup>	50	—	—	0.02	—
29	2-壬酮 <sup>[18]</sup>	5	—	—	0.13	—
30	香叶基丙酮 <sup>[18]</sup>	60	—	—	0.02	—
31	壬醇 <sup>[18]</sup>	50	—	—	0.10	0.07
32	十一醇	ND	—	—	ND	ND
33	己醇 <sup>[9]</sup>	250	0.04	—	0.03	0.06
34	3-甲基丁醇 <sup>[9]</sup>	170	—	—	0.01	0.03
35	戊醇 <sup>[9]</sup>	4000	<0.01	—	<0.01	<0.01
36	2,6-二甲基环己醇	ND	—	—	ND	—
37	甲苯 <sup>[18]</sup>	200	—	—	0.02	—
38	嘧啶	ND	—	—	ND	ND
39	2-戊基呋喃 <sup>[18]</sup>	6	1.53	—	1.46	—
40	茴香脑	ND	—	—	ND	—
41	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>2</sub>	ND	—	—	ND	—
42	十五醛	ND	—	—	—	ND
43	肉桂醛	ND	—	—	—	ND
44	2,3-二甲基戊醇	ND	—	—	—	ND
45	2-十一酮 <sup>[18]</sup>	7	—	—	—	0.15
46	3-羟基-2-丁酮 <sup>[9]</sup>	55	—	—	—	0.09
47	6-甲基-3-庚酮	ND	ND	—	—	—
48	1-十四烯	ND	ND	—	—	—
49	2-庚醇	ND	ND	—	—	—
50	3-甲基-1-庚醇	ND	ND	—	—	—
51	3,4-二甲基环己醇	ND	ND	—	—	—
52	乙酸乙酯 <sup>[23]</sup>	50	0.11	—	—	—
53	乙酸异丁酯 <sup>[18]</sup>	66	0.86	—	—	—
54	乙酸仲戊酯	ND	ND	—	—	—
55	异丁酸丁酯 <sup>[18]</sup>	80	0.09	—	—	—

只有未经烤制的鹌鹑蛋中出现了6-甲基-3-庚酮和2-庚醇，但是却并没有2,5-二甲基吡嗪和2-甲基吡嗪出现，这些可能导致其与烤制条件下的鹌鹑蛋风味不同。6-甲基-3-庚酮和2-庚醇无法查到相应阈值未能作出分析。随着烤制时间的延长，醛类和醇类的含量增加、种类增多、酯类含量减少，可能是由于烤制时间的延长显著加速了脂肪热降解的作用。蛋中的磷脂在加热的过程中会发生热降解，产生游离脂肪酸。脂肪酸，尤其是不饱和脂肪酸能够继续氧化、分解、断裂生成小分子的醛类、酮类等，并且随着加热时间的延长而逐渐积累<sup>[25]</sup>。

温度、时间、pH值以及 $a_w$ 等加工条件都是影响美拉德反应程度的因素，反应时间能够显著影响美拉德反应产物的颜色和它的风味化合物。时间过短使反应不彻底，产生的香味不够厚重、浓郁；太长又使反应过度，产生焦糊味和一些致癌物<sup>[26]</sup>。随着烤制时间的延长，吡嗪类物质的含量呈现先增高后减少的变化，烤制25min的鹌鹑蛋中吡嗪类物质的含量较其他烤制时间下要高，即吡嗪类的含量随烤制时间延长呈现出先上升后下降的趋势，这可能是由于烤制时间主要影响美拉德反应的速度，而对美拉德反应的程度影响较大的则是底物浓度和溶剂组成中的水分含量。随着烤制时间的延长，鹌鹑蛋中水分含量逐渐减少。水分含量由25%减少到15%的过程中，吡嗪类含量随烤制时间的延长而增加，而水分含量由15%减少到5%的过程中，吡嗪类含量却随烤制时间的延长而减少<sup>[27]</sup>。

