

张佳敏, 王卫, 吉莉莉, 等. 浅发酵香肠仿天然风干工艺研究 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 160–167. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080166

ZHANG Jiamin, WANG Wei, JI Lili, et al. Research on the Imitative Natural Air-dried Processing of Shallow Fermented Sausage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 160–167. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080166

· 工艺技术 ·

浅发酵香肠仿天然风干工艺研究

张佳敏, 王卫*, 吉莉莉, 白婷, 赵志平, 陈林
(肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106)

摘要: 针对浅发酵香肠仿天然风干工艺, 研究了风干温度、气流速度及湿度对香肠风干时间、均匀度以及感官品质的影响。在单因素实验基础上, 采用 Box-Behnken 响应面优化设计优化恒温风干法工艺, 并进一步对比研究了梯度风干法下, 不同温度梯度对香肠的风干特性和产品品质的影响。结果表明, 恒温风干法的工艺条件为: 温度 9.0 ℃、气流速度 1.0 m/s、湿度 64%。适宜的温度梯度有利于提高风干效率和提升产品品质。梯度风干法的最佳工艺条件为: 温度梯度 7~13 ℃ (每 12 h 交替一次), 气流速度 1.0 m/s、湿度 64%。此条件下, 将浅发酵香肠风干至理想水分含量时的时间为 66 h, 产品各项品质指标分别为: 均匀度为 0.987、水分含量 37.693%、 a_w 为 0.875、pH 为 5.54、TBA 为 0.735 mg/kg。此梯度风干工艺能够在兼顾风干效率的同时, 获得理想的产品品质。

关键词: 浅发酵香肠, 仿天然风干, 恒温风干法, 梯度风干法

中图分类号: TS251.5

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2021)12-0160-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080166

Research on the Imitative Natural Air-dried Processing of Shallow Fermented Sausage

ZHANG Jiamin, WANG Wei*, JI Lili, BAI Ting, ZHAO Zhiping, CHEN Lin

(Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610106, China)

Abstract: In this paper, the effects of air-drying temperature, air velocity, and humidity on the drying time, uniformity, and sensory quality of shallow fermented sausage were studied. On the basis of single factor experiment, response surface methodology employing Box-Behnken design was applied to get the optimal air-drying process conditions. Furthermore, the effects of different temperature gradients on the air-drying characteristics and product quality of sausage were investigated. The results showed that, the optimum conditions of constant temperature air-drying were as follows: Temperature 9.0 ℃, the air velocity 1.0 m/s, and the humidity 64%. A suitable temperature gradient could improve the drying efficiency and product quality. The optimal process conditions of the gradient air-drying method were temperature gradient 7~13 ℃ (alternating every 12 hours), air velocity 1.0 m/s, and humidity 64%. Under these conditions, the time to air-dry the shallow fermented sausage to the ideal moisture content was 66 h. The product quality indexes were as follows: Uniformity 0.987, moisture content 37.693%, a_w 0.875, pH5.54, and TBA 0.735 mg/kg. The ideal product quality could be obtained at the same time of considering air drying efficiency under this gradient air-drying condition.

Key words: shallow fermented sausage; imitative natural air-drying; constant temperature air-drying; gradient air-drying

腊肠是中国传统肉制品的典型代表之一, 其传统制作工艺与西式发酵香肠类似, 是将肥瘦肉绞制后

添加调味料和香料, 灌入肠衣, 经风干而成。不同之处在于, 西式发酵香肠往往需要更长时间的微生物发

收稿日期: 2020-08-18

基金项目: 川猪产业链提质增效关键技术与集成示范 (20ZDYF0003); 国家现代农业产业技术体系四川生猪创新团队 (scxctd-2020-08); 肉类加工四川省重点实验室开放基金项目 (20-R-8)。

作者简介: 张佳敏 (1982-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程, E-mail: cdusp@qq.com。

* 通信作者: 王卫 (1958-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: wangwei8619@163.com。

酵,现代加工大多还通过添加微生物发酵剂以强化和优化微生物的发酵功能^[1-2],微生物对其特性和风味的形成起主导作用^[3];而中式腊肠加工无需微生物发酵,尤其是现代工业化烘烤干燥的中式腊肠,基本没有微生物参与发酵进程^[4-5],其风味主要取决于肉料含有的内源酶的作用^[6]。

近期研究发现,四川部分地区的酱香型腊肠由于辅料添加了豆瓣、醪糟、豆腐乳等酿造型调味品^[7],产品也具有一定的微生物发酵作用,处于“浅发酵”阶段^[8]。有学者对调料特性进行分析证实,此类酱香型腊肠的辅料中含有丰富的乳酸菌、葡萄球菌、微球菌、酵母和霉菌等有益微生物^[9-10],以此为基础研发出一种在产品特性上既区别于传统中式腊肠,又不同于西式发酵香肠的产品^[11],称之为“浅发酵香肠”^[12]。同时,四川温暖湿润的自然环境为微生物的生长和腊肠特有风味的形成提供了得天独厚的条件^[13]。对“浅发酵香肠”加工气候条件的调研显示,自然风干的适宜气候条件为:气温 5~15 ℃,湿度 65%~80%,气流速度 0.3~3.3 m/s^[5]。香肠在此条件下缓慢的风干及后期的贮藏过程中,微生物发酵与内源酶的共同作用,赋予了产品独特的品质特性^[14]。

