

模拟昼夜条件下风速对风干腊肠品质的影响研究

程镜蓉, 张业辉, 唐道邦, 刘学铭, 林耀盛, 陈智毅

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 本文通过模拟广东春季昼夜温度、湿度条件, 比较不同风速(0.5 m/s, 1.0 m/s, 自然风)条件下加工的腊肠在理化指标、脂质氧化、风味物质组成及含量等的变化差异, 阐明风速对风干腊肠品质的影响, 以期对风干腊肠规模化加工、建立人工气候和质量安全控制提供理论依据。研究表明, 风速是影响腊肠品质的重要因素之一, 人工风干脱水的腊肠, 干燥速度及 pH 值的变化均明显快于自然风干腊肠。脂质氧化贯穿于腊肠风干熟化的全过程, 提高风速在一定程度上有助于延缓腊肠的酸败, 强化风味氨基酸的积累。此外, 人工控制腊肠风干的速度有助于延长腊肠的保质期, 风干末期腊肠的酸价、过氧化物值和 TBA 值均比自然风干腊肠低。

关键词: 腊肠; 风味; 干燥; 风速

文章编号: 1673-9078(2017)8-168-175

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.8.025

Effect of Wind Speed on the Quality of Dried Sausages under Simulated Day and Night Conditions

CHENG Jing-rong, ZHANG Ye-hui, TANG Dao-bang, LIU Xue-ming, LIN Yao-sheng, CHEN Zhi-yi

(Sericultural and Agri-food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Food of Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Guangdong Province Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the large-scale processing of air-dried sausages and establishment of anthropogenic climate and safety controls, the influence of wind speed on the quality of dried sausages was investigated. By simulating the day and night conditions (temperature and humidity) in Guangdong, differences in the changes of the physicochemical indexes, lipid oxidation, and flavor compound composition and contents of sausage samples processed under different wind speeds (0.5 m/s, 1.0 m/s, or natural wind) were compared. The results showed that wind speed was an important factor that affected the sausage quality. The changes in the drying rate and pH value of the sausage samples prepared by the artificial processes were significantly higher than those prepared by natural air drying. Lipid oxidation occurred throughout the entire drying and maturation stages of the sausages, and enhancement of the wind speed delayed the rancidity of the products and strengthened the accumulation of flavor amino acids. Furthermore, anthropogenic control of the drying speed could extend the shelf life of the sausage, where its acid, peroxide, and thiobarbituric acid values at the end stage of the drying process were lower than those of the naturally dried sausage.

Key words: sausage; flavor; drying; wind speed

广式腊味具有营养丰富、风味独特和易贮存等特点, 深受人们喜爱^[1]。粤北山区风干腊味是广式腊味

收稿日期: 2016-11-25

基金项目: 广东省自然科学基金项目(2015A030313569); 广东省省级科技计划项目(2014A020208040); 广东省科技计划项目(2014B040404059); 广东省农业厅科技项目(2016LM3167); 2017年广州市科技计划民生科技项目(201704020054)

作者简介: 程镜蓉(1988-), 女, 硕士, 研究实习员, 主要从事农产品深加工及功能食品开发研究

通讯作者: 唐道邦(1973-), 男, 副研究员, 主要从事农产品深加工及功能食品开发研究

制品的重要组成部分。该地区秋冬季气候多低温干燥(风速 0.3~1.0 m/s、昼夜温度 10~25 °C、湿度 30~60%), 适合于肉制品的风干加工。目前, 自然晾晒干燥是该地区秋冬季工厂及农户用于腊味干燥的主要方法, 产品干燥周期长, 生产效率低。由于脱水时间长, 产品在晾晒过程还容易受蚊蝇叮咬, 若是遇上下雨天, 还可能导致整批产品长霉变质, 严重影响产品的品质稳定性和经济效益。随着全球环境的恶化和气候的变暖, 空气中的污染物, 作为某些重金属与多环芳烃等有毒物质的载体^[2], 常附着在风干制品上, 对自然晾晒干燥式产品的安全带来隐患。这些也是限制风干腊味产

业做强、做大的主要因素。

干燥是一个复杂的传热、传质过程，它受到温度、风速和湿度等多重因素的影响。适宜的干燥条件能显著提高产品的贮藏性能，提升产品的质量，改善产品的风味。目前的干燥工艺主要采用热风干燥和冷风干燥^[2]。热风干燥可有效提高风干速率，却易造成食品中营养物质的氧化及细菌的滋生；同时，过高的温度还会造成产品营养成分流失，复水性骤降，严重影响产品的质量^[3]。冷风干燥技术可以利用低温热源，减少营养物质的热损失和细菌的滋生，却因其在设备上需较大投资，故在肉制品加工行业推广缓慢^[4]。目前，国内外对于风干腊味加工的研究广泛关注于干燥温度对风干制品品质的影响，而模拟自然气候，研究风速对风干腊肠品质影响的研究鲜有报道。本研究模拟粤北山区秋冬季节气候，通过控制风速，系统地研究人工条件和自然条件下产品在风干过程中理化性质、脂质水解氧化特性、风味物质等指标的变化，以期为提高风干腊肠品质稳定性，改善风味，建立风干制品人工气候调控提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料、试剂与amp;仪器

