

文章编号:1673-1689(2005)04-0001-12

金华火腿生产过程中风味成分的变化

郇延军^{1,2}, 周光宏^{1*}, 赵改名¹, 徐幸莲¹

(1. 南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095; 2. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214036)

摘要:取60条杂交猪后腿作为原料,按金华火腿传统生产工艺进行生产,分别在原料、盐后、晒后、成熟中期、成熟结束、后熟(1)、后熟(2)工艺段随机取5条腿的股二头肌作为样品进行风味成分检测。结果显示:原料腿和盐后腿中检出89种风味物质,晒后腿中检测出90种风味物质,成熟中期和成熟结束腿中分别检测出91种和96种风味物质,在后熟(1)和后熟(2)工艺段分别检测出93种和94种风味物质。这些成分可归类为:烷烃、芳香烃、醇、醛、酮、酸、酯、含氧杂环化合物、含氮化合物、含硫化合物、含氯化合物、酰胺和萜烯类等物质,其生产过程中的变化规律不同。在金华火腿产品的风味成分中,醛类占化合物总数的45.07%,酸占18.39%,醇占13.93%,酮占9.00%。主成分分析显示,第一主成分主要由5种直链醛组成,第二主成分主要由5种直链醇和支链醇、2种支链酮、甲苯、己烷等组成。第一和第二主成分总计解释了金华火腿风味成分变化总方差的90.6%。

关键词:肉制品; 金华火腿; 风味

中图分类号:TS 251.51

文献标识码:A

Time Related Changes in Flavor Compounds of Jinhua Dry-Cured Ham during Processing

HAUN Yan-jun^{1,2}, ZHOU Guang-hong^{1*}, ZHAO Gai-ming¹, XU Xing-lian¹

(1. School of Food Technology, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China; 2. School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: Sixty experimental Jinhua hams were processed based on a traditional processing technology with green hams from local cross pigs. Samples of Biceps femoris were taken from 5 hams randomly at each of the key stages of production, i. e., green ham, end of salting, end of sun-drying, middle of aging, end of aging, post-aging(1) and post-aging(2). Analysis of flavor compounds showed that, 89 compounds at green ham and at the end of salting, 90 at the end of sun-drying, 91 at the middle of aging, 96 at the end of aging, 93 at the post-age(1), and 94 at the post-age(2) were detected, respectively. The flavor compounds can be clustered in the following chemical families; alkanes and alkenes, aromatic hydrocarbons, alcohols, aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters, oxygenous heterocycle compounds, nitrogenous compounds, sulphur compounds, chloride compounds, amides, and terpenes, each exhibited different changing pattern during processing. In the flavor substances of the final product of Jinhua ham,

收稿日期:2005-01-10; 修回日期:2005-03-09.

基金项目:国家 863 计划项目(2002AA248031)资助课题,江苏省 973 预研项目(BK2005213)资助课题.

作者简介:郇延军(1963-),男,山东青州人,副教授,工学博士;*通讯作者.

the contents of aldehydes, carboxylic acids, alcohols and ketones were 45.07%, 18.39%, 13.93% and 9.00%, respectively. The first principal component was determined by a group mainly containing 5 unbranched aldehydes, and the second was determined by a group mainly consisting of 5 branched and unbranched alcohols, 2 branched ketones, toluene, hexane and some other flavor compounds. The two principal components explained 90.6% of the total variance of the flavors in Jinhua ham.

Key words: meat product; Jinhua dry-cured ham; flavor

金华火腿起源于中国浙江省金华地区,是以中国著名地方猪品种——金华“两头乌”或其杂交后代的后腿为原料,采用民间传统加工工艺精制而成的干腌肉制品。与其它著名火腿一样,风味是其重要的质量指标。在金华火腿长达十个月以上的生产过程中,肉中的蛋白质、脂肪等物质发生了酶促或非酶变化,如蛋白质的酶解、Strecker降解,脂肪的水解、氧化,以及美拉德反应等,受这些反应共同作用的影响,以及受到金华地区特有的温度、湿度变化规律的影响,火腿的风味渐渐形成,同时形成了金华火腿别具一格的风味特征。世界上一些知名火腿的风味组成已多有报导^[4~8],上百种风味物质被鉴定,不同火腿风味组成不同,它受原料、生产工艺和参数以及生产环境、气候条件等多方面的影响。作为我国的传统特色肉制品,金华火腿的研究相对较少,竺尚武^[1]、Du等^[9]先后对金华火腿的风味物质进行了分析,但鉴定成分只有30余种,其它的相关报导很少。目前,金华火腿的生产还停留在传统手工操作的状况,产量难以提高,品质难以保障。作者通过对金华火腿风味组成的分析,尤其是通过跟踪风味形成的过程,对传统金华火腿生产工艺进行了优化,对金华火腿的工业化生产有一定的指导意义。

1 材料和方法

1.1 材料

原料:杂交猪后腿 6.2~6.9 kg/只,在浙江省食品工业公司兰溪金鑫火腿厂按传统工艺进行生产。简要生产工艺过程如下:

原料腿→修胚→摊凉→腌制→洗腿→晒腿→发酵成熟→后熟→成品

原料腿经修胚、摊凉后,按传统生产工艺腌制30 d,然后经24 h的浸腿、洗刷,除去表面粘着物。经过20 d的晒腿过程152 d发酵成熟,157 d的后熟,完成整个生产过程。实验过程中每天早、中、晚测定温度和相对湿度。

万方数据

在各主要工艺步骤随机抽取5只腿的股二头肌作为分析样品。股二头肌取出后真空封口,立即于-25℃下冻藏。取样工艺点、生产天数和取样日的平均温、湿度如表1所示。

表1 取样工艺点、生产时间及取样日平均温、湿度

Tab.1 Sampling stages, production day and average temperature and humidity

取样工艺点	生产天数/d	温度/℃	相对湿度/%
原料	0	7.82	79.0
盐后	31	7.82	84.3
晒后	51	10.30	70.9
成熟中期	124	18.06	83.5
成熟结束	203	29.22	74.3
后熟(1)	264	30.11	77.8
后熟(2)	360	7.55	78.2

1.2 风味物质提取

样品于室温下迅速剪成2~3 mm大小的颗粒,取15.0 g立即装于萃取小瓶中,采用顶空固相微萃取(SPME)方法进行风味成分的提取。复合式Car/PDMS萃取头(涂膜厚75 μm)插入密封的萃取瓶内,萃取头暴露在瓶内样品上部的顶空中,于60℃萃取40 min。

1.3 风味成分鉴定

利用气/质(GC/MS)联用仪(Trace GS,, Finnigan)进行风味成分分析。气谱条件为:毛细管柱为DB-5MS,柱长60 m,内径0.32 mm,膜厚1 μm。载气为氦气,进样口温度为250℃,平衡时间为0.25 min,不分流时间为2 min,柱流速为2 mL/min,分流比为10:1,采用三阶段程序升温,初始温度为40℃并保持1 min,第一升温阶段从40~130℃,升温速率为5℃/min,第二阶段从130~200℃,升温速率为8℃/min,第三阶段从200~250℃,升温速率为12℃/min,并于250℃保留7 min。质谱条件为:离子化方式为EI,发射电流为200 μA,电子能

量 70 eV, 接口温度为 250 ℃, 离子源温度为 200 ℃, 质量扫描范围为 33~450, 检测电压为 350 V. 样品检索结果与 MAINLIB, NISTDEMO, REPLIB, WILLEY 4 个标准谱库对照进行成分鉴定, 风味组分峰面积采用归一化处理, 求得各风味物质的相对质量分数.