然而,传统的自然风干方式难以实现工业化、标准化加工^[15],本文针对浅发酵香肠的仿天然风干工艺进行研究,采用智能调控发酵风干设备模拟“浅发酵香肠”加工的温度、湿度和风速条件,并对技术参数进行优化和筛选,为实现浅发酵香肠工业化加工和品质提升提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜猪 2#肉、猪背膘 四川高金实业集团股份有限公司;浅发酵香肠专用辅料 肉类加工四川省重点实验室研发;猪肠衣 四川新康绿食品有限公司;“浅发酵香肠”辅料-2#(含豆瓣酱、豆豉、醪糟等发酵调味品) 肉类加工四川省重点实验室研发;MRS 乳酸菌琼脂培养基、PCA 平板计数琼脂培养基、虎红培养基、PDA 马铃薯葡萄糖琼脂培养基、Chapman 琼脂培养基 杭州百思生物技术有限公司。

定制型智能调控风干发酵装置(加工能力约 300~500 kg/批) 杭州艾博机械工程有限公司;SCIENTZ-09 拍打式无菌均质器 宁波新芝生物科技股份有限公司;LRH-250F 生化培养箱 上海一恒科学仪器有限公司;ZHJH-C1209B 超净工作台 上海智城分析仪器制造有限公司;LDZX-75KBS 立式压力蒸汽灭菌锅 上海申安医疗器械厂;HD-3A 水分活度仪 上海精密科学仪器有限公司;PHS-3C-01 pH 计 上海三信仪表厂;HC-2518 台式冷冻高速离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;KH5200DE 数控超声波清洗器 昆山禾创超声仪器有限公司;

HH-6 数显恒温水浴锅 常州奥华仪器有限公司;CR-400 色差计 日本柯尼卡美能达公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程及操作要点

1.2.1.1 工艺流程 原料肉→切割→拌料→腌制→灌肠→结扎→挂晾风干→真空包装

1.2.1.2 操作要点 参照康峻等^[16]的方法,猪 2#肉与猪背膘按 7:3 搭配,瘦肉切成 4 mm 肉丝,肥肉切 4 mm 丁;按照原料肉总质量 9% 的比例加入浅发酵香肠专用辅料^[8],拌匀后于 4 ℃ 下腌制 24 h;灌入直径 30 mm 的猪小肠肠衣,以 15 cm 为一段结扎;整形后挂晾于风干发酵装置内,调节温度、湿度、风速参数,风干至理想水分含量 38%;真空包装后于 4 ℃ 冷藏。

1.2.2 恒温风干工艺的研究

1.2.2.1 单因素实验 据前期调研,浅发酵香肠风干的适宜条件范围为:气温 5~15 ℃,湿度 65%~80%,气流速度 0.3~3.3 m/s^[5],在此范围内,分别以温度 10 ℃、气流速度 1.0 m/s 和湿度 70% 作为固定因素条件,研究不同温度(6、8、10、12、14 ℃)、不同气流速度(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 m/s)和不同湿度(55%、65%、70%、75%、80%)对腊肠风干时间、均匀度及感官评分的影响,每个水平做 3 次平行实验取平均值作为试验结果。

1.2.2.2 响应面试验 采用 Box-Behnken 响应面法^[17-18]对浅发酵香肠风干条件进行优化试验,试验设计见表 1。

表 1 响应面分析试验设计因素及水平
Table 1 Factors and levels used for response surface analysis

因素	编码水平		
	-1	0	1
温度(℃)	8	9	10
气流速度(m/s)	0.5	1.0	1.5
湿度(%)	60	65	70

1.2.3 梯度风干工艺的研究 温度梯度对香肠风干特性的影响实验:依据实际自然风干发酵过程中昼夜温差变化较大,日平均温度范围在 7.25~13.05 ℃ 之间,最大温差为 11.50 ℃,最小温差为 2.5 ℃,平均昼夜温差为 5.8 ℃。在优化实验确定的气流速度 1.0 m/s 和湿度 64% 条件下,比较恒温风干和梯度风干对香肠的均匀度、水分、 a_w 、pH 和 TBA 值的影响,温度梯度实验方案见表 2。

1.3 测定方法

1.3.1 风干时间的判定 以浅发酵香肠的理想水分含量 38% 作为风干终点,风干时间即为干燥至水分含量 38% 时所用的时间,反映工艺的风干效率。

1.3.2 均匀度的测定 在一节香肠的中部截取 2 cm

表2 温度梯度实验方案

Table 2 Experimental scheme of temperature gradient

组号	温度梯度ΔT(℃)	温度条件
A1	0	9.0±0.5℃
A2	4	8~12℃, 每12h交替
A3	6	7~13℃, 每12h交替
A4	8	6~14℃, 每12h交替
A5	10	5~15℃, 每12h交替

