

不同干燥方式对面片微观结构及品质的比较

黄婷婷, 冯欣, 冯作山, 白羽嘉, 付文欠

(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 本文研究了面片的热风干燥 (Hot air drying, HAD)、真空冷冻干燥 (freeze-drying, FD)、微波干燥 (microwave dry, MD)、微波真空干燥 (Microwave vacuum drying, MVD) 和热风-微波联合干燥 (hot air followed by microwave drying, HAD+MD) 五种不同干燥方法及其对面片物理特性和微观结构的影响。通过以上研究表明: 不同干燥速率为 $MVD > MD > HAD+MD > HAD > FD$; 面片复水率为 $FD > MVD > MD > HAD+MD > HAD$; 面片总色差值 FD 面片和 MVD 面片最低并无差异性显著 ($p > 0.05$), HAD 总色差值最高, 为 19.56, 面片色泽较差。HAD+MD 和 MD 面片总色差值无差异性显著 ($p > 0.05$)。面片复水 4 min 后质构测定发现 MD、MVD 组延展性最好, 分别为 81.58 g/sec、72.58 g/sec, FD 组剪切力各指标都表现较差, HAD 组硬度和咀嚼性较大, 分别为 1652.88 g、5294.77 g.sec。面片扫描电镜观察中, FD 面片和 MVD 面片均观察到均匀密集的孔隙结构, MD 面片和 HAD+MD 面片有明显不均匀孔隙结构, 而 HAD 面片几乎观察不到孔隙结构。各干燥方式对面片的感官评价中 FD 面片总体评价最佳, MVD、MD 面片其次, HAD+MD, HAD 面片感官评分最差。综合看来, MVD 干燥可以作为开发新疆汤饭产品中面片的适合脱水方式。

关键字: 面片; 干燥方法; 品质特征

文章编号: 1673-9078(2021)04-207-216

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0944

Comparison of Microstructure and Quality of Instant Noodle Prepared with Different Drying Methods

HUANG Ting-ting, FENG Xin, FENG Zuo-shan, BAI Yu-jia, FU Wen-qian

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The effects of five different drying methods [Hot air drying (HAD), freeze-drying (FD), microwave dry (MD), Microwave vacuum drying (MVD), hot air followed by microwave drying (HAD+MD)] on the physical properties and microstructure of instant noodle were investigated. The results showed that the order of different drying rates was as follow: $MVD > MD > HAD+MD > HAD > FD$. The order of rehydration rate was as follow: $FD > MVD > MD > HAD+MD > HAD$. There was no significant difference in total color difference between FD group and MVD group ($p > 0.05$). The total color difference of HAD was 19.56, and the color of the surface was poor. There was no significant difference in total color difference between HAD+MD group and MD group ($p > 0.05$). After rehydrated for 4 min, the texture analysis showed that the MD and MVD groups had the best ductility (81.58 g/sec and 72.58 g/sec, respectively), while the shear force of the FD group showed poor performance. The hardness and mastication of the HAD group were relatively large (1652.88 g and 5294.77 g, respectively). The results of scanning electron microscope showed that uniform and dense pore structure was observed in both FD group and MVD group. The non-uniform pore structure was observed in MD group and HAD+MD group, while the pore structure was hardly observed in HAD group. The results of sensory evaluation showed that FD group was the best, MVD and MD slice was the second, HAD+MD and HAD slice was the worst. In conclusion, MVD drying method could be used as a suitable dehydration method to develop the noodle in Xinjiang soup noodle products.

Key words: instant noodle; drying method; quality characteristics

引文格式:

黄婷婷,冯欣,冯作山,等.不同干燥方式对面片微观结构及品质的比较[J].现代食品科技,2021,37(4):207-216

HUANG Ting-ting, FENG Xin, FENG Zuo-shan, et al. Comparison of microstructure and quality of instant noodle prepared with different drying methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 207-216

收稿日期: 2020-10-14

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0400103-1)

作者简介: 黄婷婷 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及综合利用

通讯作者: 冯作山 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工及综合利用; 白羽嘉 (1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工及综合利用

汤饭是新疆的一种特色美食, 俗称“揪片子”^[1], 筋道的面片再配上羊肉, 西红柿和各种蔬菜, 味道鲜美、营养丰富, 深受男女老少的喜爱。面片的干燥是面片品质的重要环节也是决定汤饭品质的好坏。随着方便面工艺研究的逐渐成熟, 对果蔬方便面、杂粮方便面的研究也逐渐兴起, 但对面片的加工熟化产品较少, 汤饭作为新疆的特色食品, 研究其产品开发具有巨大的市场前景。

市面上的方便面干燥脱水主要以油炸为主, 随着人们对健康的重视, 开始出现了热风干燥面和真空冷冻干燥面。杨淑祯^[2]研究发现, 干燥温度 160 °C, 干燥时间 120 s, 干燥风速 21 m/s 的方便面表面光滑, 微观结构观察内部出现微孔结构, 复水时间低于 4 min, 由于不含外来脂肪, 方便面的品质健康都优于传统方便面。Pongpichaiudom^[3]对油炸、微波干燥、红外干燥和热风干燥的方便面品质和微观结构影响进行了研究, 微波干燥与传统的热风干燥和红外干燥相比, 具有较高的干燥速率。微波干燥的蒸煮损失最小, 拉伸力和距离最大, 具有良好的品质。此外, 它的脂肪含量比油炸的方便面减少了 80% 以上, 研究表明微波干燥的方便面可以以较低的成本代替传统的油炸工艺。为解决干燥方式对产品品质和成本的问题, 研究者对干燥方式进行联合。由于油炸方便面具有高油脂, 高热量, 营养破坏等不足, 热风干燥方便面又由于无法形成微小孔隙结构, 产品复水性较差, 胡舰^[4]通过热风-压差膨化干燥方便面工艺研究, 确定热风-压差膨化生产非油炸方便面的最佳工艺参数为: 热风预干燥温度 75 °C、热风时间 36 min、膨化温度 75 °C、膨化时间 87 min、排水时间 5 min。此条件下生产的非油炸方便面在复水性、感官评分和质构指标上显著优于同类产品。元伟华等人^[5]对多谷物非油炸方便面的微波-热风联合干燥工艺研究发现, 微波功率 900 W, 微波时间 50 s, 热风温度 85 °C, 在此条件下方便面糊化度为 94.5%, 复水时间为 6 min, 感官评价较好, 色泽均匀, 口感适中。