1.4 统计分析

利用 SPSS 11.0 软件进行.

2 实验结果

生产过程中, 各主要工艺步骤风味成分的组成如表 2 所示. 实验中可定性定量的成分总计为 137 种, 其中原料和盐后检测出 89 种, 晒后检测出 90 种, 成熟中期和成熟结束分别检测出 91 和 96 种, 后熟(1)及后熟(2)分别检测出 93 种和 94 种. 这些成

分可归类为: 烷烯烃、芳香烃、醇、醛、酮、酸、酯、含氧杂环化合物、含氮化合物、含硫化合物、含氯化合物、酰胺和萜烯类物质. 除此之外, 在各工艺段还有一些峰不能定性. 仅从可检出成分的数目上看, 加工过程中的变化不大. 137 种可检出成分中, 烃类物质有 15 种, 其中烷烃 13 种(2 种支链烃), 烯烃 2 种; 芳香烃 11 种; 醇类物质 21 种, 其中支链醇有 6 种; 醛类物质 26 种, 其中支链醛有 6 种; 酮类物质 17 种, 其中支链酮有 4 种; 酸类物质 13 种, 其中支链酸 3 种; 酯类物质 10 种; 含氧杂环化合物(吡喃、呋喃类物质)6 种, 其中吡喃 1 种; 含氮化合物 5 种, 含硫化合物 4 种; 除此之外还有酰胺物质 2 种、含氯物质 3 种、萜烯物质 1 种、噻唑物质 2 种、噁唑 1 种在实验中被检测到. 从种数上分析, 醛类物质最多, 其次是醇类物质.

表 2 主要工艺步骤的风味成分组成

Tab. 2 Flavor substances components at each key processing stages

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
烷烯烃								
1	戊烷	0.28±0.07 ^b	0.46±0.08 ^b	0.44±0.04 ^b	0.68±0.04 ^c	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
2	己烷	3.93±0.89 ^b	0.00±0.00 ^a	0.76±0.15 ^a	2.39±0.67 ^b	5.48±0.72 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00
3	壬烷	0.08±0.04 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	1.04±0.14 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
4	癸烷	0.24±0.02 ^b	0.33±0.01 ^c	0.57±0.03 ^d	0.57±0.02 ^d	0.00±0.00 ^a	0.07±0.01 ^a	0.21±0.04 ^b
5	十一碳烷	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.38±0.02 ^d	0.18±0.01 ^e	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
6	十二碳烷	0.00±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a	0.18±0.01 ^b	0.24±0.05 ^b	0.20±0.01 ^b
7	十三碳烷	0.00±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.20±0.05 ^{bc}	0.32±0.07 ^c	0.08±0.01 ^{ab}
8	十四碳烷	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.08±0.02 ^b	0.05±0.02 ^b	0.04±0.01 ^{ab}
9	十五碳烷	0.01±0.00 ^a	0.02±0.00 ^{ab}	0.04±0.01 ^{ab}	0.00±0.00 ^a	0.09±0.02 ^{cd}	0.07±0.02 ^{bc}	0.12±0.01 ^d
10	2,6-二甲基辛烷	0.01±0.00 ^{ab}	0.02±0.00 ^b	0.01±0.01 ^{ab}	0.04±0.00 ^c	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
11	2,6-二甲基壬烷	0.03±0.00 ^{bc}	0.04±0.00 ^{bc}	0.03±0.01 ^b	0.05±0.00 ^c	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
12	2-辛烯	0.00±0.00 ^a	0.05±0.00 ^c	0.02±0.01 ^{ab}	0.03±0.01 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
13	1,3-辛二烯	1.00±0.17 ^{cd}	3.30±0.23 ^f	2.50±0.11 ^e	0.56±0.12 ^{bc}	0.18±0.04 ^{ab}	1.27±0.08 ^d	0.00±0.00 ^a
14	2-甲基丙基-环五烷	0.00±0.00 ^a	0.03±0.00 ^c	0.01±0.01 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
15	戊基环五烷	0.00±0.00 ^a	0.04±0.01 ^b					
总质量分数		5.59	4.34	4.76	4.53	7.25	2.02	0.69
总峰面积 (×10 ⁸)		1.30	1.32	1.58	1.60	2.65	0.73	0.24