实验所用的瘦肉、肥肉、蔗糖、食盐、味精、白糖和肠衣等均购于广州华润万家超市；实验所采用的化学试剂如亚硝酸钠和硫代巴比妥酸等均为分析纯。

1.2 仪器与amp;设备

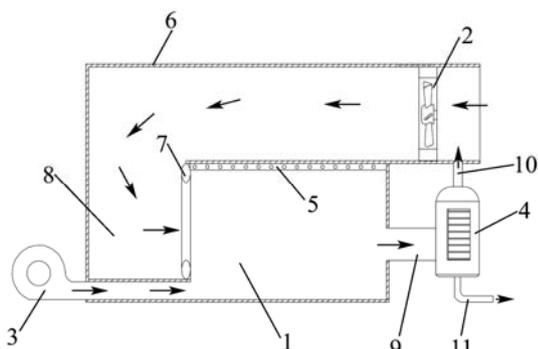


图 1 改装后的调温调湿干燥箱

Fig.1 Constant temperature and humidity drying oven after modification

WI51382 型氨基酸自动分析仪（北京中西远大科技有限公司）、Agilent 6890GC/5975 MS 气质联用仪（美国 Agilent 科技有限公司）、DB-5MS UI 超高惰性石英毛细管柱（30.0 m×0.25 mm×0.25 μm）（美国 Agilent 科技有限公司）、DVB/CAR/PDMS 萃取头

（50/30 μm）（上海安谱科学仪器有限公司）。

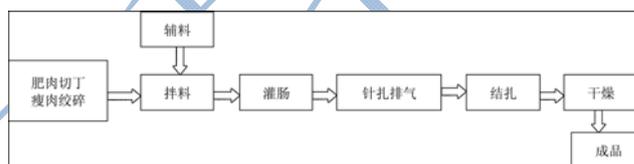
调温调湿干燥箱：由 GHRH-20 型热泵干燥机（广东省农业机械研究所干燥设备制造厂）改装，增加了超声波加湿器、调控风速的变频调速器，主要部件为：干燥腔体（1）、风机（2）、超声波加湿器（3）、调控风速的变频调速器和用于进行气体除湿处理的冷凝除湿装置（4）、加热装置（5）、风道（8）、冷凝水出口（11）、干燥后的空气入口（10）；采用 PLC 控制，为对设定好的腔体内温度、湿度进行自动调节。

1.3 实验方法

1.3.1 风干腊肠的制作

配方：瘦肉与肥肉之比为 8:2，辅料以肉总重计，亚硝酸钠 0.01% (m/m)，糖 12% (m/m)，白酒 2% (m/m)，味精 0.2% (m/m)，盐 3.0% (m/m)。

工艺流程：



干燥参数：

人工条件 1：日间温度为 25℃，湿度为 35%，烘烤 12 h；夜间温度降至 15℃，湿度为 45%，烘烤 12 h，风速控制在 0.5 m/s，连续烘烤至水分至 20% 以下得成品。

人工条件 2：日间温度为 25℃，湿度为 35%，烘烤 12 h；夜间温度降至 15℃，湿度为 45%，烘烤 12 h，风速控制在 1.0 m/s，连续烘烤至水分至 20% 以下得成品。

自然风干法：采用自然风干方法（广州 1~2 月份），日间温度 12~30℃，湿度 30~55%，夜间温度 12~18℃，湿度 40~55%，风速 0.3~1.0 m/s。连续干燥至水分 20% 以下得成品。

1.3.2 腊肠营养成分的测定

水分含量参照 GB/T 5009.3-2003 测定；pH 参照 GB/T 9695.5-2008 测定；总糖含量根据 GB/T 9695.31-2008 测定；蛋白质测定根据 GB 5009.5-2010 测定；脂肪含量根据 GB/T 14772-2008 测定。

1.3.3 酸价的测定

参照 GB/T 5009.44 规定的方法，重复测定 3 次。

1.3.4 过氧化物值的测定

样品处理按 GB/T 5009.44-2005 规定的方法操作，按 GB/T 5009.37 规定方法测定，重复测定 3 次。

1.3.5 TBA 的测定

参照参考文献^[5]。

1.3.6 游离氨基酸的测定

取成熟的发酵腊肠, 去肠衣, 剁碎混匀后, 称取 1 g 样品, 加入 8% 磺基水杨酸 10 mL, 高速均质后于 4 °C 下 10000 r/min 离心 20 min, 取上清液, 同温度下 15000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 用 0.22 μm 的无菌滤膜过滤后用氨基酸自动分析仪检测。

1.3.7 挥发性风味物质分析

固相微萃取: 分别称取 5 g 已剪碎的腊肠于顶空瓶中, 加盖, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头在气相色谱进样口(氮气保护下) 270 °C 预先老化 1 h, 再将萃取头置于称好样品的顶空瓶中, 在 50 °C 恒温条件下萃取 30 min, 解析 5 min。