本文对热风干燥、微波干燥、真空冷冻干燥、微波真空干燥和热风-微波联合干燥方式的面片品质和微观结构进行研究, 通过扫描电镜对面片的表面图像和截面图像观察不同干燥方法对面片微观结构的影响, 再结合干燥速率、复水率及色泽、蒸煮特性、剪切力等质构特性指标, 对不同干燥方法对面片品质的影响做出评价。本文通过研究面片的干燥特性, 对汤饭产品工艺研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

市售小麦面粉(蛋白质11%), 新疆天山面粉(集团)有限公司产品; 改良剂, 包括三聚磷酸盐、黄原胶、马铃薯变性淀粉、谷朊粉, 盛达食品添加剂有限公司; 其它试剂均为分析纯及以上。

1.2 主要仪器设备

YP2002 型电子天平, 上海浦春计量仪器有限公司; TU-1810 分析天平, 北京普析通用仪器有限责任公司; PL203 紫外可见分光光度计, 梅特勒-托利多仪器有限公司; HR-6702AU 微波炉, 青岛海尔微波制品有限公司; PL-可调式封闭电炉, 北京市永光明医疗仪器有限公司; 真空冷冻干燥-1A-50 型真空冷冻干燥机, 北京博医康实验仪器有限公司; TGL-16gR 高速冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; 压面机, 宝优尼公司; 面片机, 华商厨房电器有限责任公司; 电热鼓风干燥箱, 101-E 北京市永光明医疗仪器厂; DP-9000 色差仪, Hunter Associated Laborstory Inc. Reston. Virginia. USA.

1.3 实验方法

1.3.1 面片的制作

将改良剂分别混入面粉中(三聚磷酸盐0.3%、黄原胶0.3%、马铃薯变性淀粉10 g/100 g、谷朊粉4%), 加水量为44 g/100 g(按面粉质量计算), 和面15 min, 面团常温下密封熟化30 min, 用压面机反复压延5次, 形成1 mm面带, 再把面带切成2 cm×2 cm的小方片, 沸水蒸煮10 min, 捞出过凉水10 s后干燥。

1.3.2 热风干燥工艺

热风干燥(Hot air drying, HAD): 设置干燥箱温度: 60 °C、70 °C、80 °C、90 °C、100 °C, 进行干燥, 研究不同温度下对面片的干燥速率及复水率的影响, 确定最佳干燥温度。

1.3.3 微波干燥工艺

微波干燥(microwavedry, MD): 设置微波功率密: 5 W/g、7 W/g、9 W/g、11 W/g、13 W/g、15 W/g, 研究不同微波功率密度下面片干燥过程及复水率的影响, 确定适合的微波干燥功率密度。

1.3.4 热风-微波干燥工艺

热风-微波联合干燥(hot air followed by microwave drying, HAD+MD): 干燥温度设置为80 °C, 面片分别干燥至转换含水率: 0.2 g/g、0.3 g/g、0.4 g/g、0.5 g/g、0.6 g/g, 再移入微波干燥箱中, 功率密度设置为9 W/g干燥至水分平衡, 研究不同转换含水率对面片干燥过

程及复水率的影响,确定适合热风-微波干燥工艺。

1.3.5 微波真空干燥工艺

微波真空干燥(Microwave vacuum drying, MVD): 设真空度为40 Pa,微波功率密度为7 W/g条件下进行微波干燥至水分平衡。

1.3.6 真空冷冻干燥工艺

真空冷冻干燥(freeze-drying, FD): 设温度-50℃,真空度40 Pa条件下进行真空冷冻干燥至面片水分平衡。

1.3.7 指标测定

1.3.7.1 含水率和干燥速率的测定

初始含水率测定采用GB 5009.3-2016直接干燥法进行测定,重复3次,本试验测得面片的初始含水率为74.16%±0.021。

(1) 湿基含水率的计算

$$W_{\text{湿}}(\text{g/g}) = \frac{m_w}{m} \quad (1)$$

式中: $W_{\text{湿}}$ 为湿基含水率(g/g); m_w 为湿物料中水分的质量(g); m 为湿物质总质量(g)。

(2) 干燥过程中干基含水率测定采用重量差法测定,根据公式计算得出干燥过程中干基含水量,重复3次。

$$W_{\text{干}}(\text{g/g}) = \frac{m_{\text{湿}t} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \quad (2)$$

式中: $W_{\text{干}}$ 为干燥t时刻干基含水率(g/g); $m_{\text{湿}t}$ 为t时刻样品重量(g); $m_{\text{干}}$ 为样品干物质重(g)。

(3) 干燥速率测定根据单位时间内干基含水率的变化量表示,干燥过程中干基含水率计算得出干燥过程中干燥速率,计算公式如下,重复3次。

$$V_t(\text{g/g} \cdot \text{min}) = \frac{W_{\text{干}t} - W_{\text{干}t-n}}{n} \times 100 \quad (3)$$

式中: V_t 为干燥t时刻的干燥速率(g/g·min); $W_{\text{干}t}$ 为t时刻干基含水率(g/g); $W_{\text{干}t-n}$ 为t-n时刻干基含水率(g/g); n 为干基含水率测定时间间隔(min)。