续表 2

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
芳香烃								
16	甲苯	5.64± 0.48 ^{cd}	5.99± 0.23 ^d	6.15± 0.29 ^d	3.90± 0.56 ^{bc}	8.59± 0.37 ^e	2.95± 0.79 ^b	0.29± 0.04 ^a
17	1,2-二甲基苯	1.03± 0.11 ^{ab}	1.41± 0.12 ^{bc}	1.87± 0.08 ^e	0.53± 0.04 ^a	3.08± 0.25 ^d	1.04± 0.22 ^{ab}	0.46± 0.07 ^a
18	1,2,3-三甲基苯	0.09± 0.02 ^a	0.12± 0.01 ^{ab}	0.07± 0.00 ^a	0.05± 0.00 ^a	0.11± 0.01 ^{ab}	0.31± 0.09 ^c	0.27± 0.04 ^{bc}
19	4-乙基-1,2-二甲基苯	0.01± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.02 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00	0.03± 0.01 ^a	0.10± 0.01 ^b
20	丙烯基苯	0.01± 0.00 ^a	0.09± 0.01 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.06± 0.03 ^a	1.43± 0.20 ^b
21	1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯	0.04± 0.02 ^a	0.02± 0.00 ^a	0.02± 0.01 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.10± 0.02 ^a	0.27± 0.10 ^b	0.04± 0.01 ^a
22	乙基苯	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.69± 0.05 ^c	0.38± 0.05 ^b	0.12± 0.03 ^a
23	联苯	0.02± 0.00 ^{ab}	0.02± 0.00 ^{ab}	0.02± 0.01 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
24	1,2-二乙基苯	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.02 ^a	0.13± 0.04 ^b
25	(1-乙基壬基)-苯	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.06± 0.02 ^b	0.13± 0.00 ^c
26	萘	0.04± 0.01 ^{bc}	0.07± 0.01 ^c	0.06± 0.00 ^c	0.04± 0.00 ^{bc}	0.01± 0.00 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.21± 0.02 ^d
总质量分数		6.88	7.72	8.23	4.52	12.58	5.15	3.18
总峰面积 (×10 ⁸)		1.61	2.37	2.74	1.60	4.61	1.87	1.17
醇								
27	乙醇	6.44± 0.56 ^c	1.07± 0.32 ^a	0.75± 0.15 ^a	1.43± 0.36 ^a	1.55± 0.18 ^a	2.92± 0.64 ^a	5.70± 1.19 ^b
28	1-丙醇	0.05± 0.01 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.07± 0.03 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
29	1-丁醇	0.00± 0.00 ^a	0.40± 0.10 ^b	0.34± 0.04 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
30	1-戊醇	4.20± 0.55 ^c	10.44± 0.34 ^e	6.53± 0.12 ^d	5.52± 0.23 ^d	2.69± 0.22 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
31	1-戊烯-3-醇	0.15± 0.06 ^a	0.32± 0.03 ^{ab}	0.29± 0.04 ^{ab}	0.40± 0.06 ^b	0.15± 0.05 ^a	0.43± 0.08 ^b	0.41± 0.04 ^b
32	1-己醇	13.07± 0.66 ^d	0.00± 0.00 ^a	9.04± 0.75 ^c	3.91± 0.23 ^b	1.59± 0.04 ^a	1.14± 0.14 ^a	0.83± 0.06 ^a
33	1-庚醇	0.66± 0.11 ^b	1.47± 0.12 ^c	0.69± 0.06 ^b	0.32± 0.03 ^a	0.52± 0.03 ^{ab}	0.36± 0.04 ^a	0.25± 0.04 ^a
34	1-辛醇	0.30± 0.02 ^{ab}	0.60± 0.04 ^c	0.51± 0.03 ^c	0.17± 0.01 ^a	0.53± 0.06 ^c	0.32± 0.03 ^{ab}	0.44± 0.06 ^{bc}
35	1-辛烯-3-醇	1.78± 0.12 ^{ab}	5.16± 0.34 ^d	2.81± 0.26 ^{bc}	1.49± 0.12 ^a	1.69± 0.07 ^a	2.03± 0.24 ^{ab}	3.42± 0.50 ^c
36	2-辛烯-1-醇	0.13± 0.01 ^a	0.70± 0.06 ^c	0.37± 0.04 ^b	0.20± 0.02 ^{ab}	0.07± 0.00 ^a	0.18± 0.03 ^{ab}	0.34± 0.11 ^b
37	1-壬醇	0.04± 0.00 ^{ab}	0.08± 0.01 ^{bc}	0.06± 0.01 ^{abc}	0.02± 0.00 ^a	0.09± 0.01 ^c	0.13± 0.01 ^d	0.17± 0.01 ^e
38	1-壬烯-4-醇	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00	0.23± 0.04 ^b	0.30± 0.04 ^{bc}	0.46± 0.11 ^c
39	3-甲基-1-丁醇	7.98± 1.51 ^b	4.88± 1.50 ^b	0.65± 0.31 ^a	1.16± 0.18 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a

续表 2

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
40	2-甲基-1-丁醇	5.06± 0.82 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.19± 0.12 ^a	0.00± 0.00	0.00± 0.00	0.15± 0.05	0.00± 0.00 ^a
41	2-乙基-1-己醇	0.21± 0.06 ^a	0.80± 0.07 ^b	0.69± 0.08 ^b	0.03± 0.00 ^a	0.02± 0.01 ^a	0.13± 0.06 ^a	0.00± 0.00 ^a
42	2-乙基-3-己烯-1-醇	0.04± 0.00 ^b	0.10± 0.01 ^d	0.08± 0.00 ^e	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
43	2-甲基-3-辛醇	0.79± 0.10 ^b	0.96± 0.09 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
44	2-丁基-1-辛醇	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.01± 0.00 ^{ab}	0.02± 0.01 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
45	4-乙基-环己醇	0.02± 0.00 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.01 ^{bc}	0.04± 0.01 ^{bc}	0.00± 0.00 ^a	0.07± 0.01 ^c	0.04± 0.01 ^{bc}
46	苯基乙醇	0.43± 0.10 ^b	0.16± 0.06 ^a	0.16± 0.08 ^a	0.06± 0.01 ^a	0.06± 0.01 ^a	0.05± 0.02 ^a	0.05± 0.01 ^a
47	2,3-丁二醇	0.29± 0.22 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.85± 0.14 ^c	0.59± 0.14 ^{abc}	1.06± 0.17 ^c	1.82± 0.27 ^d
	总质量分数	41.64	27.14	23.27	15.61	9.8	9.27	13.93
	总峰面积(×10 ⁸)	9.72	8.31	7.73	5.53	3.59	3.37	5.07
醛								
48	乙醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.51± 0.07 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
49	戊醛	0.81± 0.13 ^a	3.12± 0.40 ^{bc}	3.93± 0.45 ^{cd}	4.93± 0.39 ^d	2.29± 0.13 ^b	3.30± 0.47 ^{bc}	1.92± 0.28 ^{ab}
50	己醛	10.08± 1.22 ^a	22.81± 0.86 ^{bc}	23.66± 1.50 ^{cd}	29.26± 1.25 ^d	17.42± 0.38 ^b	24.70± 1.94 ^{cd}	20.78± 1.78 ^{bc}
51	2-己烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.51± 0.03 ^c	0.49± 0.05 ^c	0.45± 0.04 ^c	0.20± 0.01 ^b	0.21± 0.02 ^b	0.13± 0.06 ^{ab}
52	2,4-己二烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.11± 0.01 ^b	0.09± 0.01 ^b	0.09± 0.02 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
53	庚醛	1.09± 0.08 ^a	2.73± 0.31 ^b	4.16± 0.27 ^d	2.96± 0.24 ^{bc}	3.53± 0.20 ^{bcd}	2.77± 0.33 ^b	3.91± 0.28 ^{cd}
54	辛醛	0.34± 0.03 ^a	1.49± 0.21 ^b	1.87± 0.13 ^b	1.03± 0.11 ^{ab}	1.91± 0.18 ^b	1.65± 0.23 ^b	4.03± 0.50 ^c
55	2-辛烯醛	0.11± 0.01 ^a	0.42± 0.04 ^b	0.41± 0.04 ^b	0.21± 0.04 ^{ab}	0.39± 0.05 ^b	0.40± 0.04 ^b	0.96± 0.09 ^c
56	2,4-辛二烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.03± 0.00 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
57	壬醛	0.48± 0.04 ^a	1.36± 0.17 ^{ab}	2.16± 0.15 ^{bc}	0.74± 0.06 ^a	3.45± 0.45 ^{cd}	2.82± 0.42 ^c	4.34± 0.64 ^d
58	2-壬烯醛	0.02± 0.00 ^a	0.06± 0.01 ^a	0.05± 0.00 ^a	0.02± 0.00 ^a	0.17± 0.05 ^b	0.09± 0.02 ^a	0.27± 0.07 ^b
59	2,4-壬二烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.02± 0.01 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.02 ^b
60	癸醛	0.01± 0.00 ^a	0.02± 0.00 ^a	0.06± 0.01 ^{ab}	0.02± 0.00 ^a	0.10± 0.02 ^{bc}	0.08± 0.02 ^b	0.14± 0.02 ^c
61	2-癸烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^{ab}	0.03± 0.00 ^{ab}	0.18± 0.05 ^{cd}	0.12± 0.02 ^{bc}	0.26± 0.04 ^d
62	2-十一碳烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.01± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.09± 0.04 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.16± 0.05 ^b
63	十四碳醛	0.00± 0.00 ^a	0.02± 0.00 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
64	十五碳醛	0.00± 0.00 ^a	0.01± 0.01 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a