GC 条件: 采用弹性石英毛细管柱 HP-5(30 m×0.25 mm, 0.25 μm), 载气为 He, 流速为 1.0 mL/min, 进样口温度 260 °C, 不分流进样。升温程序: 初始温度 40 °C, 保持 5 min, 再以 4 °C/min 的升温速率升至 130 °C, 保持 3 min; 之后再以 8 °C/min 的升温速率升至 200 °C, 保持 3 min; 最后再以 12 °C/min 的升温速

率升至 250 °C, 保持 6 min, 运行时间 41 min。

MS 条件: 电子轰击离子源, 离子源温度 250 °C, MS 四级杆温度 200 °C, 扫描方式为全扫描, 扫描质量范围 30~450 u, 溶剂延迟 3 min。化合物组成的分析结果以计算机 NIST11 谱库检索结果和人工谱图解析相结合的手段确定, 按面积归一化法进行定量。

1.4 数据处理

试验数据由 Xcalibur 软件完成, 未知化合物经计算机检索的同时与 NIST11 谱库和 Wiley 谱库相匹配, 只有当匹配度均大于 800 (最大值为 1000) 的鉴定结果才予以确认。测试样品重复 3 次实验, 所有数据采用 SPSS 19.0 软件进行统计。

2 结果与分析

2.1 腊肠干燥过程理化指标变化

表 1 风速对腊肠干燥过程中的理化指标的影响

Table 1 Effect of wind speed on the physicochemical indexes of sausages during the drying process

	时间/h	自然风干	不同风速干燥	
			0.5 m/s	1.0 m/s
水分/(g/100 g)	0	58.98±0.19	59.34±0.35	60.12±0.29
	24	37.99±0.13	39.17±0.19	37.86±0.19
	48	27.93±0.32	31.06±0.29	28.23±0.35
	72	30.15±0.19	25.01±0.14	20.14±0.09
	96	26.94±0.09	19.33±0.19	-
	120	19.88±0.19	-	-
	a_w	0	0.986±0.03	0.987±0.03
24		0.972±0.02	0.969±0.03	0.968±0.02
48		0.930±0.04	0.923±0.01	0.930±0.02
72		0.916±0.02	0.899±0.03	0.864±0.03
96		0.882±0.01	0.854±0.02	-
120		0.843±0.03	-	-
pH		0	6.46±0.09	6.40±0.16
	24	6.37±0.11	6.21±0.03	6.06±0.08
	48	6.30±0.10	6.16±0.13	5.93±0.05
	72	6.21±0.8	6.02±0.12	5.87±0.11
	96	6.12±0.13	5.84±0.08	-
	120	5.95±0.11	-	-
	总糖/(g/100 g)	产品	12.0±0.09	10.4±0.06
脂肪/(g/100 g)	产品	15.76±0.19	16.06±0.11	15.89±0.10
蛋白/(g/100 g)	产品	32.38±0.23	33.25±0.39	35.68±0.25

腊肠加工过程中许多与风味相关的反应需要水的参与, 然而水分过多又会导致肉制品的酸败或腐败^[6]。

表 1 显示了人工条件和自然风干过程中腊肠理化指标的变化, 可以看出, 人工风速控制下腊肠干燥速率明

显比自然干燥快。而且,随着风速的增大,腊肠的风干周期从5 d(自然风干)缩短为3 d(1.0 m/s 风速)。这一方面是风速的增加加快了空气流动和水分的蒸发;另外,自然条件下昼夜湿度差较大,同时风干过程又遭遇露水、雨水等气候,延长了干燥周期。由于干燥过程脱水,产品的水分活度在产品熟化过程中也呈现显著下降的趋势, a_w 值从起初的0.986~0.988下降到0.843~0.854。

通常,在腊肠熟化前期,乳酸菌的代谢会促成pH值的下降;随后,随着蛋白质的氧化降解,非蛋白氮及碱性氨基酸化合物逐渐积累,这种pH值下降的趋势会减弱甚至逆转^[7]。在本研究中,可能是由于环境温度较低,适宜于乳酸菌等产酸微生物的生长^[8],各组腊肠的pH值始终呈现缓慢下降的趋势,且最终产品的pH值均在5.5~6.0之间。各种腊肠的蛋白质含量均高于22%,脂肪含量约在16%左右,符合现代营养饮食中低脂的要求,属于广式腊肠国家标准中优级腊肠^[9]。腊肠加工过程中加入了12%的蔗糖,赋予腊肠香甜味;脱水加工后腊肠的总糖含量均小于12%,符合现代都市人低糖、清淡口味的要求。

2.2 风速对干燥过程中腊肠脂质氧化特性的影响

腊肠加工过程中,由于受到光、热、氧气、微生物及内源酶等因素的影响,脂肪发生水解和氧化,造成酸价、过氧化物值等的升高,待到脂质氧化达到一定程度后,产品则会发生酸败,出现刺激性气味^[10,11]。本研究以酸价、过氧化物值及TBA值作为主要考核指标,研究干燥风速对风干腊肠脂质水解氧化的影响。