1.3.7.2 面片复水率的测定

称取30 g左右方便面,放入盛有500 mL沸水(蒸馏水)的带盖容器中,立即加盖,每隔10 s取出面片,将面片取出后用滤纸吸干表面水分后测其质量,根据实验前后试样的质量变化按下列公式计算复水比。

$$\text{复水率}/\% = \frac{\text{煮后面片重} - \text{煮前面片重}}{\text{煮前面片重}} \times 100\% \quad (4)$$

1.3.7.3 色差的测定

将热风干燥方便面样品粉碎,过100目筛(为了使

样品粒度相同),用色彩色差计(Konica Minolta CR-400)测定样品的颜色,测定时面片下放一张白纸,以使背景保持一致。色彩色差计分别测定面片的白度(L^*)、红绿色(a^*)、黄蓝色(b^* 值),重复5次,计算色差值 ΔE 。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (5)$$

式中: L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 分别表示干燥前面片的色度, L^* 、 a^* 、 b^* 代表干燥后面片的色度值。

1.3.7.4 面片剪切力的测定

称取30 g左右面片,放入500 mL沸水中,立即盖好,同时开始计时,复水4 min,立即捞出并放入冷水中浸泡冷却30 s,用滤网稍微甩去水,避免热面还在糊化状态下测定,也不要自然风干造成面条失水发粘后造成重现性不佳,每个样品2 min内完成。

剪切硬度(Firmness)的测定:采用A/LKB探头,测试条件:测定前速度:1.0 mm/sec,测定速度:0.17 mm/sec;测定后速度:10.0 mm/sec;应变:90%。

1.3.7.5 面片碘呈色度的测定

面片碘呈色度的测定依据刘展晴的测定方法进行^[6]。按公式计算方便面的碘呈色度:

$$IOD = 2A \quad (6)$$

式中: IOD-样品的碘呈色度; A-溶液的吸光值; 2为稀释倍数。

1.3.7.6 面片蒸煮损失率的测定

称取30 g左右面片,放入盛有500 mL沸水(蒸馏水)的带盖容器中,立即加盖,在第3 min要求搅拌面块(要求充分浸泡),使之松散,每次搅拌时间约10 s。泡至复水时间,捞出置于漏网上,用50 mL蒸馏水淋洗30 s,蒸煮水与洗涤液一并转入烧杯中,放入烘箱(105℃)干燥至烧杯恒重,计算蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{\text{干物质量}}{\text{煮前面片重}} \times 100\% \quad (7)$$

1.3.7.7 面片微观结构

参照Aujcharaporn Pongpichaiudom等人^[3]方法,采用扫描电镜(SEM)对干面片进行表面和横截面观察。

1.3.7.8 感官评价

参照方便面感官评价标准(GB/T 25005-2010),结合王立^[7]建立的方便面感官评价标准体系进行感官评价。由10人组成评价小组,对未泡前面片的表观状态、色泽以及对复水后的面片硬度、弹性、黏性、光滑度、复水性和耐泡性8个方面对方便面片进行感官评定,感官评价表见表1。

表1 面片感官评价指标及评价标准

Table 1 Sensory evaluation and scoring criteria of instant noodle

项目	分数	定义	1	2	3	4
色泽	10分	面片颜色鲜艳和亮度	呈均匀的乳白色或淡黄色, 光亮(8~10分)	颜色略不均匀, 光亮度稍差(6~8分)	表面颜色不均匀, 光亮度较差(4~6分)	有焦、生现象, 亮度较差(1~4分)
表面状态	10分	面片表面光滑程度	表面结构细密光滑(8~10分)	略不光滑或略分层(6~8分)	稍有起泡或稍有分层(4~6分)	起泡分层严重(1~4分)
复水性	10分	面片达到复水时间的复水情况	复水好(8~10分)	略不复水(6~8分)	复水性较差(4~6分)	不复水(1~4分)
光滑度	5分	品尝面片时口感的光滑程度	光滑(4.3~5)	略不光滑(3.7~4.3分)	不光滑(3~3.6分)	非常不光滑(1~3分)
适口性(软硬)	20分	用牙咬断面片所需力的大小	适中无硬心(17~20分)	略软略硬(12~17分)	较软或较硬(9~12分)	太软或太硬(1~9分)
韧性	20分	咀嚼面片时的咬劲和弹性大小	咬劲大、弹性好(17~20分)	有咬劲和弹性(12~17分)	稍有咬劲和稍有弹性(9~12分)	咬劲差弹性不足(1~9分)
粘性	20分	咀嚼过程中, 面片的粘牙程度	咀嚼爽口、不黏牙、无夹生(17~20分)	较爽口、略不粘牙或略夹生(12~17分)	不爽口、稍粘牙或稍夹生(9~12分)	非常不爽口、粘牙或夹生(1~9分)
耐泡性	5分	面片浸泡10 min后的咬劲	耐泡性好(4.3~5分)	耐泡性稍差(3.7~4.3分)	耐泡性稍差(3~3.6分)	不耐泡(1~3.6分)

1.3.8 结果分析

试验结果以均值±标准偏差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 单因素方差分析 ANOVA (one-way analysis of variance) 和多重比较检验分析 Duncans 用 SPSS 统计软件分析处理, 并采用 Origin 9.0 制图。