续表 2

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
65	十六碳醛	0.03± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^a	0.55± 0.14 ^b	0.04± 0.01 ^a	0.08± 0.03 ^a	0.11± 0.05 ^a	0.14± 0.01 ^a
66	2-甲基丙醛	0.16± 0.03 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.13± 0.02 ^{ab}	0.16± 0.05 ^b	0.20± 0.04 ^b	0.00± 0.00 ^a
67	3-甲基丁醛	1.65± 0.37 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.10± 0.02 ^a	4.38± 0.89 ^c	2.00± 0.24 ^b	3.34± 0.29 ^{bc}	2.16± 0.29 ^b
68	2-甲基丁醛	0.95± 0.19 ^{bc}	0.32± 0.03 ^{ab}	0.25± 0.04 ^a	1.21± 0.07 ^c	1.01± 0.09 ^c	2.05± 0.30 ^d	1.33± 0.20 ^c
69	2-甲基-2-丁烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.02± 0.00 ^a	0.04± 0.01 ^a	0.20± 0.02 ^c	0.20± 0.01 ^c	0.13± 0.03 ^b
70	3-甲基-2-丁烯醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^{ab}	0.07± 0.01 ^{bc}	0.08± 0.03 ^{bc}	0.12± 0.01 ^c	0.08± 0.02 ^{bc}
71	4-乙基苯甲醛	0.00± 0.00 ^a	0.01± 0.00 ^{ab}	0.03± 0.01 ^c	0.02± 0.01 ^{abc}	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.03± 0.01 ^{bc}
72	苯甲醛	0.67± 0.11 ^a	1.02± 0.09 ^{ab}	1.33± 0.04 ^{bc}	1.62± 0.09 ^c	2.46± 0.09 ^d	2.57± 0.26 ^d	2.57± 0.12 ^d
73	苯乙醛	0.32± 0.05 ^a	0.10± 0.07 ^a	0.22± 0.05 ^a	0.23± 0.03 ^a	0.53± 0.12 ^{ab}	0.82± 0.13 ^b	1.69± 0.19 ^c
	总质量分数	16.72	34.2	39.99	47.48	36.27	45.55	45.07
	总峰面积(×10 ⁹)	0.39	1.05	1.33	1.68	133	1.65	1.64
酮								
74	丙酮	0.42± 0.11 ^a	0.70± 0.11 ^a	0.67± 0.05 ^a	1.02± 0.06 ^a	2.68± 0.07 ^b	3.31± 0.54 ^b	3.27± 0.66 ^b
75	2-丁酮	0.00± 0.00 ^a	0.71± 0.07 ^{ab}	0.23± 0.05 ^a	1.17± 0.11 ^b	0.00± 0.00 ^a	2.12± 0.24 ^c	1.27± 0.41 ^b
76	2-戊酮	0.37± 0.07 ^{ab}	0.44± 0.02 ^{ab}	0.20± 0.02 ^a	0.65± 0.08 ^b	1.36± 0.15 ^c	0.27± 0.03 ^{ab}	0.62± 0.20 ^{ab}
77	2-己酮	0.19± 0.03 ^{ab}	0.20± 0.03 ^{ab}	0.59± 0.26 ^b	0.26± 0.09 ^{ab}	0.10± 0.03 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
78	2-庚酮	0.38± 0.02 ^a	1.02± 0.06 ^a	0.73± 0.03 ^a	0.74± 0.09 ^a	2.55± 0.36 ^b	0.48± 0.04 ^a	0.46± 0.04 ^a
79	2-辛酮	0.15± 0.02 ^c	0.20± 0.02 ^d	0.10± 0.00 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
80	2-壬酮	0.05± 0.00 ^a	0.09± 0.01 ^a	0.09± 0.01 ^a	0.03± 0.01 ^a	0.39± 0.05 ^b	0.39± 0.16 ^b	0.00± 0.00 ^a
81	3-羟基-2-丁酮	9.37± 0.94 ^b	1.40± 0.24 ^a	1.47± 0.53 ^a	2.02± 0.08 ^a	0.44± 0.04 ^a	0.68± 0.12 ^a	0.34± 0.02 ^a
82	6-甲基-2-庚酮	0.02± 0.00	0.11± 0.01	0.12± 0.01	0.10± 0.02	0.59± 0.41	0.00± 0.00	0.00± 0.00
83	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.25± 0.02 ^{ab}	0.68± 0.06 ^c	0.34± 0.02 ^b	0.27± 0.03 ^{ab}	0.29± 0.03 ^{ab}	0.28± 0.03 ^{ab}	0.18± 0.02 ^a
84	2-甲基-3-辛酮	1.03± 0.10 ^a	2.59± 0.15 ^d	2.08± 0.19 ^{cd}	1.15± 0.04 ^a	1.88± 0.17 ^{bc}	1.06± 0.14 ^a	1.34± 0.10 ^{ab}
85	2,3-丁二酮	2.60± 0.63 ^b	0.30± 0.09 ^a	0.29± 0.15 ^a	0.35± 0.03 ^a	0.09± 0.03 ^a	0.34± 0.04 ^a	0.05± 0.03 ^a
86	2,3-戊二酮	0.06± 0.02 ^a	0.14± 0.02 ^{ab}	0.18± 0.02 ^{abc}	0.16± 0.04 ^{abc}	0.28± 0.02 ^c	0.16± 0.04 ^{abc}	0.23± 0.05 ^{bc}
87	2,3-辛二酮	0.04± 0.01 ^a	0.16± 0.02 ^b	0.10± 0.02 ^{ab}	0.03± 0.01 ^a	0.03± 0.01 ^a	0.11± 0.02 ^{ab}	0.11± 0.04 ^{ab}
88	2,5-辛二酮	0.00± 0.00 ^a	0.23± 0.04 ^{ab}	0.17± 0.01 ^{ab}	0.06± 0.00 ^{ab}	0.17± 0.05 ^{ab}	0.29± 0.07 ^b	0.75± 0.12 ^c
89	3,5-辛二烯-2-酮	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.09± 0.01 ^b	0.15± 0.02 ^b	0.14± 0.02 ^b	0.28± 0.05 ^c