由图2可知,随着干燥时间的延长,腊肠的酸价由干燥前的0.65~0.69 mg KOH/g 脂肪升高到干燥结束后的2.14~2.63 mg KOH/g 脂肪。这与张福新等^[12]在研究传统中式腊肠自然风干成熟过程中酸价的变化趋势是一致的。风干前期,自然风干得到的腊肠酸价在三者中处于较低水平,但其成品腊肠的酸价却居三者首位(3.2 mg KOH/g 脂肪),这可能是因为人工条件下干燥速度快,缩短了脂肪的水解周期。与我们研究结果不同,白福玉等^[11]发现人工烘烤条件下腊肠的酸价上升较日晒快,这主要是因为其烘烤过程温度较高,远远超过自然条件的温度,大大提高了脂肪的水解速率^[13,14]。

过氧化物值和TBA值被广泛用于表征腌腊味制品脂肪的氧化程度。理论上讲,脂肪氧化初期,丙二醛处于较低水平;随着氢过氧化物的积累和分解,丙

二醛含量上升;到氧化末期,氢过氧化物全部分解为小分子产物,丙二醛的含量则达到峰值^[11]。从图2b和图2c可以发现,在腊肠加工初期已经检测到丙二醛等小分子物质,且过氧化物值和TBA值均呈现出先上升后下降的趋势;加工后期,各组腊肠的TBA值出现了微弱的下降,这可能是后期脂肪氧化较弱,丙二醛挥发所致^[15,16]。尽管恒定风速加速了腊肠脂肪水解氧化,却显著缩短了干燥周期,减弱了脂肪的水解和脂肪酸的积累;然而自然风干过程遇到雾天和雷雨天的影响,微生物的快速繁殖及解脂酶的加速积累,导致脂肪加速氧化。因此,人工条件下广式腊肠的过氧化物值和TBA的变化明显强于自然风干组,但最终腊肠产品的过氧化值却较自然风干组低。

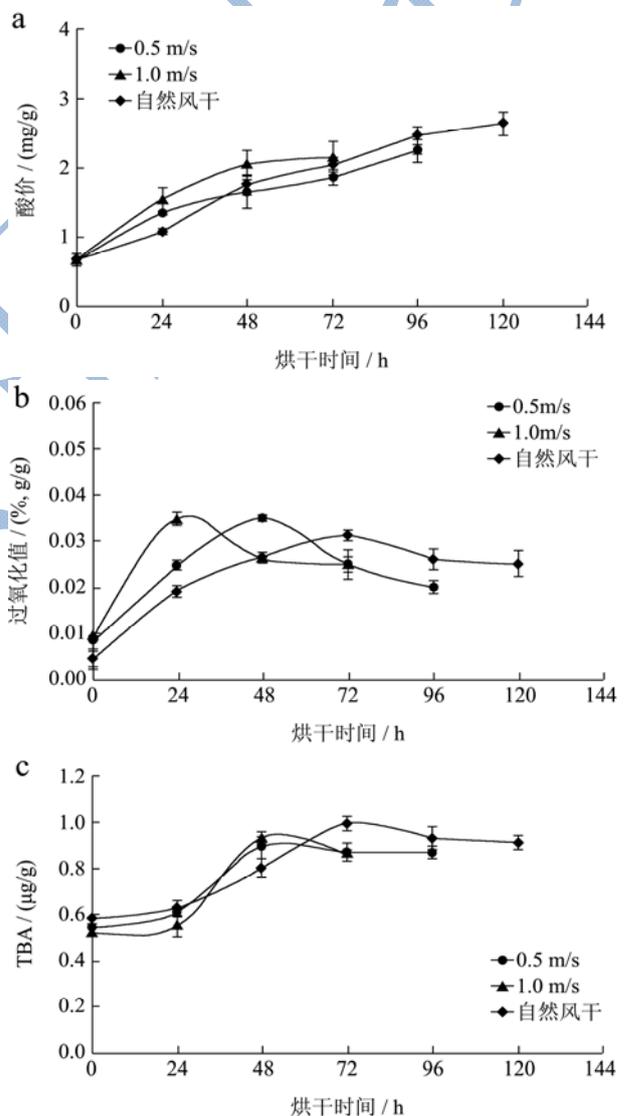


图2 腊肠加工过程中脂质水解、氧化特性

Fig.2 Lipid hydrolytic rancidity and oxidation characteristics of sausages during the drying process

2.3 风速对腊肠风味氨基酸的影响

腊肠中的游离氨基酸与腊肠风味的形成密切相关,是腊肠酸味、甜味和苦味的前体物。腊肠在成熟过程中,产品内部发生了复杂的生化反应,其中蛋白质分解为短肽,进而降解为游离氨基酸,使得产品风