2 结果与讨论

2.1 面片不同干燥工艺的研究

2.1.1 热风干燥工艺研究

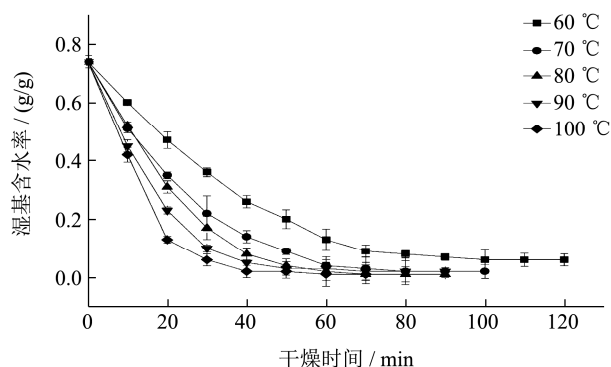


图1 干燥温度对面片湿基含水率的影响

Fig.1 The Influence of drying temperature on moisture content of wet base of instant noodle

由图1可知, 随着干燥温度的增加, 相同时间面片湿基含水率就越低。这是由于温度越高, 传热推动力温度差越大, 相同时间含水率越低, 但是温度越高, 干燥耗能也越大^[8]。不同温度下, 面片水分达到平衡

的时间不同, 60 °C所需时间最长为100 min, 100 °C干燥所需时间最短为60 min。由图2可知, 干燥温度越大, 面片的干燥速率也越大。温度越高, 干燥产生的温差越大, 传热传质动力越大, 可显著缩短干燥时间^[9], 在热风为60 °C、70 °C时, 面片干燥速率曲线变化较为平缓, 热风温度为100 °C时, 面片的干燥速率曲线变化较大。干燥初期, 物料表面水分迅速气化, 干燥速率增加, 为加速干燥阶段^[10], 之后面片表面蒸发速度高于内部扩散速度, 此为降速干燥阶段^[11]。热风温度100 °C的干燥速率最大, 为21.31 g/(g·min), 由于温度越高, 水分蒸发越快, 面片的自由水去除较快, 干燥速率也越大。

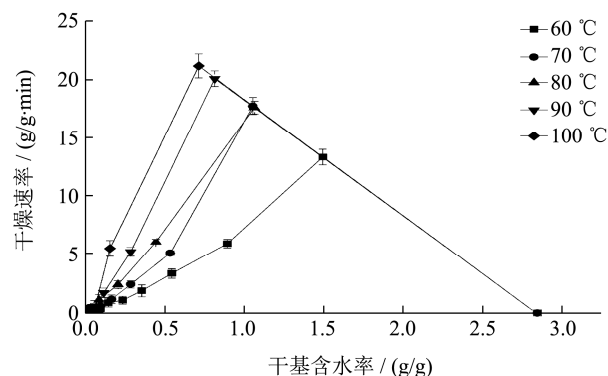


图2 干燥温度对面片干燥速率的影响

Fig.2 Effect of drying temperature on the drying rate of instant noodle

由图3可知, 干燥温度对面片复水率也有影响, 随着干燥温度的增加, 面片复水率降低。这是因为热

风从烘箱内部通过对流循环到食物表面导致面片结构坚硬从而延长复水时间^[12]。综合考虑,面片热风干燥选择 80℃ 较适宜。

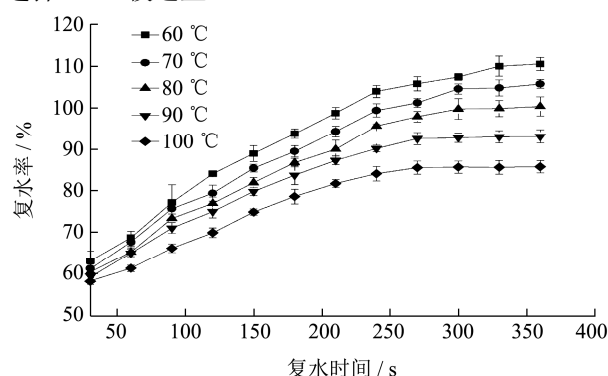


图3 干燥温度对面片复水性的影响

Fig.3 Influence of drying temperature on rehydration of instant noodle

2.1.2 微波干燥工艺研究

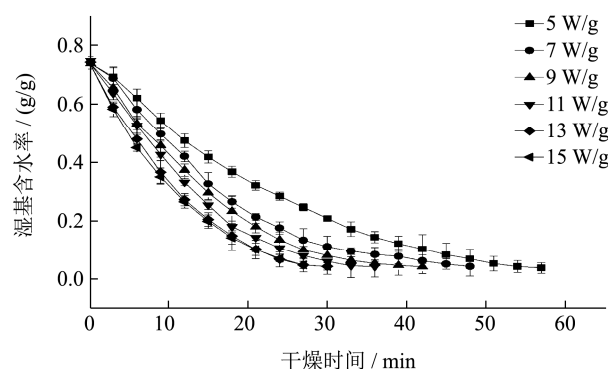


图4 微波功率对面片湿基含水率的影响

Fig.4 The Influence of microwave power on moisture content of wet base of instant noodle

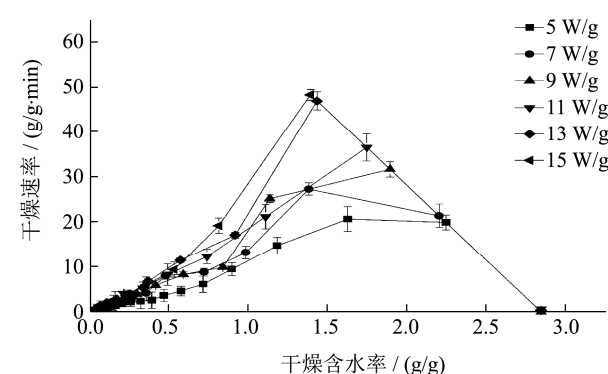


图5 微波功率对面片干燥速率的影响

Fig.5 Effect of microwave power on the drying rate of instant noodle

由图4可知,微波功率越大,物料含水量下降越快。当微波功率密度为 5 W/g 时,面片干燥平衡时间为 57 min,当微波功率密度为 15 W/g 时,面片干燥至平衡所需时间为 27 min。由图5可知,面片干燥速率在初始阶段迅速增长,到达峰值后干燥速率下降,最