续表2

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
90	苯乙酮	0.19± 0.01 ^a	0.54± 0.04 ^b	0.42± 0.06 ^b	0.18± 0.02 ^a	0.13± 0.02 ^a	0.22± 0.09 ^a	0.10± 0.01 ^a
	总质量分数	15.12	9.51	7.78	8.28	11.13	9.85	9.00
	总峰面积(×10 ⁸)	3.53	2.91	2.58	2.93	4.08	3.58	3.28
羧酸								
91	乙酸	0.38± 0.08 ^a	0.40± 0.11 ^a	0.59± 0.09 ^a	1.95± 0.28 ^{ab}	2.53± 0.75 ^b	5.20± 0.19 ^c	7.53± 0.89 ^d
92	丁酸	1.19± 0.55 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00	0.60± 0.19 ^a	0.00± 0.00	2.91± 0.71 ^b	3.30± 0.41 ^b
93	戊酸	0.25± 0.02	0.30± 0.03	0.32± 0.03	0.32± 0.07	0.19± 0.02	0.32± 0.04	0.26± 0.01
94	己酸	0.73± 0.23 ^a	3.56± 0.28 ^c	3.68± 0.25 ^c	3.43± 0.61 ^c	1.49± 0.30 ^{ab}	2.92± 0.33 ^{bc}	2.75± 0.26 ^{bc}
95	庚酸	0.04± 0.01 ^a	0.12± 0.01 ^b	0.14± 0.01 ^b	0.10± 0.01 ^b	0.04± 0.01 ^a	0.09± 0.02 ^b	0.00± 0.00 ^a
96	辛酸	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.52± 0.08 ^b	0.44± 0.12 ^b	0.77± 0.03 ^c
97	壬酸	0.01± 0.00 ^a	0.03± 0.00 ^a	0.06± 0.01 ^{ab}	0.02± 0.00 ^a	0.11± 0.03 ^b	0.06± 0.01 ^{ab}	0.10± 0.00 ^b
98	癸酸	0.00± 0.00 ^a	0.10± 0.03 ^b	0.22± 0.02 ^c				
99	2-甲基-丙酸	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.87± 0.09 ^b	0.25± 0.07 ^a	0.79± 0.06 ^b	0.71± 0.10 ^b
100	3-甲基-丁酸	0.33± 0.08 ^a	0.16± 0.06 ^a	0.06± 0.02 ^a	1.82± 0.35 ^b	1.12± 0.17 ^b	1.65± 0.15 ^b	1.62± 0.15 ^b
101	2-甲基-丁酸	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.59± 0.05 ^b	0.64± 0.09 ^b	0.45± 0.18 ^b	1.13± 0.09 ^c
102	苯甲酸	0.18± 0.01 ^b	0.32± 0.04 ^a	0.37± 0.02 ^c	0.48± 0.05 ^d	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
103	1,2-苯二甲酸	0.08± 0.02 ^b	0.10± 0.01 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.16± 0.01 ^c	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
	总质量分数	3.19	4.99	5.22	10.34	6.89	14.93	18.39
	总峰面积(×10 ⁸)	0.74	1.53	1.73	3.66	2.52	5.42	6.70
酯								
104	乙酸乙酯	0.31± 0.15 ^{ab}	0.20± 0.01 ^a	0.22± 0.02 ^a	0.12± 0.04 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.31± 0.05 ^{ab}	0.54± 0.11 ^b
105	乙酸戊酯	0.06± 0.01 ^a	0.14± 0.03 ^{ab}	0.27± 0.03 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.21± 0.08 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
106	乙酸己酯	0.14± 0.04	0.15± 0.11	0.00± 0.00	0.00± 0.00	0.00± 0.00	0.00± 0.00	0.00± 0.00
107	丁酸己酯	0.02± 0.00 ^b	0.04± 0.00 ^c	0.02± 0.01 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
108	3-甲基-丁酸乙酯	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.02± 0.00 ^a	0.01± 0.00 ^a	0.03± 0.01 ^a	0.09± 0.03 ^b
109	己酸乙酯	0.27± 0.04 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.37± 0.03 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.25± 0.10 ^b
110	己酸戊酯	0.04± 0.00 ^{ab}	0.07± 0.00 ^{bc}	0.11± 0.03 ^c	0.01± 0.00 ^a	0.02± 0.01 ^{ab}	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a
111	己酸己酯	0.09± 0.01 ^b	0.13± 0.02 ^b	0.11± 0.02 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a