味独特而浓郁^[17]。本实验对不同干燥工艺下成品腊肠的游离氨基酸的含量进行分析,以探讨风速对腊肠游离氨基酸组成及含量的影响规律,结果见表2。

表2 加工后风干腊肠的游离氨基酸含量(mg/100 g)(以干基计)的变化

Table 2 Changes in the free amino acid content of dried sausages during the drying process

游离氨基酸(mg/100 g 干基)	腊肠风干条件		
	自然风干	0.5 m/s	1.0 m/s
牛磺酸	35.15±0.13	47.39±6.38	60.34±3.53
尿素	52.66±0.62	52.93±2.39	15.13±2.13
天冬氨酸	-	6.50±0.31	8.07±1.02
苏氨酸	21.02±0.28	24.77±2.10	19.76±2.13
丝氨酸	24.33±0.24	35.31±3.19	28.52±3.11
谷氨酸	376.73±23.11	383.89±37.12	507.18±31.34
α -氨基己二酸	1.23±0.02	-	1.85±0.21
甘氨酸	26.94±0.31	27.29±2.13	29.06±1.24
丙氨酸	63.37±2.14	106.76±13.43	88.86±6.48
瓜氨酸	2.84±0.01	3.43±0.12	3.78±0.12
α -氨基正丁酸	0.53±0.01	1.18±0.12	0.66±0.04
缬氨酸	23.72±0.21	28.20±0.21	22.58±2.42
半胱氨酸	1.43±0.01	1.53±0.15	2.57±0.12
蛋氨酸	7.68±0.14	11.71±0.87	12.50±0.23
光硫醚	0.96±0.10	0.84±0.03	1.03±0.11
异亮氨酸	11.74±0.12	18.01±1.21	19.20±2.31
亮氨酸	48.84±1.22	50.52±4.18	51.00±6.18
苯丙氨酸	12.01±0.11	15.37±1.49	18.17±2.19
β -丙氨酸	6.13±0.12	0.74±0.02	9.15±0.48
β -氨基异丁酸	1.10±0.01	0.29±0.01	0.35±0.01
γ -氨基正丁酸	0.22±0.01	0.45±0.01	0.66±0.08
乙醇胺	2.35±0.02	2.59±0.12	6.82±0.37
氨	-	27.39±4.01	-
羟赖氨酸	-	0.37±0.01	-
鸟氨酸	1.46±0.01	2.83±0.02	3.31±0.11
赖氨酸	31.15±0.13	32.01±1.37	37.27±3.12
组氨酸	7.10±0.12	14.30±1.12	13.64±2.31
3-甲基组氨酸	-	0.43±0.01	-
鹅肌肽	34.71±0.23	36.50±0.14	43.73±3.97
肌肽	823.24±23.21	750.70±43.21	811.14±40.98
精氨酸	16.75±0.32	33.02±2.43	25.91±1.83
脯氨酸	15.57±0.13	29.39±3.59	17.81±2.10
总量	1650.96±52.12	1746.64±39.71	1860.05±34.21

成品腊肠中谷氨酸、丙氨酸、赖氨酸、亮氨酸和肌肽含量较大,对腊肠的滋味贡献较大,可认为是风干腊肠的特征风味物质。与本研究相似,蒋爱民等^[18]在研究中也指出高浓度的谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸、

赖氨酸和缬氨酸等可对腊肠肉制品最终的特征性风味产生重大的影响。甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸和脯氨酸是典型的甜味氨基酸^[17]。从表中我们可以看到三种腊肠的甜味氨基酸总量均高于150 mg/100 g干基,这与

广式腊肠特有的香甜风味是相符的。从氨基酸的总量来看,人工条件下腊肠的氨基酸含量高于自然风干腊肠,这主要是由于自然风干加工时间较长,氨基酸发生斯特勒克(strecker)降解作用较强^[19]。此外,Rabie等^[7]认为色氨酸、天冬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸和肽的形成与加工时间长短及腌制风味密切相关。在本研究中,这些氨基酸在成品腊肠中的含量基本都是随着风速的增大呈现递增趋势(表2)。尽管半胱氨酸、蛋氨酸和组氨酸在成品腊肠中的含量较低,但这些氨基酸的呈味阈值较低,对腊肠的滋味同样有重要作用^[20]。研究表明,精氨酸和组氨酸能与还原性化合物发生强烈的美拉德反应,这些氨基酸在成品腊肠中均处于较低水平(<35 mg/100 g 干基),可能是在加工过程中参与美拉德反应造成的^[7]。

2.4 挥发性风味物质变化

蛋白质与脂质的氧化、降解,及其与原辅料的配伍,共同赋予腊肠浓郁的香气,因此,腊肠的风味是由多种不同挥发性物质与游离氨基酸等共同作用的结果^[21]。由表3可知,三种不同条件下干燥的腊肠测出的挥发性风味物质略有不同,主要包括醇类、酯类、醛类、酮类、烃类及酸类等六大类。自然风干条件下加工的腊肠脂肪水解和氧化较强,得到的挥发性风味物较多;增大风速,脂质降解氧化相对减弱,得到的挥发性风味物质略有减少(表3)。从风味物质的数量上看,自然风干腊肠测得的挥发性风味物质种类最多(36种),0.5 m/s干燥的腊肠次之(35种),1.0 m/s的最少(33种)。