长的一段,用圆形打孔器以断面中心点为圆心,钻取直径为Φ1 cm的内部肉样,取样后剩余的外部肉样去除肠衣,内、外肉样分别捣碎后测定水分含量,产品均匀度为外部水分含量与内部水分含量的比值,比值越接近于1表明产品内外风干程度越均匀。

1.3.3 感官评分 参照文献 [19-20] 的感官评定方法并加以改动,采用双盲法进行检验,对样品进行编号,由10名食品专业人员组成的评定小组对产品的外观、触感、气味、组织结构、滋味五方面进行评分,单项0~20分制,总分100分,取平均值为最终的感官评定结果。感官评分标准见表3。

表3 浅发酵香肠感官评分表

Table 3 Sensory rating scale of shallow fermented sausage

项目	评分标准	分值(分)
外观(20分)	形态饱满,肉色呈自然的酱红色	14~20
	形态较饱满,肉色呈酱红色	7~13
	形态干瘪,肉色暗沉	0~6
触感(20分)	触摸有弹性,表面光洁、干爽不粘手	14~20
	触摸较有弹性,表面较粗糙或较粘	7~13
	触摸按压没有弹性,干硬或表面粘腻	0~6
气味(20分)	具有浓郁的酱香味和风干后固有的腊香味,无异味	14~20
	有酱香味和风干后的腊香味,略带酸味,无异味	7~13
	酱香味和风干后的腊香味较淡,有较明显的酸味或有腥味	0~6
组织结构(20分)	紧密度适中,无孔洞,肥瘦肉分明而无间隙	14~20
	紧密度较好,孔洞较少,肥瘦分明但个别部位有间隙	7~13
	内部组织松散,切面孔洞较多,肥瘦肉易分离	0~6
滋味(20分)	酱香味浓郁,咀嚼时肉质松软适口,不干柴,无异味	14~20
	酱香味较浓,咀嚼时稍干,有一定酸味	7~13
	有酱香味,但肉质干柴,酸味较重	0~6

1.3.4 综合评分的评定 将风干时间(Y₁)、均匀度(Y₂)及感官评分(Y₃)的检测数据经标准化后得到各指标的标准得分Z₁、Z₂、Z₃,采用权重法计算综合评分Z,各项指标的权重分别为风干时间0.2、均匀度0.3、感官评分0.5,以综合评分Z作为响应值。按照魏效玲^[21]的方法统一指标的数量级并消除量纲,各指标的标准化得分计算公式为:

$$Z_i = 100 \times (Y_i - Y_{i\min}) / (Y_{i\max} - Y_{i\min}) \quad \text{式(1)}$$

式中:Z_i—各指标的标准化得分;i—1,2,3;Y_{i\min}=

$$\min\{Y_i | i=1,2,3\}; Y_{i\max} = \max\{Y_i | i=1,2,3\}。$$

综合评分的计算公式为:

$$Z = -0.2Z_1 + 0.3Z_2 + 0.5Z_3 \quad \text{式(2)}$$

1.3.5 水分含量的测定 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法测定,通过干燥前后的称量数值计算出水分的含量。

1.3.6 pH的测定 按照 GB 5009.237-2016 规定的方法对样品 pH 进行检测。在香肠试样中分别在不同部位随机选取测试点,每个样品平行测定3次,取其平均值。

1.3.7 水分活度(a_w)的测定 按照 GB 5009.238-2016 规定的方法对样品进行测定。

1.3.8 硫代巴比妥酸含量(TBA)的测定 按照 GB 5009.181-2016 食品中丙二醛的测定。

1.4 数据处理

每组样品重复试验3次,试验数据采用 Office Excel 2016 和 SPSS Statistics 19.0 进行处理。优化实验采用 Design Expert 8.0.6 进行 Box-Behnken 响应面优化试验设计。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 风干温度对浅发酵香肠风干品质的影响 风干温度对浅发酵香肠风干发酵品质的影响如图1所示,由图1A和图1B可见,随着温度的升高,风干时间缩短,香肠内外水分含量均匀度降低。这是由于随着温度升高,水分蒸发速度加快,当温度<8℃时,风干耗时需100h左右,当温度>10℃时,风干时间不到60h。温度较高时香肠表层水分蒸发快,内层水分梯度大,有利于提高干燥速率,但导致成品内外水分差异较大,均匀度降低。感官评价结果如图1C所示,温度在8~10℃时的评分较高,温度过低时干燥缓慢,产品表面有水分凝结,而温度高于12℃时产品略有发酸现象^[22]。尽管提高温度可以缩短风干时间,但温度过高或过低均对产品品质不利。结合3项指标综合分析,适宜的风干温度为10℃。

2.1.2 气流速度对浅发酵香肠风干品质的影响 气流速度对浅发酵香肠风干发酵品质的影响如图2所示,由图2A和图2B可见,随着气流速度的升高,风干时间由80h缩短至约50h,腊肠内外水分含量均匀度降低。气流速度为0.5m/s时,风干时间为79h,当气流速度升至2.5m/s时,风干时间为50.3h,随气流速度的升高,风干时间显著缩短。这是由于提高气流速度使香肠表面的湿空气被迅速带走,提高了环境空气与香肠表面空气的湿度差,加快了香肠水分蒸发^[23]。但与温度的影响类似,提升气流速度虽可缩短风干时间,但过高的气流速度使产品表面水分蒸发过快,表层肉料结成干硬的外壳,阻碍了内部水分向外