后速率趋于平稳。由于在微波作用下,面片内部水分快速升温 and 扩散,但持续时间较短,并到达最大值;经过加速阶段后,由于蒸发水量大于扩散水分量,失水速率无法维持平衡,直接进入降速干燥阶段,面片含水率降低,水分蒸发量持续减少,失水速率下降。其中最大干燥速率为 35.08 g/(g·min) (15 W/g),最低干燥速率为 19.96 g/(g·min) (5 W/g)。故微波功率增加提高了面片对微波能的吸收量,加快物料中的水分蒸发和扩散^[13]。

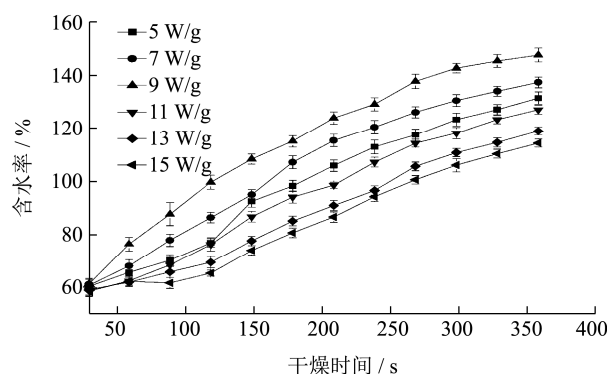


图6 微波功率对面片复水率的影响

Fig.6 The influence of microwave power on instant noodle

由图6可知,当微波功率密度为 5 W/g~9 W/g 时面片复水性随着功率密度的增加而增加,是由于高温使水分迅速蒸发,面片产生膨化,内部成多孔性,提高了其复水性,这与张双灵等人对方便面微波干燥效果的研究中的结果相似^[14]。但当微波功率密度到 13 W/g、15 W/g 时面片复水率有所下降,可能是由于高微波功率干燥时,面片的外表面更容易硬化,内部和表面容易焦黄,使其复水性较小^[15]。由以上结果综合考虑:面片微波干燥功率密度为 9 W/g 最佳。

2.1.3 热风-微波干燥工艺研究

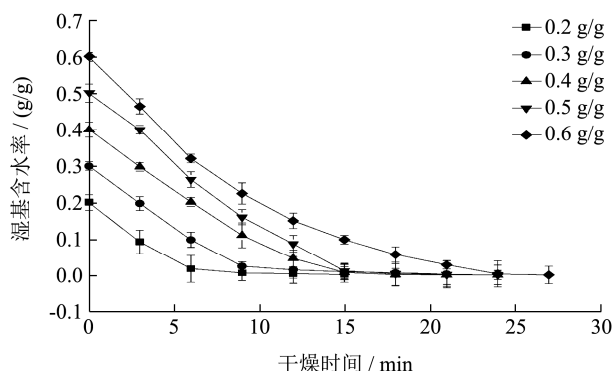


图7 不同转换含水率对热风-微波干燥面片湿基含水率的影响

Fig.7 Influence of different transfer Moisture content on moisture content of wet base of hot air combined with microwave drying instant noodle

由图7、8可知,预干燥含水率对热风-微波干燥面片影响显著。随着预干燥含水率的降低,同一干燥

时间面片含水率降低,面片预干燥含水率 0.2 g/g 时,15 min 面片水分至平衡,面片干燥时间最短。而干燥速率最小,是由于通过预干燥后面片水分低,已经进入干燥降速阶段。面片预干燥含水率为 0.6 g/g,面片需微波 27 min 使面片中水分平衡。由于预干燥时间短,面片中还有大部分水分,微波干燥面片干燥速率快,为 21.14 g/(g·min)。随着预干燥含水率的下降,面片干燥速率也随之降低。干燥初期,由于面片水分含量多,干燥速率快速增长,逐渐达到峰值,面片中的水分也逐渐降低,干燥速率开始下降趋于平稳。这与刘旺星^[13]等人对胡萝卜微波干燥特性及动力学模型研究中的干燥速率结果相印证。

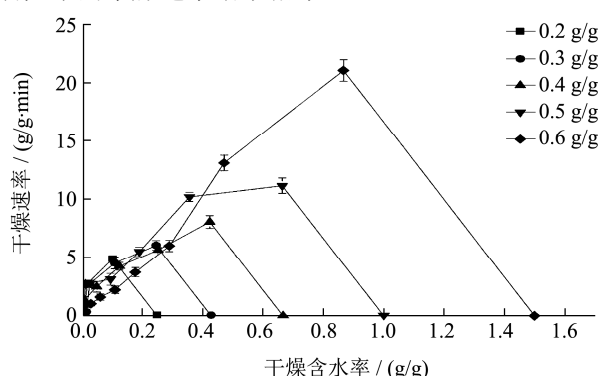


图 8 不同转换含水率对热风-微波干燥面片干燥速率的影响

Fig.8 Effect of different moisture content on drying rate of hot air combined with microwave drying instant noodle

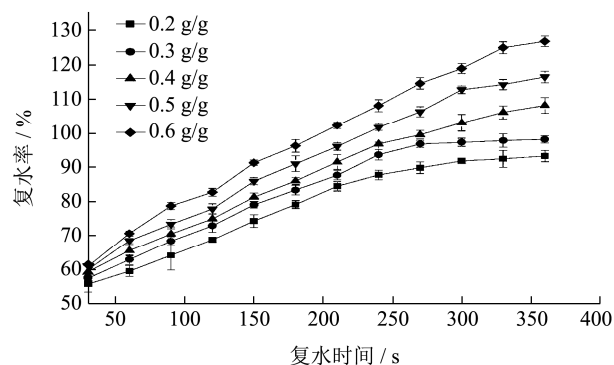


图 9 不同转换含水率对面片复水率的影响

Fig.9 The influence of different conversion moisture content on rehydration ratio of instant noodle