续表 2

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
112	辛酸乙酯	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^{ab}	0.07± 0.01 ^b	0.17± 0.03 ^c
113	癸酸乙酯	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^a	0.06± 0.02 ^a	0.16± 0.04 ^b
	总质量分数	0.93	0.73	0.73	0.15	0.71	0.47	1.21
	总峰面积(×10 ⁷)	2.17	2.23	2.42	0.53	2.60	1.71	4.41
萜烯								
114	柠檬烯	0.59± 0.28 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	1.75± 0.22 ^{ab}	3.88± 1.61 ^b	0.00± 0.00 ^a
	总峰面积(×10 ⁸)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.64	1.41	0.00
含氧杂环化合物								
115	4-(苯甲酰基)-吡喃-3-酮	0.87± 0.11 ^{bcd}	0.63± 0.02 ^{abc}	0.50± 0.03 ^{ab}	0.41± 0.14 ^a	0.38± 0.11 ^a	0.97± 0.12 ^{cd}	1.17± 0.08 ^d
116	2-戊基呋喃	0.00± 0.00 ^a	0.73± 0.06 ^b	0.58± 0.08 ^b	0.12± 0.01 ^a	0.14± 0.03 ^a	0.22± 0.05 ^a	0.16± 0.06 ^a
117	丙基-二氢呋喃-2-酮	0.02± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.00 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^b	0.16± 0.01 ^c
118	戊基-二氢呋喃-2-酮	0.01± 0.00 ^a	0.01± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.06± 0.02 ^b	0.10± 0.02 ^b	0.00± 0.00 ^a
119	2-呋喃乙醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.01 ^b	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.01 ^b
120	1,3-异苯呋喃二酮 0	0.01± 0.00	0.00± 0.00	0.00± 0.00	0.00± 0.00	0.50± 0.33	0.12± 0.03	0.25± 0.01
	总质量分数	0.91	1.37	1.08	0.57	1.12	1.46	1.78
	总峰面积(×10 ⁷)	2.12	4.19	3.59	2.02	4.10	5.30	6.48
含氮化合物								
121	吡啶	0.03± 0.01 ^a	0.08± 0.01 ^a	0.04± 0.00 ^a	0.05± 0.02 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^a	0.17± 0.04 ^b
122	1-(2-吡啶基)-乙酮	0.41± 0.15 ^{ab}	2.16± 0.49 ^c	2.08± 0.32 ^{bc}	1.31± 0.32 ^{abc}	0.29± 0.02 ^a	1.39± 0.76 ^{abc}	0.36± 0.03 ^{ab}
123	2,6-二甲基吡嗪	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.92± 0.09 ^b	1.24± 0.13 ^b	2.73± 0.48 ^c
124	2,3-二甲基吡嗪	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.05± 0.01 ^b	0.12± 0.02 ^c	0.10± 0.01 ^d
125	三甲基吡嗪	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.39± 0.01 ^b	0.73± 0.14 ^c	0.26± 0.17 ^{ab}
	总质量分数	0.44	2.24	2.12	1.36	1.65	3.53	3.62
	总峰面积(×10 ⁶)	0.10	0.69	0.70	0.48	0.60	1.28	1.32
含硫化合物								
126	二甲基二硫化物	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.04± 0.00 ^a	0.26± 0.03 ^b	0.31± 0.03 ^b	0.32± 0.04 ^b	0.24± 0.06 ^b
127	二甲基三硫化物	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.13± 0.01 ^b	0.34± 0.04 ^c	0.00± 0.00 ^a	0.54± 0.03 ^d
128	甲硫醇	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.09± 0.04 ^a	0.55± 0.12 ^b	0.67± 0.09 ^b	1.60± 0.22 ^c	0.78± 0.09 ^b
129	3-甲硫基丙醛	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.00± 0.00 ^a	0.18± 0.01 ^{ab}	0.38± 0.09 ^b	0.33± 0.06 ^b	0.36± 0.06 ^b
	总质量分数	0.00	0.00	0.13	1.12	1.70	2.25	1.92

续表 2

序号	名称	原料腿	盐后	晒后	成熟中期	成熟结束	后熟(1)	后熟(2)
	总峰面积($\times 10^7$)	0.00	0.00	0.43	3.97	6.23	8.17	6.99
含氮化合物								
130	氯仿	3.39 \pm 0.47 ^{bc}	3.64 \pm 0.28 ^{bc}	3.21 \pm 0.15 ^b	2.69 \pm 0.17 ^b	4.81 \pm 0.42 ^c	1.23 \pm 0.57 ^a	0.66 \pm 0.14 ^a
131	二氯甲烷	1.33 \pm 0.12 ^b	1.89 \pm 0.14 ^c	1.35 \pm 0.06 ^b	1.02 \pm 0.04 ^b	4.06 \pm 0.26 ^d	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a
132	氯苯	0.27 \pm 0.03 ^c	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.14 \pm 0.04 ^b
	总质量分数	4.99	5.53	4.56	3.71	8.87	1.23	0.80
	总峰面积($\times 10^8$)	1.16	1.69	1.51	1.31	3.25	0.45	0.29
酰胺								
133	4-硝基苯丙酰胺	0.13 \pm 0.01 ^b	0.15 \pm 0.01 ^b	0.09 \pm 0.01 ^a	0.07 \pm 0.01 ^a	0.07 \pm 0.00 ^a	0.08 \pm 0.00 ^a	0.08 \pm 0.00 ^a
134	己酰胺	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.02 \pm 0.00 ^{ab}	0.05 \pm 0.00 ^{bc}	0.07 \pm 0.01 ^c	0.07 \pm 0.02 ^c
	总质量分数	0.13	0.15	0.09	0.09	0.12	0.15	0.15
	总峰面积($\times 10^6$)	3.03	4.59	2.99	3.19	4.39	5.45	5.46
其它杂环化合物								
135	2-乙基噻唑	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.05 \pm 0.01 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.09 \pm 0.01 ^c
136	2-丙基噻唑	0.00 \pm 0.00 ^a	0.01 \pm 0.00 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^c	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a
137	2-戊基-4,5-二甲基噻唑	0.00 \pm 0.00 ^a	0.01 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a	0.02 \pm 0.01 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a	0.04 \pm 0.01 ^b	0.00 \pm 0.00 ^a
	总质量分数	0.00	0.02	0.00	0.02	0.08	0.04	0.09
	总峰面积($\times 10^6$)	0.00	0.61	0.00	0.71	2.93	1.45	3.28
138	未检出成分质量分数	2.87 \pm 1.07 ^b	2.06 \pm 0.35 ^b	2.04 \pm 0.10 ^b	2.22 \pm 0.01 ^b	0.08 \pm 0.04 ^c	0.22 \pm 0.16 ^a	0.17 \pm 0.02 ^a
	总峰面积($\times 10^7$)	6.70	6.31	6.77	7.86	0.29	0.80	0.62
	总质量分数	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	总峰面积积分($\times 10^9$)	2.33	3.06	3.32	3.54	3.66	3.63	3.64

注:1.各成分的质量分数以检出物峰面积占总峰面积的百分数计,2.同行中标准差后具有不同角标者为差异显著($p < 0.05$).

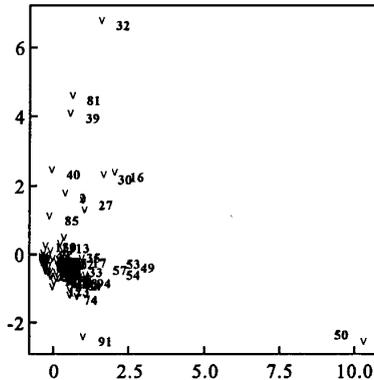
在成熟(2)的94种成分中,约有30种成分在原料中没有检测出.其中醛类最多,有7种,分别是2-己烯醛、2,4-壬二烯醛、2-癸烯醛、2-十一碳烯醛、2-甲基-2-丁烯醛、3-甲基-2-丁烯醛、4-乙基苯甲醛,从成分上看,主要是烯醛类物质;另外还有4种酸,2种酮,3种酯,2种咪唑,在成熟(2)中含有的所有吡嗪类物质和含硫化合物,在原料腿中均未检测到.