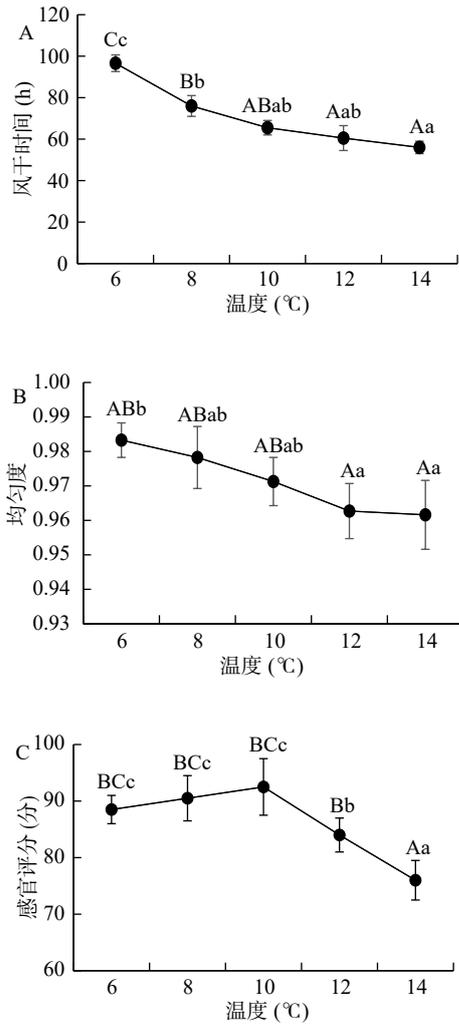


图 1 温度对腊肠风干品质的影响

Fig.1 Effect of temperature on the air-drying qualities of sausage

注: 大写字母表示 $\alpha=0.01$ 极显著水平; 小写字母表示 $\alpha=0.05$ 显著水平; 图 2~图 3、表 6 同。

散发, 造成产品内外均匀度显著降低 ($P<0.05$)。感官评价 (图 2C) 也表明, 低气流速度条件下加工的香肠质地均匀, 表面按压有弹性, 而高气流速度下的产品表层干硬, 内部潮湿。内外性质不均不仅对产品感官品质不利, 内部过高的水分也不利于后期储藏, 易造成产品发酸及腐败^[24]。结合 3 项指标综合分析, 适宜的气流速度为 1.0 m/s。

2.1.3 湿度对浅发酵香肠风干品质的影响 湿度对浅发酵香肠风干发酵品质的影响如图 3 所示。由图 3A 和图 3B 可见, 随着湿度的增大, 风干时间由 (54±5.2)h 增加到 (106±4.8)h, 均匀度由 0.903 升高到 0.982, 结果表明, 湿度较低时, 肠体表层水分蒸发速度快, 产品均匀度较低; 提升湿度对提高产品内外水分均匀度有利, 但湿度过高则会极显著增加风干的耗时 ($P<0.01$)。通过感官评价 (图 3C) 还表明, 高湿环境下加工的香肠质地柔软有弹性, 但肠体表面湿润粘手, 产品易发酸。结合 3 项指标综合分析, 适宜的湿度为 65%。

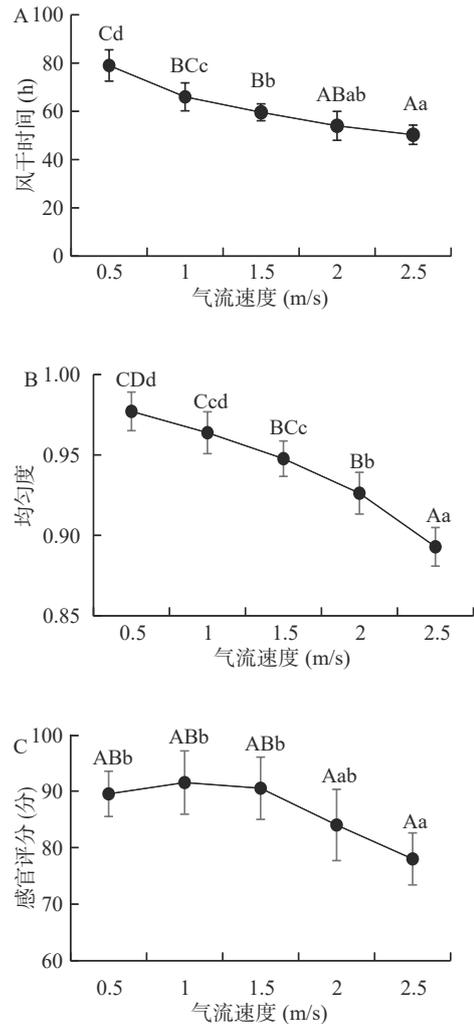


图 2 气流速度对腊肠风干品质的影响

Fig.2 Effect of airflow velocity on the air-drying qualities of sausage

2.2 优化实验结果

优化实验结果及分析如表 4 和表 5 所示, 分析可知, 模型 P 值=0.0007, 小于 0.01, 说明该模型的显著性极高, 具有统计学意义。该模型中, 一次项 A、C, 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 的 P 值均小于 0.01, 为极显著项, 交互项 BC ($P=0.0106<0.05$) 为显著项, 说明气流速度和空气湿度两因素之间有显著的交互效应, 且响应面图形呈二次抛物面形式^{[25]-[26]}, 如图 4 所示; AB 和 AC 项不显著 ($P>0.05$), 表明 A、B 因素及 A、C 因素间交互效应不显著。