由图 9 可知,面片预干含水率越低复水性越差,这是由于预干燥含水率越低,说明热风时间越久,热风干燥是通过干燥箱中热风对流循环先把面片表面吹干,导致面片表面无法形成孔隙结构从而延长复水时间。通过以上结果表明:面片预干燥含水率为 0.4 g/g 时,干燥时间为 24 min,面片干燥速率比单一热风干燥要快,复水率较好。

2.2 不同干燥方式对面片品质的影响

2.2.1 不同干燥方式对面片干燥速率及复水性的影响

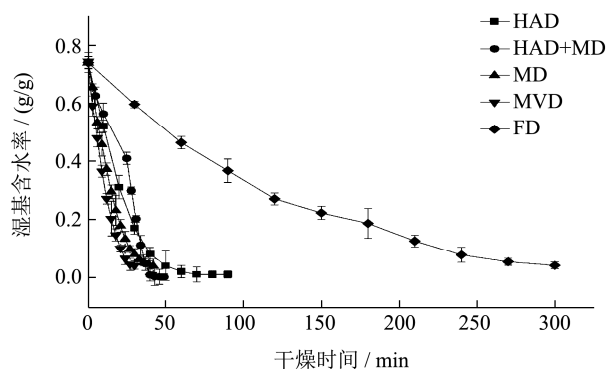


图 10 干燥方式对面片湿基含水率的影响

Fig.10 Influence of moisture content on wet base of tablets in drying instant noodle

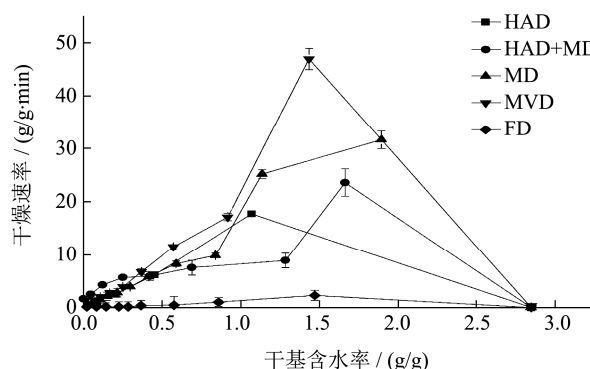


图 11 干燥方式对面片干燥速率的影响

Fig.11 Influence of rehydration rate of opposite tablets in drying instant noodle

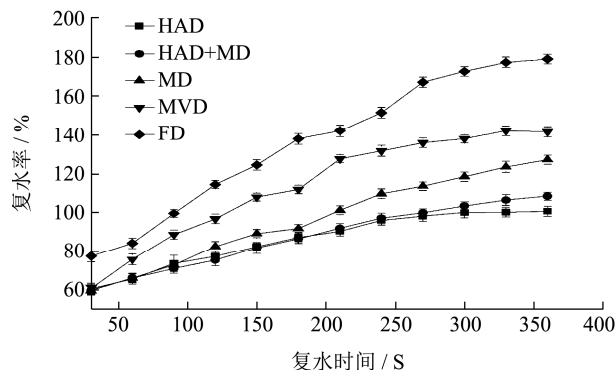


图 12 干燥方式对面片复水性的影响

Fig.12 Influence of drying method on the rehydration of instant noodle

由图 10、11 可知, HAD、MD、HAD+MD、MVD、FD 面片达到水分平衡的时间分别为 60 min、45 min、49 min、27 min、300 min。这五种干燥方式,对面片干燥时间,速率影响明显。其中 MVD 组时间最短,是由于微波干燥的穿透深度更高,利用微波的偶极子旋转和离子极化机制来消除样品内部的水分,使面片表面和内部之间产生水蒸汽压梯度,达到快速脱水的

效果^[3],而且真空下物料中水的沸点降低,故 MVD 要比 MD 干燥速率更高,MVD 组干燥速率最大为 47.07 g/(g·min),MD 组面片峰值干燥速率为 31.72 g/(g·min)。FD 干燥干燥速率最低,为 2.29 g/(g·min),是因为真空状态下物料导热系数低,传热效率低,所以导致冷冻干燥的时间长^[16]。

由图 12 可知,面片复水性对比结果为:FD>MVD>MD>HAD+MD>HAD。这是由于热风干燥对流和传导传热缓慢,表面结构组织收缩和塌陷,使

面片表面更致密,空隙更小,导致水渗透和吸收速度缓慢^[3]。而真空微波干燥在低温下快速产生的内部水蒸气而导致组织膨化,形成许多微孔结构有利于复水效率。真空冷冻干燥,通过降低真空度,使沸点越来越低,向冰点靠近,当压力降到一定的真空度时,水的沸点和冰点重合,面片中的水直接气化脱水^[17],由于面片是在冻结状态下脱水使表面形成多孔海绵状结构提高了面片复水率。

2.2.2 不同干燥方式对面片色泽的影响

表 2 不同干燥方式对面片色差的影响

Table 2 Influence of different drying methods on color difference of instant noodle

干燥方式	L^*	a^*	b^*	ΔE
未干面片	89.43±0.16 ^d	2.59±0.26 ^b	15.38±1.05 ^b	-
MD	72.96±1.15 ^{ab}	3.11±0.34 ^b	15.76±0.99 ^b	16.58±1.17 ^{bc}
HAD	69.64±1.71 ^a	1.65±0.47 ^a	16.29±1.16 ^b	19.96±1.71 ^c
HAD+HD	74.35±0.77 ^b	1.58±0.15 ^a	16.12±0.51 ^b	15.22±0.77 ^b
FD	92.4±0.24 ^d	0.84±0.02 ^a	7.59±0.97 ^a	8.61±0.15 ^a
MVD	80.52±1.35 ^c	3.38±0.34 ^b	15.19±0.88 ^b	9.07±1.41 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