### 3 结论

3.1 不同的烤制温度对鹌鹑蛋挥发性风味物质有一定的影响。随着温度的升高，主体风味物质中的醛类物质含量增加，吡嗪类物质随温度升高呈现先增加后减少再增加的趋势。在不同温度条件下，有该温度条件下的特有物质出现，这些可能赋予鹌鹑蛋不同于其他温度下的特殊风味，共有组分中醛类含量的不同也会使得不同温度条件下的风味呈现差异。

3.2 不同的烤制时间对鹌鹑蛋挥发性风味物质有一定的影响，影响规律与烤制温度对醛类、吡嗪类的影响规律类似。不同时间烤制的鹌鹑蛋风味的差异，可能与其中某组特有物质的出现或含量的不同有关。

#### 参考文献:

[1] 李政萍. 鹌鹑蛋可提供惊人的益处[J]. 国外畜牧学: 猪与禽, 2010, 30(4): 20-22.  
 [2] 王谱. 鹌鹑蛋食物中的“灵丹妙药”[J]. 祝您健康, 2011(5): 38.  
 [3] 展跃平, 王日君, 王正云. 烤茶蛋工艺技术研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(12): 177-178.  
 [4] STADELMAN W J. The incredibly functional egg[J]. Poultry Science, 1999, 78(6): 807-811.

- [5] HAYAT Z, CHERIAN G, PASHA T N, et al. Sensory evaluation and consumer acceptance of eggs from hens fed flax seed and 2 different antioxidants[J]. Poultry Science, 2010, 89(10): 2293-2298.
- [6] PLAGEMANN I, ZELENA K, KRINGS U, et al. Volatile flavours in raw egg yolk of hens fed on different diets[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(11): 2061-2065.
- [7] GARCÍA-GONZÁLEZ D L, TENA N, APARICIO-RUIZ R, et al. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 315-325.
- [8] 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.
- [9] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-373.
- [10] UMANO K, HAGI Y, SHOJI A, et al. Volatile compounds formed from cooked whole egg, egg yolk, and egg white[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(2): 461-464.
- [11] CERNY C, GUNTZ R. Evaluation of potent odorants in heated egg yolk by aroma extract dilution analysis[J]. European Food Research and Technology, 2004, 219(5): 452-454.
- [12] 肖润. 鸡蛋香气成分的顶空GC/MS分析[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(6): 142-143.
- [13] 王雪燕, 杨富民, 杨振. 蓝孔雀蛋挥发性风味物质的检测分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1): 141-146.
- [14] 冯月超. 鸡蛋黄挥发性风味物质及相关前体物质的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 9-16.
- [15] 余秀芳, 马美湖. 卤蛋成熟和风味形成机理初探[J]. 中国家禽, 2009, 31(21): 62-64.
- [16] 乔秀红, 李清萍. 五香鹌鹑蛋烘烤工艺研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(1): 129-131.
- [17] 乔秀红, 李青萍, 王向东, 等. 烤蛋风味物质研究[J]. 中国调味品, 2008 (1): 54-57.
- [18] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 23-32.
- [19] 金燕. 蟹肉风味的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 50-53.
- [20] 黄梅丽, 王俊卿. 食品色香味化学[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 279-280.
- [21] 冯月超, 刘美玉, 任发政, 等. 热处理对鸡蛋黄挥发性风味成分的影响[J]. 肉类研究, 2006, 20(10): 31-33.
- [22] MATIELLA J E, HSIEH T C Y. Volatile compounds in scrambled eggs[J]. Journal of Food Science, 1991, 56(2): 387-388.
- [23] 沈萍, 李陵岚. 有机化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2005: 76.
- [24] 李丽, 高彦祥, 袁芳. 坚果焙烤香气化合物的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 164-200.
- [25] 常丽新, 杜密英. 不同加热温度和时间对食用调和油品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 24-26.
- [26] 于彭伟. 美拉德反应对食品加工的影响及应用[J]. 肉类研究, 2010, 24(10): 15-17.
- [27] 乐仁思, 王世平. 美拉德反应对焙烤花生特征风味形成的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 76-79.