通过拟合得到综合评分回归方程为:

$$Z=54.41-10.67A+2.48B-12.75C-4.31AB-4.36AC+12.55BC-17.01A^2-18.34B^2-19.28C^2$$

拟合度 $R^2=0.9545>0.9$, 说明预测值与实验值具有很高的相关度, 校正拟合度 $Adj R^2=0.896>0.8$, 失拟项 $P=0.2084>0.05$, $F=2.4$, 表明失拟项不显著, 模型拟合度高, 可用于预测实验结果。

以综合评分取最大值为优化目标, 得到浅发酵香肠最佳风干工艺条件为: 温度 8.72 °C、气流速度

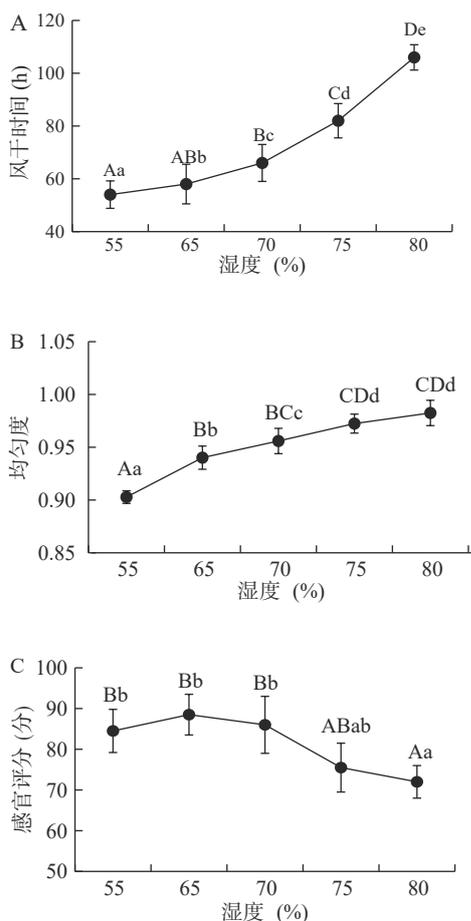


图3 湿度对腊肠风干品质的影响

Fig.3 Effect of humidity on the air-drying qualities of sausage

1.00 m/s、湿度 63.5%，此时综合评分预测值 Z 为 57.7908。在优化确定的最佳风干发酵条件下进行验证试验，受实际加工设备的精确性限制，实际条件参数设为：温度 9.0 ℃、气流速度 1.0 m/s、空气湿度 64% 的条件下进行，实际测得风干时间 72.47 h、均

匀度 0.978、感官评分 93.667，计算得到综合评分 Z 为 55.572，与预测值 (Z=57.7908) 的相对误差 0.038%，差异不显著，说明回归方程能够较好地反映因素对各指标的影响。

2.3 温度梯度对浅发酵香肠品质的影响

因自然条件还存在昼夜温差，为更好地模拟自然条件，试验研究了不同温度梯度下浅发酵香肠的风干特性，风干过程中的水分变化如图 5 所示，产品特性测定结果见表 6。由图 5 可见，随着温度梯度的加大，水分曲线呈现较大的变化，在高温工段曲线斜率较大，即高温工段香肠水分散失快，低温段水分散失缓慢。0~12 h 的初始阶段水分降低速度较快，且温度越高水分降低越快，说明温度越高越有利于水分散失，物料内部水分不断向外表面积移，干燥速率增大^[27]。当风干至水分含量 38% 时，水分梯度越大，耗时越短。A1、A2 组耗时约 72 h，而采用 5~15 ℃ 交替风干的 A5 组耗时仅 60 h。

由表 6 可见，温度梯度对香肠的 pH、均匀度和 TBA 值均有显著的影响 ($P < 0.05$)，而对香肠的水分含量和水分活度 a_w 影响不显著 ($P > 0.05$)。随着温差的增大，腊肠的 pH 和 TBA 值降低，当 ΔT 增加至 8 ℃ 时，pH 值降低至 5.5 以下，这是由于随着温度梯度的增大，高温工段的温度由 9.0 ℃ 升高至 15.0 ℃，促进了香肠中微生物繁殖产酸^[28]；此外，TBA 值的降低可能是由于温度升高缩短了风干时间 (如图 5 所示)，从而降低了脂肪氧化的程度。产品的均匀度随着温度梯度的增大呈先升高后降低的趋势，当 $\Delta T = 6$ ℃，即温度范围为 7~13 ℃ 时，均匀度最佳。这是由于在高温工段，主要是表层水分的快速蒸发以及内部水分向外层的快速迁移^[29]；当风干进程进入低温工段时，蒸发作用减缓，空气中的水蒸气凝结成冷