表 3 不同干燥方式对面片剪切力的影响

Table 3 Influence of shearing force on different drying instant noodle

干燥方式	延展性/(g/sec)	硬度/g	咀嚼性/(g·sec)	粘性/(g·sec)
MD	81.58±5.33 ^c	813.97±51.19 ^b	3258.71±248.52 ^b	-0.29±0.08 ^b
HAD	52.8±4.07 ^a	1652.88±169.63 ^d	5294.77±543.84 ^c	-0.13±0.13 ^b
HAD+HD	68.55±3.39 ^b	1241.99±54.98 ^c	4048.39±50.29 ^b	-0.13±0.08 ^b
FD	55.93±3.52 ^a	493.98±53.02 ^a	1456.42±164.89 ^a	-1.63±0.79 ^a
MVD	72.58±2.39 ^{bc}	575.34±14.92 ^{ab}	2318.34±24.31 ^a	-0.48±0.07 ^b

由表 2 可知,干燥方式对面片的色泽有明显差异($p<0.05$)。对比 5 种干燥方式,HAD 组和 HAD+MD 组的 L^* 值比较低,这是由于在长时间的高温干燥过程中面片发生美拉德反应产生褐变,降低面片的色泽^[18]。MD 组比 MVD 组的 L^* 值要小,MD 为 72.96, MVD 为 80.52,是因为同微波功率密度下,增加真空度,使水沸点降低,所需的干燥温度也降低了,低温降低了干燥过程中面片的褐变。FD 组 L^* 值最大,为 92.4 与鲜面片白度无显著性变化($p>0.05$),由于 FD 是在压力降到一定真空度时,水的沸点与冰点重合,物料中的水直接气化脱水^[17]完成干燥,因此在低温低压下面片干燥过程中面片不发生褐变。总色差值也反映了这一结果,以未干燥鲜面片为对照,FD 组和 MVD 组的面片 ΔE 值最低,分别为 8.61、9.07 且无差异显著($p>0.05$)。其次是 MD 组、HAD+MD 组,而 HAD 组的面片 ΔE 值最高,为 19.96 色泽最差。

2.2.3 不同干燥方式对面片质构的影响

由表 3 可知,不同干燥的面片复水后对剪切力有

不同影响。MD、MVD 组延展性最好,分别为 81.58 g/sec、72.58 g/sec 无差异显著($p>0.05$)。FD 组剪切力各指标都表现较差,HAD 硬度和咀嚼性较大,分别为 1652.88 g、5294.77 g·sec。由于高温能促麦谷蛋白和醇溶蛋白通过二硫键交联,它进一步截留淀粉颗粒,形成连续的基质,并形成比低温干燥更强的蛋白质网络^[18,19],故高温干燥时间越长面片硬度和咀嚼性越大。FD 面片复水后的硬度 493.98 g,咀嚼性为 1456.42 g·sec 均为最小并于 MVD 面片无显著差异($p>0.05$)。面片复水时,组织结构也影响了面片的质地^[20]。干燥过程中面片形成的结构越疏松,复水时水分越容易进入,面片也越接近鲜面片。FD 面片干燥后组织更疏松,更利于复水,面片的硬度和咀嚼性也更小,由于 HAD 面片是先从表面蒸发脱水,导致面片表面光滑无孔隙,复水效果差,复水后的硬度和咀嚼性也更大。

2.2.4 不同干燥方式对面片糊化度和蒸煮损失的影响

糊化是指面片中淀粉的糊化程度,淀粉的糊化是

指淀粉悬浮液在一定温度下,淀粉颗粒吸水膨胀、体积增大、淀粉颗粒破裂、成为粘稠状胶体溶液的过程,糊化度是评价谷物熟化程度的指标^[21]。面片糊化程度越高,其直链淀粉分子脱离淀粉粒浸入溶液就越多,可以吸附更多的碘,颜色变深在一定波长下测得吸光值就越大,糊化度越高^[22]。由图 13 可知,不同干燥方式对面片糊化度有显著影响($p<0.05$)。MD 面片糊化度最高,为 2.62,FD 面片其次,为 1.39,HAD+MD 和 MVD 面片无显著影响($p>0.05$),HAD 面片的糊化度最小,为 0.57。物料中淀粉的糊化是在适当的温度并吸收足够的热量的条件下进行的,只有吸收了足够的热量,才能完成淀粉的糊化。由于面片预煮之后再干燥,在预煮时面片进行了糊化,所以 FD 面片在低温下干燥,不再破坏面片的蛋白质和淀粉,不再进行进一步糊化。HAD 面片糊化度最小,可能高温长时间干燥会造成面片的蛋白质与淀粉降解的糖在高温下发生美拉德反应,导致糊化度和复水率的降低^[23]。

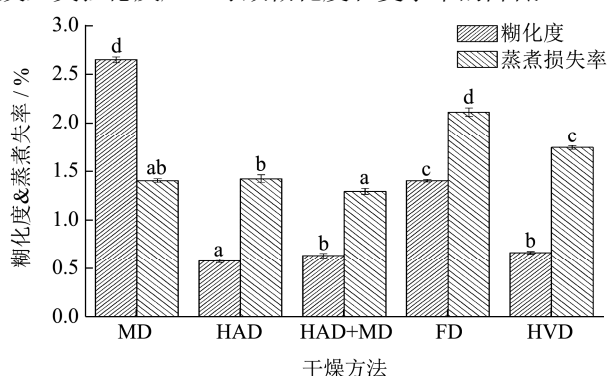


图 13 不同干燥方式对面片糊化度和蒸煮损失的影响

Fig.13 Effects of different drying methods on gelatinization and cooking loss rate of instant noodle