从定量的风味成分总峰面积分析,在晒后工艺段之前,风味成分总峰面积变化较大,原料腿、盐后和晒后可定量的风味成分的总峰面积分别为 2.33×10^9 、 3.06×10^9 、 3.32×10^9 .在其它工艺段风味成分总峰面积变化不大.加工过程中,各类成分的变化十分不同,烷烯烃、芳香烃的质量分数在成熟结万方数据

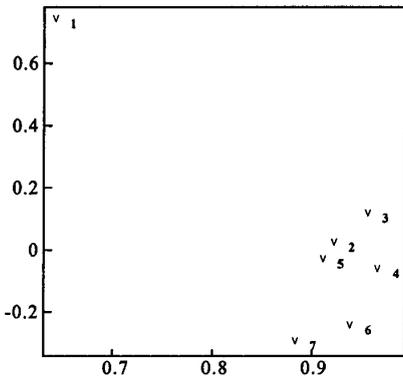
束达到最高值,在后熟(2)的质量分数最低.醇类物质的质量分数从原料腿的41.64%下降到后熟(1)的9.27%,在后熟(2)又上升到13.93%.醛的质量分数在成熟中期达到最高值47.48%,在后熟(1)和后熟(2)分别为45.55%和45.07%.酮类物质变化表现出的个体差异较大,3-羟基-2-丁酮和2,3-丁二酮在原料腿中的质量分数最高,分别是9.37%和2.06%,之后下降,到后熟(2)分别是0.34%和0.05%,其它酮类物质质量分数表现出增高的趋势.羧酸、含氧杂环化合物、含氮化合物和含硫化合物质量分数在生产过程中表现出增大的趋势.其它化合物的变化规律不明显.

图1为生产过程风味成分的主成分分析图.图

1(a)中风味成分的位置点显示出风味成分十分不同的第一和第二主成分. 第一主成分(Axis 1)由直链醛组成, 主要是己醛、戊醛、庚醛、辛醛和壬醛, 第一主成分解释了风味总方差的 80.5%. 第二主成分(Axis 2)主要由 5 种醇(己醇、戊醇、乙醇、3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丁醇), 2 种酮(3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮), 甲苯和己烷等组成, 该类主成分解释了风味变化总方差的 10.1%. 图 1(b)显示了生产过程各主要工艺步骤的位置点, 原料腿在图的左上角, 其它工艺步骤基本集中在图的右下角, 这说明原料腿的风味主要由第二主成分贡献, 其它工艺步骤的风味主要由第一主成分贡献. 通过观察图 1(b)中各主要生产步骤的位置点还可以发现, 从腌后到后熟(2)各工艺步骤的位置点比较集中, 说明生产过程(腌制到后熟)对主体风味组成没有产生很大影响, 火腿风味的形成从腌制开始, 第一主成分在产品的风味中表现最大.



(a) 风味成分位置点(图中数字为表 2 中各风味成分的序号)



(b) 生产工艺过程的位置点(图中数字分别为: 1: 原料腿, 2: 盐后, 3: 晒后, 4: 成熟中期, 5: 成熟结束, 6: 后熟(1), 7: 后熟(2))

图 1 生产过程中风味化合物主成分分析(第一和第二主成分的位置点)

Fig. 1 Principal component analysis of flavor compounds during processing (location of the first and second components)

3 讨论

从实验结果可以看出, 金华火腿(后熟(2))风味物质中最多的成分是醛类物质, 达到 45.07%, 该结果与 Sabio 等^[10]在研究 Bayonne, Corsican, Iberian, Parma 和 Serrano 火腿时得出的结果有一定的相似性, 在 Sabio 等人的结果中, 以上各种火腿中醛类物质也是风味成分中最多的成分, 其质量分数达 50% 以上, 但酸类物质在以上火腿中没有检测到, 这与本研究结果中金华火腿风味成分的酸质量分数达 18.39% 有比较大的差异. 另外本研究结果与 Buscailhon 等^[6,11]的研究结果也具有一定的可比性. 但本研究结果与 Du 等人的研究结果具有比较大的差异^[9], Du 等人在分析金华火腿风味成分时, 利用从北京市场购买的产品, 采用吹扫捕集法(Purge and trap method, PT), 仅检测到 35 种化合物, 其中醛质量分数为 15.11%, 而烃类物质质量分数最高为 66.97%. 结果之间的差异可能来自于样品和分析方法的不同.

火腿风味成分中大量的化合物来自于脂类物质的氧化^[3,6,12,13,14], 这些由脂类物质氧化产生的风味成分有直链的醛、烷烯烃、酮、醇和烷基呋喃. 其中 5 个碳原子以上的直链醛、醇和酮是典型的脂肪氧化产物^[5]. 风味成分中最大量的化合物己醛是 ω_6 不饱和脂肪酸的主要降解产物^[4]. 直链烷烯烃可能来自于脂肪的自动氧化, 支链烷烯可能来自于动物体内少量存在的支链脂肪酸, 这些脂肪酸可能来自于动物的饲料中^[5]. 2-戊基呋喃可以通过亚油酸的氧化产生^[15]. 本研究中, 从癸烷到十五烷的 6 种烷类化合物, 从己醇到壬醇及 1-戊烯 3-醇、1-辛烯 3-醇、2-辛烯 1-醇和 1-壬烯 4-醇共计 8 种醇类物质, 从己醛到癸醛、从 2-辛烯醛到十一碳烯醛及十六碳醛、2-己烯醛、2,4-己二烯醛、2,4-辛二烯醛、2,4-壬二烯醛在内的 14 种醛, 另外还有 2-丁酮、2-戊酮和 2-庚酮以及 2-戊基呋喃可能直接来自于脂类物质的氧化, 在金华火腿(后熟(2))的风味成分中它们的总质量分数达 46.56%.

有些风味物质来自于蛋白质、氨基酸的降解. 与氨基酸降解有关的一个重要反应为 Strecker 降解. Strecker 降解是氨基酸脱羧、脱氨形成相应醛的反应, 它有两个途径, 主要途径需要有二羰基化合物参与, 该二羰基化合物必须是临位的, 或是二个羰基之间由双键或共扼双键相连, 最终产物是 CO_2 、胺和相应的醛, 二羰基化合物来自于美拉德反应和脂肪氧化的中间产物; 另一个途径是氨基酸经

由过氧化氢和脂质过氧化物氧化,最终产物是 NH_3 、 CO_2 和醛^[16]。支链氨基酸降解产生支链羰基化合物和醇,如甲基丙醛、甲基丁醛和甲基丁醇^[6]。本研究中,在后熟(2)中仅有4-乙基环己醇一种支链醇被检测到,但在原料腿中有6种支链醇被检测到,其总质量分数为14.08%,原料腿中如此多的支链醇可能与原料腿中的微生物生长繁殖有关,因为原料腿在腌制之前自然凉摊达24 h以上,此时温度为5~9℃。含硫化合物主要是由含硫氨基酸通过Strecher降解产生,如蛋氨酸、胱氨酸和半胱氨酸降解可产生硫醇,甲硫醇氧化可生成二甲基二硫化物,进一步反应可生成二甲基三硫化物和二甲基硫化物^[15]。在金华火腿(后熟(2))的风味成分中,5种支链醛,3种支链酮和4种含硫化合物可能直接来自于氨基酸的降解,这些化合物的总质量分数为7.51%。