表 4 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 4 Box-Behnken design with experimental results

序号	因素			结果			标准化结果			综合评分 (Z, 分)
	A温度 (℃)	B气流速度 (m/s)	C湿度 (%)	风干时间 (Y ₁ , h)	均匀度 Y ₂	感官评分 (Y ₃ , 分)	风干时间 (Z ₁ , h)	均匀度 Z ₂	感官评分 (Z ₃ , 分)	
1	10	1.5	65	50.3	0.942	88.3	0.000	0.000	0.000	0.000
2	9	1.5	60	63.6	0.958	90.5	65.517	41.026	40.741	19.575
3	10	1.0	70	62.6	0.944	88.5	60.591	5.128	3.704	-8.728
4	9	1.0	65	68	0.976	92.7	87.192	87.179	81.481	49.456
5	9	1.0	65	69.6	0.98	93.5	95.074	97.436	96.296	58.364
6	8	0.5	65	65.4	0.966	91.1	74.384	61.538	51.852	29.511
7	10	0.5	65	62.5	0.953	89.7	60.099	28.205	25.926	9.405
8	9	1.5	70	64	0.964	90.6	67.488	56.410	42.593	24.722
9	8	1.0	70	67.6	0.957	90.4	85.222	38.462	38.889	13.939
10	9	0.5	70	70.6	0.95	88.6	100.000	20.513	5.556	-11.068
11	10	1.0	60	54.3	0.961	90.5	19.704	48.718	40.741	31.045
12	8	1.0	60	67	0.972	91.5	82.266	76.923	59.259	36.253
13	9	1.0	65	67.5	0.976	92.4	84.729	87.179	75.926	47.171
14	9	1.0	65	70.5	0.981	93.7	99.507	100.000	100.000	60.099
15	9	0.5	60	66.5	0.972	91.2	79.803	76.923	53.704	33.968
16	9	1.0	65	68.5	0.978	93.4	89.655	92.308	94.444	56.983
17	8	1.5	65	61.5	0.97	91.2	55.172	71.795	53.704	37.356

表 5 回归模型方差分析

Table 5 Analysis of variance for regression model

项目	平方和	均方和	F值	P值	显著性
模型	7730.5	858.94	16.32	0.0007	**
A-温度	910.3	910.3	17.29	0.0042	**
B-气流速度	49.19	49.19	0.93	0.3659	
C-湿度	1299.89	1299.89	24.7	0.0016	**
AB	74.39	74.39	1.41	0.2733	
AC	76.2	76.2	1.45	0.268	
BC	629.58	629.58	11.96	0.0106	*
A ²	1218.17	1218.17	23.14	0.0019	**
B ²	1415.82	1415.82	26.9	0.0013	**
C ²	1564.81	1564.81	29.73	0.001	**
残差	368.46	5.264			
失拟项	236.9	78.97	2.4	0.2084	不显著
纯误差	131.56	32.89			
总误差	8098.96				
拟合度R ²	0.9545				
校正拟合度Adj R ²	0.896				
信噪比Adeq Precision	11.751				