表3 腊肠成品腊肠挥发性风味物质分析

Table 3 Volatile flavor compounds of sausage products

化合物名称	含量/%		
	自然条件	0.5 m/s	1.0 m/s
醇类化合物	42.17±1.13	46.61±1.21	52.53±1.23
乙醇	39.87±1.03	45.59±1.02	50.89±1.08
己醇	2.13±0.01	0.83±0.03	1.31±0.01
异丁醇	0.14±0.03	0.19±0.01	0.24±0.01
2-甲基-1-丁醇	0.03±0.01	-	0.09±0.01
酯类化合物	20.01±0.63	19.7±0.21	17.89±0.43
乙酸乙酯	4.41±0.01	2.63±0.13	2.68±0.03
丁酸乙酯	1.60±0.01	2.34±0.05	1.65±0.03
戊酸乙酯	0.85±0.01	1.16±0.03	0.91±0.01
己酸乙酯	2.11±0.03	2.63±0.11	3.09±0.03
癸酸乙酯	0.39±0.01	0.36±0.02	1.17±0.03
辛酸乙酯	0.34±0.01	0.48±0.01	1.29±0.03
壬酸乙酯	0.11±0.01	0.19±0.01	-

13-甲基十四烷酸甲酯	10.01±0.01	9.65±0.53	6.85±0.43
十四烷酸乙酯	0.11±0.01	0.15±0.01	0.10±0.01
十六烷酸乙酯	0.08±0.01	0.11±0.01	0.15±0.01
醛类化合物	9.6±0.43	9.62±0.54	5.89±1.13
己醛	1.66±0.03	1.38±0.03	1.01±0.03
正庚醛	1.15±0.02	0.86±0.01	0.13±0.01
壬醛	4.04±0.53	3.40±0.13	2.38±0.03
3-乙基苯甲醛	0.11±0.01	0.54±0.01	0.46±0.02
辛醛	0.74±0.03	0.90±0.01	-
2-癸烯醛	0.40±0.01	1.02±0.03	1.53±0.05
2-十一碳烯醛	-	0.88±0.01	-
十八(烷)醛	0.18±0.01	-	0.11±0.01
十一(烷)醛	0.23±0.01	-	0.12±0.01
癸醛	0.19±0.01	0.14±0.01	0.09±0.01
反-2-癸烯醛	0.44±0.01	0.39±0.01	0.06±0.01
反-2-庚烯醛	0.46±0.01	0.11±0.01	-
酮类	0.49±0.01	0.35±0.01	0.3±0.01
2-癸酮	0.30±0.01	0.13±0.01	0.11±0.01
2-十五烷酮	0.19±0.01	0.22±0.01	0.19±0.01
烃类化合物	19.23±0.54	15.24±1.13	12.52±0.59
六甲基环三硅氧烷	1.52±0.03	-	1.83±0.13
八甲基环四硅氧烷	9.83±0.53	10.97±0.25	8.22±0.51
十二甲基环六硅氧烷	5.48±0.13	1.34±0.01	-
十甲基环五硅氧烷	1.54±0.03	1.23±0.01	1.60±0.13
正十四烷	0.32±0.03	-	0.28±0.01
环氧癸烷	-	0.13±0.01	0.19±0.01
环癸烷	-	0.11±0.01	-
D-柠檬烯	0.54±0.01	0.68±0.02	0.40±0.01
1,3-丁二烯	-	0.78±0.01	-
酸类化合物	2.20±0.02	1.82±0.13	1.32±0.01
乙酸	1.02±0.01	0.86±0.02	0.64±0.01
庚酸	0.06±0.01	0.10±0.01	0.09±0.01
己酸	1.12±0.01	0.86±0.02	0.59±0.01
其他	6.30±0.19	6.66±0.62	9.55±0.73

从挥发性物质的组成上看,醇类和酯类物质是腊肠的主要风味物质,其中醇类物质的含量最高,相对含量分别达到42.17%(自然风干),46.61%(0.5 m/s风速)和52.53%(1.0 m/s风速)。醇类物质主要源于辅料及脂质的氧化;酒是腊肠配方中重要的辅料,为酯类物质的合成提供丰富的前体物;随着脂肪的氧化和水解,过氧化物降解的初级产物(烷氧基自由基)与脂肪分子反应可也生成醇类物质^[22]。酯类物质主要源于醇和酸的酯化作用^[7,23],成品腊肠中检测出来的酯类物质约有10种,其中主要的酯类物质是乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯和13-甲基十四烷酸甲酯(表

3)。乙酸乙酯是重要的风味化合物,具有较强的果香味和较低的阈值^[24],可赋予腊肠浓郁的酯香,还会掩盖一些不良气味。值得注意的是,成品腊肠中,自然风干腊肠的酯类化合物含量最高而醇类含量相对较低,这一方面是因为醇类物质参与酯类物质的合成,另一方面是由于干燥时间长,增加了醇类物质挥发损失^[16]。