有些化合物会有多种途径产生,如一些小于6个碳原子的脂肪族化合物(如乙醇、丙酮)既可以来自于氨基酸、碳水化合物降解,也可以来自于脂肪的氧化,也有可能来自于微生物的生长代谢^[16]。3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮可以来自于糖原的降解^[6],也可能经由微生物产生^[16],3-羟基-2-丁酮也可以转化为2,3-丁二酮。本研究中3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮在原料腿中的质量分数十分高,如此高的质量分数可能与微生物的生长繁殖有关^[10],因为原料腿腌制之前的自然条件下长时间摊凉,给微生物的生长繁殖创造了条件。在微生物生成2,3-丁二酮的同时,也能产生其还原酶,使其还原为2,3-丁二醇^[16],这可能是金华火腿生产过程中3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮质量分数不断降低,而2,3-丁二醇含量不断升高的原因。甲苯可能来自于芳香族氨基酸的降解,苯类化合物也可能来自于饲料,另外柠檬烯也可能来自于饲料,这些成分都能在动物活体内积累^[6]。羧酸可以来自于中性脂肪和磷脂的降解^[16]和氨基酸脱氨反应或来自于微生物的生长繁殖^[16]。在金华火腿生产过程中,原料腿自然凉摊的时间很长,会有微生物生长繁殖,另外成熟过程中有大量的霉菌在火腿表面生长,这可能是金华火腿风味成分中酸质量分数高的重要原因。

2,6-二甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪和三甲基吡嗪在原料腿中均未发现,生产过程中其质量分数升高的趋势说明这些化合物在生产过程中产生。通常而言,吡嗪是典型的美拉德反应产物,高温蒸煮时

该反应十分明显。虽然在火腿生产过程中的温度相对较低,但美拉德反应也可以在较低的速率下进行,并且产品腌制之后相对较低的水分活度会有利于该反应的发生^[6],长时间的生产过程也为该反应的进行创造了条件。但因反应温度低,故只有少量吡嗪类物质产生。美拉德反应过程中会产生许多中间产物,中间产物的进一步作用会产生大量的风味物质,包括吡啶、噻唑、噁唑^[16],这些化合物在本实验结果中均检测到,但数种和质量分数都相对较低,变化规律也不明确。

酯类物质的产生来自于酸和醇之间的酯化作用,本研究结果中酯的质量分数较少,在成熟(2)中为1.21%。本实验结果中,除后熟(2)外,其它工艺步骤的含氯化合物质量分数都相对较高。含氯化合物可能来自于样品的包装材料或动物体内的农、兽药残留^[5],也可能来自于实验时所用的手套。

从第一和第二主成分的组成可以看出,金华火腿风味物质的第一主成分来自于脂肪的变化,第二主成分中的戊醇、己醇和己烷可能来自于脂肪,其它化合物可能来自于氨基酸的降解和微生物的作用。影响脂肪、氨基酸和微生物变化的因素不相同,因此通过原料和生产工艺条件的控制可以达到控制火腿风味形成的目的。对于金华火腿风味的形成,脂肪变化的控制是最主要的。

4 结 论

风味是火腿最主要的品质指标,而风味形成的调控更为人们所关注。金华火腿的风味成分可归类为:烷烯烃、芳香烃、醇、醛、酮、酸、酯、含氧杂环化合物、含氮化合物、含硫化合物、含氯化合物、酰胺和萜烯类物质,其生产过程中的变化规律不同,形成途径也很复杂。在金华火腿终产品(后熟(2))的风味组成中,醛类物质含量最多,其次是酸类物质和醇。主成分分析显示,第一主成分主要由5种直链醛组成,第二主成分主要由5种直链和支链醇、2种酮及甲苯和己烷等组成,它们可以分别经由脂肪、氨基酸和微生物的变化产生。其中脂类物质是最主要的风味物质前体,控制脂类物质的变化是调控火腿风味形成的重要途径。

致谢:江南大学分析测试中心袁身淑,刘扬岷,王利平老师在风味分析中给予了悉心指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 竺尚武. 金华火腿挥发性风味物质的研究[J]. 食品科学, 1993, (2): 16-18.
- [2] Arnau J, Gou P, Comaposada J. Dry-cured ham and fermented meat products: Formulating for flavor[A]. Brazilian; Proceedings of the 49th ICoMST, 2003. 56-66.
- [3] Andrés A I, Cava R, Ventanas J, *et al.* Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions[J]. **Food Chemistry**, 2004, 84: 375-381.
- [4] Barbieri G, Bolzoni L, Parolari G, *et al.* Flavor compounds of dry-cured ham[J]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 1992, 40: 2389-2394.
- [5] Berdagu J, Denoyer C, Le Q J, *et al.* Volatile components of dry-cured ham[J]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 1991, 39: 1257-1261.
- [6] Buscaillon S, Berdagu J L, Monin G. Time-related changes in volatile compounds of lean tissue during processing of French dry-cured ham[J]. **Journal of Science of Food and Agriculture**, 1993, 63: 69-75.
- [7] Buscaillon S, Berdagu J L, Bousset J, *et al.* Relations between compositional traits and sensory qualities of French dry-cured ham[J]. **Meat Science**, 1994, 37: 229-243.
- [8] Jorge R, Jesús V, Ramón C, *et al.* Volatile compounds of dry-cured Iberian ham as affected by the length of the curing process[J]. **Meat Science**, 1999, 52: 19-27.
- [9] Du M, Ahn D U. Volatile substances of Chinese traditional Jinhua ham and Cantonese sausage[J]. **Journal of Food Science**, 2001, 66(6): 827-831.
- [10] Sabio E, M C Vidal-Aidal-Aragon, M J Bernalte, *et al.* Volatile compounds present in six types of dry-cured ham from south European countries[J]. **Food Chemistry**, 1998, 60: 493-503.
- [11] Timón M L, Ventana J, Martín L, *et al.* Volatile compounds in supercritical carbon dioxide extracts of Iberian ham[J]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 1998, 46: 5143-5150.
- [12] Frankel E N. Lipid oxidation: mechanisms, products and biological significance[J]. **Journal of American oil Chemists Society**, 1984, 61: 1908-1917.
- [13] Mottram D S. Flavor formation in meat and meat products: a Review[J]. **Food Chemistry**, 1998, 62: 415-424.
- [14] Stephen Elnore J, Donald S Mottram, Michael Enser, *et al.* Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 1999, 47: 1619-1625.
- [15] Flores M, Grimm C C, Toldr F, *et al.* Correlations of sensory and volatile compounds of Spanish "Serrano" dry-cured ham as a function of two processing times[J]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 1997, 45: 2178-2186.
- [16] Heath H B, Reineccius G. Flavor chemistry and technology[M]. Westport: The AVI publishing company, 1986.

(责任编辑:朱明)