注: *表示差异显著(P<0.05), **表示差异极显著(P<0.01)。

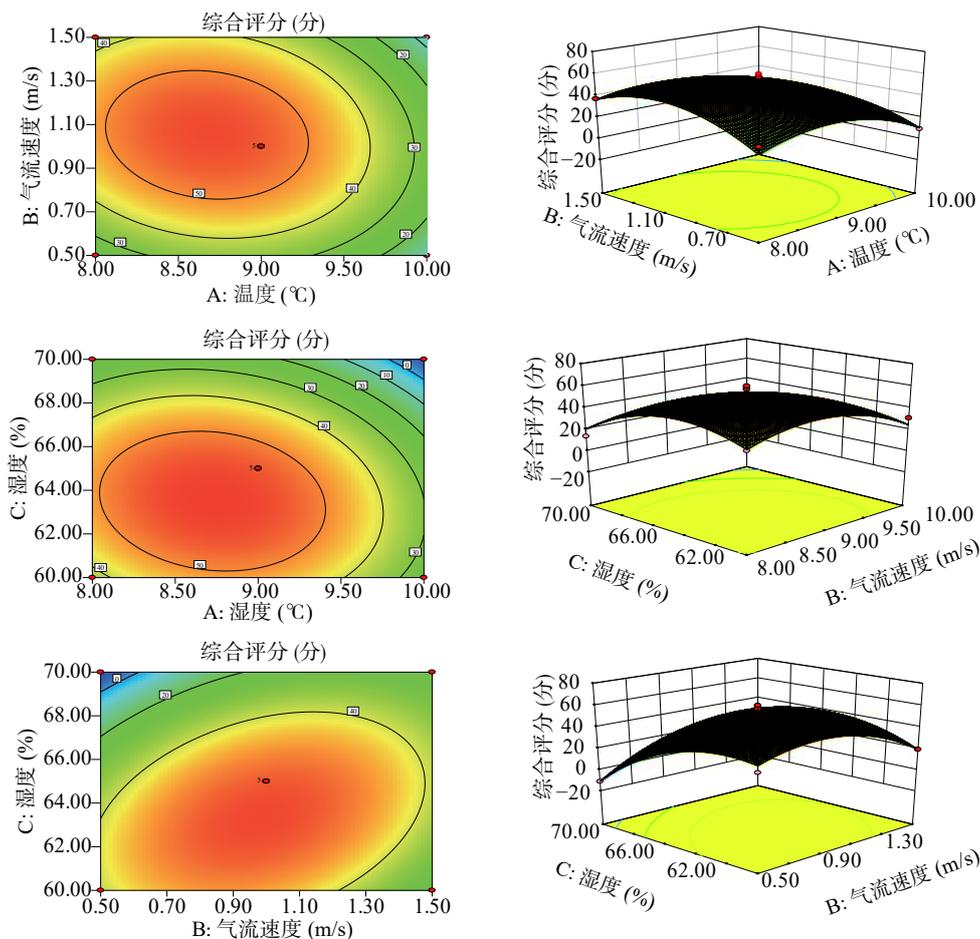


图 4 各因素的交互作用对综合评价的影响

Fig.4 Interactions of factors on comprehensive assessment

凝水被除湿装置排出风干室外,同时香肠内部的水分迁移速度降低,表层和内部的水分含量逐渐趋于平衡,有利于提高产品的均匀度。但当温度差过大时,在高温工段形成的内外水分差大,且因风干时间缩

短,所以低温工段不足以平衡内外水分差,产品均匀度降低。结果表明,采用 7~13℃,每 12 h 交替一次的梯度风干法,能够在提高风干效率的同时,获得理想的产品品质。

表6 不同温度梯度产品特性
Table 6 Product characteristics with different temperature gradients

组号指标	组号指标					显著性P
	A1 ($\Delta T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	A2 ($\Delta T=4\text{ }^{\circ}\text{C}$)	A3 ($\Delta T=6\text{ }^{\circ}\text{C}$)	A4 ($\Delta T=8\text{ }^{\circ}\text{C}$)	A5 ($\Delta T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
均匀度	0.976±0.002 ^{Aab}	0.985±0.004 ^{Abc}	0.987±0.003 ^{Ac}	0.979±0.005 ^{Aabc}	0.973±0.01 ^{Aa}	0.033
水分(%)	37.867±0.252 ^{Aa}	37.806±0.133 ^{Aa}	37.693±0.356 ^{Aa}	37.48±0.308 ^{Aa}	37.884±0.341 ^{Aa}	0.456
a_w	0.878±0.002 ^{Aa}	0.877±0.007 ^{Aa}	0.875±0.002 ^{Aa}	0.873±0.004 ^{Aa}	0.878±0.003 ^{Aa}	0.590
pH	5.597±0.021 ^{Cd}	5.57±0.035 ^{Ccd}	5.54±0.02 ^{BCc}	5.48±0.026 ^{Bb}	5.41±0.001 ^{Aa}	0.000
TBA(mg/kg)	0.756±0.004 ^{Bc}	0.743±0.011 ^{ABbc}	0.735±0.007 ^{ABab}	0.736±0.009 ^{ABab}	0.724±0.009 ^{Aa}	0.012

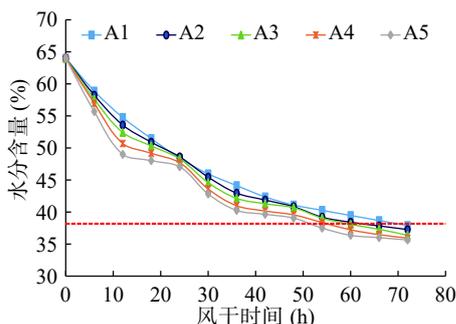


图5 不同温度梯度下的水分曲线

Fig.5 Moisture curves under different temperature gradients

3 结论

仿天然风干工艺中的温度、气流速度以及湿度均对浅发酵香肠的风干时间、产品均匀度以及感官品质有显著影响。采用 Box-Behnken 响应面法对工艺条件进行优化,通过模型拟合并考虑实际加工中设备的精确性,确定恒温风干法的工艺条件参数为:温度 9.0 °C、气流速度 1.0 m/s、湿度 64.0%。在此条件下香肠风干时间为(72±0.5) h、均匀度 0.978±0.021、感官评分(93.67±0.33)分,综合评分 55.572 分。对梯度风干法下浅发酵香肠的风干特性和产品理化性质研究表明,温度梯度 ΔT 对香肠的均匀度、pH 及 TBA 值具有显著的影响。随着温度梯度的增大,产品 pH、TBA 值均降低,当温度梯度为 6 °C 时,即温度梯度范围在 7~13 °C 之间时产品的均匀度最佳。最终确定浅发酵香肠采用梯度风干法的工艺条件为:温度梯度 7~13 °C(每 12 h 交替一次),气流速度 1.0 m/s、湿度 63%~64%。研究表明,通过对关键工艺条件的调控,能较好地模拟自然气候条件,提升产品品质,实现产品的标准化加工。

参考文献

[1] Leistner L. Shelf-stable products and intermediate moisture foods based on meat. Water activity: Theory and applications to food[M]. New York: Marcel Dekker, 1987: 295-327.
 [2] Hu Y Y, Zhang L, Zhang H, et al. Physicochemical properties and flavor profile of fermented dry sausages with a reduction of sodium chloride[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 124: 109061.