醛类化合物具有较强的挥发性和较低的阈值^[25]。三种腊肠样品的醛类化合物分别有 11 种(自然风干)、10 种(0.5 m/s 风速)和 9 种(1.0 m/s 风速),相对质量分数分别为 9.6%, 9.62%和 5.89%,主要是己醛、正庚醛、壬醛和 2-癸烯醛等。赵冰等^[25]在研究中发现己醛和壬醛对腊肠的风味起着积极的作用,具有柑橘香味,可作为脂肪氧化的重要标志。研究表明,脂质氧化产生的游离脂肪酸易与过氧自由基发生自动氧化产生氢过氧化物,而烃类化合物就是氢过氧化物进一步裂解的产物^[26]。因此烃类化合物的含量也可以直观反应脂质的水解和氧化程度。随着风速增高,成品腊肠烃类化合物呈下降趋势,这也进一步证实了提高风速有助于减缓腊肠的脂质氧化。

3 结论

干燥是影响腊肠品质的重要环节,干燥风速对腊肠理化指标,脂质氧化特性及产品风味具有显著影响。自然干燥尽管能得到理化指标合格的腊肠,却因受到环境的不可控因素影响,产品脂质氧化程度较强,贮藏和运输期易产生酸败。恒定风速有助于改善腊肠品质,适当提高风速能缩短脂质水解和氧化周期,延缓腊肠的酸败,减弱氨基酸的斯特勒克降解作用,促进风味氨基酸的积累。本研究阐明了干燥风速对腊肠品质改良的积极作用,发现对干燥工艺进行调控有助于改善腊肠风味品质及安全性,其结果可为提高风干腊肠品质稳定性,改善风味,建立风干制品人工气候调控提供理论指导。

参考文献

- [1] Chen W Z, Rui H M, Yuan H T, et al. Analysis of dynamic chemical changes in Chinese cantonese sausage: factors influencing content of nitrite and formation of flavor substances [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1191-1195
- [2] 赵惠麟,周林.风鸡低温风干工艺研究及其品质评价[J].肉类研究,2014,28(8):11-14
ZHAO Hui-lin, ZHOU Lin. Optimization and evaluation of low-temperature air drying conditions for improved quality of dry breezed chicken [J]. Meat Research, 2014, 28(8): 11-14
- [3] 曾晓房,白卫东,黄桂颖,等.热风干燥工艺对广式腊肠质构的影响[J].现代食品科技,2010,26(10):1052-1056
ZENG Xiao-fang, BAI Wei-dong, HUANG Gui-ying, et al. Effect of hot-air drying on the texture characteristic of cantonese sausage [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(10): 1052-1056
- [4] 刘倩,高澄宇,黄金发,等.鲍鱼冷风干燥和自然晾晒试验的比较分析[J].渔业现代化,2012,39(4):42-47
LIU Qian, GAO Cheng-yu, HUANG Jin-fa, et al. Comparison and analysis of cold-blast air drying and natural drying of abalone [J]. Fishery Modernization, 2012, 39(4): 42-47
- [5] 张荣华,赵士权,林明珠,等.腌腊肉制品中丙二醛测定方法的探讨[J].中国食品卫生杂志,2001,13(4):16-17
ZHANG Rong-hua, ZHAO Shi-quan, LIN Ming-zhu, et al. Study on the determination of malondialdehyde in Chinese bacon [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2001, 13(4): 16-17
- [6] Santos E M, Gonzalez-Fernandez C, Jaime I, et al. Physicochemical and sensory characterisation of morcilla de burgos, a traditional Spanish blood sausage [J]. Meat Science, 2003, 65(2): 893-898
- [7] Rabie M A, Peres C, Malcata F X. Evolution of amino acids and biogenic amines throughout storage in sausages made of horse, beef and turkey meats [J]. Meat Science, 2014, 96(1): 82-87
- [8] 沈清武.发酵干香肠成熟过程中的菌相变化及发酵剂对产品的影响[D].北京:中国农业大学,2004
SHEN Qing-wu. Microbial succession during ripening and influence of starter culture on the quality of fermented dry sausages [D]. Beijing: China Agriculture University, 2004
- [9] 黄金枝,杨荣玲,唐道邦,等.发酵广式腊肠加工过程中脂质氧化特性及其指标间的相关性分析[J].食品科学,2015, 36(16):197-202
HUANG Jin-zhi, YANG Rong-ling, TANG Dao-bang, et al. Correlation analysis of physicochemical indexes with lipid oxidation characteristics during the manufacturing process of fermented cantonese sausages [J]. Food Science, 2015, 36(16): 197-202
- [10] 李望.广式腊肠酸价影响因素的研究[D].广州:暨南大学, 2006
LI Wang. Study on the impacting factors of cantonese sausage on acid value [D]. Guangzhou: Jinan University, 2006