[3] Chen Q, Kong B H, Han Q, et al. The role of bacterial fermentation in lipolysis and lipid oxidation in Harbin dry sausages and its flavor development[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 77: 389-396.
 [4] 王卫. 栅栏技术及其在食品加工与质量安全控制中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 45-70.
 [5] 李燕利. 腊肉和香肠贮藏期间品质变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
 [6] 章建浩, 周光宏. 干腌火腿的风味研究[J]. 食品科学, 2003, 24(3): 158-161.
 [7] Moy Y S, Lu T J, Chou C C. Volatile components of the enzyme-ripened sufu, a Chinese traditional fermented product of soy bean[J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2012, 113(2): 196-201.
 [8] 张佳敏, 王卫, 白婷, 等. 四川传统腊肠区域特性比较及其“浅发酵”特征分析[J/OL]. 食品工业科技: 1-14[2020-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200716.0917.004.html>.
 [9] 吉莉莉, 王卫, 赵志平, 等. 传统四川腊肠及浅发酵香肠调料特性研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 33-38.
 [10] 李杉杉, 肖龙泉, 刘海强, 等. 红曲红色素替代亚硝酸盐在川式香肠中的应用研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2015, 34(2): 121-125.
 [11] Foteini G Pavli, Anthoula A Argyri, Nikos G C Choriano-poulos, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* L125 strain with probiotic potential on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of dry-fermented sausages[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2020, 118: 108810.
 [12] 吉莉莉, 王卫, 陈林, 等. 成都地区传统酱肉加工及其产品特性和浅发酵特征研究[J]. 食品科技, 2020, 45(5): 106-112.
 [13] Wang W, Jürgen S. Chinese and German sausages are similar[J]. Fleisch Wirtschaft International, 2015, 3: 30-35.
 [14] 王卫, 张旭, 张佳敏, 等. 四川酱香型风干腊肠加工贮藏特性及其“浅发酵”特征研究[J/OL]. 食品工业科技: 1-13[2020-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200624.1417.004.html>.
 [15] 王卫, 吉莉莉, 陈林, 等. 四川省肉类加工产业发展战略[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2014: 28-29.
 [16] 康峻, 王卫, 吉莉莉, 等. 浅发酵香肠加工进程理化、微生物及风味特性[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2020(3): 234-240.

- [17] 张佳敏,唐占敏,冉渺,等. 响应面优化重组牛排加工工艺[J]. 食品工业科技,2017,38(4):263-266.
- [18] 文冉,吕青涛,李娜,等. 基于综合加权评分 Box-Behnken 响应面法优化半枝莲的提取工艺 [J]. 中药材,2020(5): 1183-1187.
- [19] 罗欣,董庆利. 熏煮香肠质构的感官评定与机械测定之间的相关分析研究[J]. 食品科学,2004,25(9):49-55.
- [20] Gök Veli, Ersel O, Levent A. Effects of packaging method and storage time on the chemical, microbiological, and sensory properties of Turkish pastirma-A dry cured beef product[J]. *Meat Science*,2008,80(2):335-344.
- [21] 魏效玲. 多指标试验设计综合加权评分值的确定[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2003,20(4):68-72.
- [22] Komprda T, Smělá D, Pechová P, et al. Effect of starter culture, spice mix and storage time and temperature on biogenic amine content of dry fermented sausages[J]. *Meat Science*,2004,67(4):607-616.
- [23] 杨玲,陈建,杨屹立,等. 甘蓝型油菜籽热风干燥特性及其数学模型[J]. 现代食品科技,2014,30(10):30-35.
- [24] R Thomas, A S R Anjaneyulu, N Kondaiah. Development of shelf stable pork sausages using hurdle technology and their quality at ambient temperature ($37\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) storage[J]. *Meat Science*,2008,79(1):1-12.
- [25] 周悦,李雪峰,姜国川,等. 响应面分析法对重组牛肉脯色泽的改善[J]. 肉类工业,2013(7):28-30.
- [26] 徐显睿,李翠凤,隋勇军,等. 响应面法优化乳双歧杆菌 Z-1 冷冻干燥保护剂配方[J]. 乳业科学与技术,2020(3):6-11.
- [27] 张乐,李鹏,王赵改,等. 板栗片微波真空干燥动力学模型及品质分析[J]. 现代食品科技,2020,36(4):235-243.
- [28] 吉莉莉,魏艳,何丹,等. 发酵香肠中分离纯化的三株乳酸菌产酸特性研究[J]. 中国调味品,2020,45(2):36-39.
- [29] 刘斌雄,李长城,陈锦权,等. 牛肉过热蒸汽干燥特性及薄层干燥动力学研究[J]. 食品工业,2018,39(12):36-40.