- [11] 白福玉,郭善广,蒋爱民,等.广式腊肠干燥及贮藏过程中主要理化特性的变化[J].农业工程学报,2009,25(S1):73-77
BAI Fu-yu, GUO Shan-guang, JIANG Ai-min, et al. Physicochemical properties changes of Chinese guangdong sausage during drying process and storage [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(S1): 73-77
- [12] 张富新,李佳.传统中式香肠自然晾挂成熟过程中生理生化特性及微生物的变化[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(10):159-163
ZHANG Fu-xin, LI Jia. Physicochemical, biochemical and microbiological changes of Chinese-style sausage during natural air drying [J]. Journal of Northwest A & F University, 2006, 34(10): 159-163
- [13] 赵谋明,孙为正,吴燕涛,等.广式腊肠脂质降解与氧化的控制研究[J].食品与发酵工业,2007,33(8):10-13
ZHAO Mou-ming, SUN Wei-zheng, WU Yan-tao, et al. Study on the control of lipolysis and oxidation in Chinese cantonese sausage [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(8): 10-13
- [14] 孙为正,崔春,赵谋明,等.广式腊肠贮存过程中酸价影响因素研究[J].食品科技,2007,51(12):198-201
SUN Wei-zheng, CUI Chun, ZHAO Mou-ming, et al. Study on the impacting factors of cantonese sausage on acid value during storage [J]. Food Science and Technology, 2007, 51(12): 198-201
- [15] 孙为正.广式腊肠加工过程中脂质水解、蛋白质降解及风味成分变化研究[D].广州:华南理工大学,2011
SUN Wei-zheng. Studies on lipolysis, proteolysis and flavor compounds during processing of cantonese sausage [D]. South China University of Technology, 2011
- [16] 唐玲.广式腊肠储藏期间脂质水解氧化与风味成分相关性研究[D].广州:暨南大学,2011
TANG Ling. Correlation of flavors of cantonese style sausage and its hydrolysis and oxidation of lipids during storage [D]. Guangzhou: Jinan University, 2011
- [17] 徐为民,匡一峰,徐幸莲,等.风鹅加工过程中蛋白质分解及其对产品风味的影响[J].扬州大学学报,2005,26(2):41-43
XU Wei-min, KUANG Yi-feng, XU Xing-lian, et al. Study on the proteolysis of dry cured goose and its influence on flavour in processing period [J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2005, 26(2): 41-43
- [18] 蒋爱民,郭善广,白福玉,等.广式腊肠加工及贮藏过程中蛋
白质降解动态研究[J].肉类研究,2008,11:19-26
JIANG Ai-min, GUO Shan-guang, BAI Fu-yu, et al. Dynamic proteolysis in cantonese sausage during the processing and storage [J]. Meat Research, 2008, 11: 19-26
- [19] Dominguez R, Munekata P E, Agregan R, et al. Effect of commercial starter cultures on free amino acid, biogenic amine and free fatty acid contents in dry-cured foal sausage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 71: 47-53
- [20] 章建浩,周光宏,朱健辉,等.金华火腿传统加工过程中游离氨基酸和风味物质的变化及其相关性[J].南京农业大学学报,2004,27(4):96-100
ZHANG Jian-hao, ZHOU Guang-hong, ZHU Jian-hui, et al. Changes of free-amino acid and volatile flavor compounds and its correlations in traditional processing of jinhua ham [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2004, 27(4): 96-100
- [21] 孙宝国.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2010
SUN Bao-guo. The edible flavouring technique [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010
- [22] 龙卓珊,徐玉娟,杨万根,等.烘烤中广式腊肠挥发性风味成分及脂质的变化[J].食品科学,2010,31(16):208-212
LONG Zhuo-shan, XU Yu-juan, YANG Wan-gen, et al. Changes of volatile flavor compounds and lipids of cantonese sausage during baking [J]. Food Science, 2010, 31(16): 208-212
- [23] Sidira M, Kandylis P, Kanellaki M, et al. Effect of curing salts and probiotic cultures on the evolution of flavor compounds in dry fermented sausages during ripening [J]. Food Chemistry, 2016, 201(15): 334-338
- [24] 张岩,徐玉娟,杨万根.广式腊肠的风味及对货架期的改善[J].农产品加工(学刊),2009,6:54-55
ZHANG Yan, XU Yu-juan, YANG Wan-gen. Flavor and aroma of sausage and effective shelf-life extenders in Chinese cantonese sausage [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009, 6: 54-55
- [25] 赵冰,李素,成晓瑜,等.广式腊肉挥发性风味物质分析[J].肉类研究,2013,27(10):12-16
ZHAO Bing, LI Su, CHENG Xiao-yu, et al. Analysis of volatile flavor compounds of cantonese-style bacon. [J]. Meat Research, 2013, 27(10): 12-16
- [26] Lorenzo J M, Montes R, Purrinos L, et al. Effect of pork fat addition on the volatile compounds of foal dry-cured sausage [J]. Meat Science, 2012, 91(4): 506-512