蒸煮损失是面片复水耐煮能力的体现,也是评判其蒸煮性能的重要依据^[24]。由于直链淀粉的浸出和可溶性淀粉的作用使一些水溶性蛋白转移使面片在复水过程中产生的蒸煮损失^[3]。由图 13 可知,不同干燥方式对面片的蒸煮损失影响显著($p<0.05$)。FD 面片蒸煮损失率最大,为 2.11%,MVD 面片蒸煮损失率为 1.74%,HAD+MD 面片蒸煮损失率最低,为 1.29%,并于 MD,HAD 面片的蒸煮损失差异不显著($p>0.05$)。

2.2.5 不同干燥方式对面片微观结构的影响

由图 14 可知,不同干燥方式对面片结构有不同影响。FD 面片横截面和表面的扫描电镜显示面片孔隙均匀密集,而 HAD 面片表面光滑,横截面孔隙较少。面片的孔隙率对水分扩散能力有影响^[25],因此增加孔隙率有利于面片的复水。由图 14A 可以看出,面片表明虽无明显孔隙,但横截面(图 14a)显示面片出现较多孔隙。是由于微波干燥时,物料内部吸收大量的

微波能,内部产生较的内压^[26,27],促使内部水分快速向外蒸发,导致样品内部形成了孔隙结构。热风干燥图 14B 显示,由于热风对流传导传热较慢,面片表面更紧致,横截面(b)显示面片孔隙较小,不利于面片复水。HAD+MD 组(C)图显示,预干燥导致面片表面无明显孔隙,从横截面看出由于微波产生的内压使面片形成孔隙。FD 组(D)图显示,面片表面有较密孔隙,横截面(d)孔隙均匀细密,是由于面片在冻结状态下,内部水分直接气化脱水,面片保持原有骨架结构,脱水后的面片有细密孔隙,面片复水性最好,结果与图 12 结果显示一致。

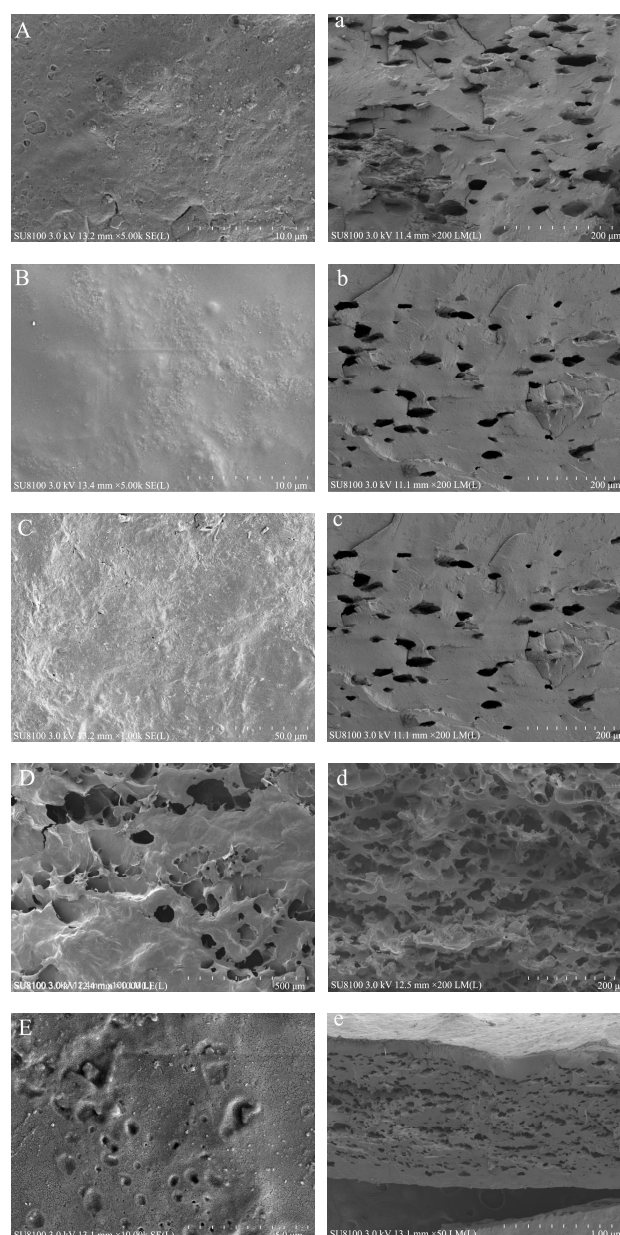


图 14 不同干燥方式对面片表面横截面扫描电镜照片

Fig.14 Scanning electron microscopy (SEM) images of the surface of the opposite instant noodles in different drying instant noodle

注: A: MD 表面; a: MD 横截面; B: HAD 表面; b: HAD 横截面; C: HAD+MD 表面; c: HAD+MD 横截面; D: FD 表面; d: FD 横截面; E: MVD 表面; e: MVD 横截面。

MVD 组 (E) 图显示, MVD 组较比 MD 组出现较多孔隙。不同与微波干燥, 真空微波干燥是在微波干燥的基础上降低干燥箱内部气压, 使物料在干燥中水的沸点降低, 让水更易气化脱水, 不仅增加了干燥效率, 同时短时间内的微波避免物料出现边角效应, 增加了物料的复水性。通过扫描电镜结果表明, 干燥方式对面片品质结果如下: FD>MVD>MD>HAD+MD>HAD。

2.2.6 不同干燥方式对面片的感官评价

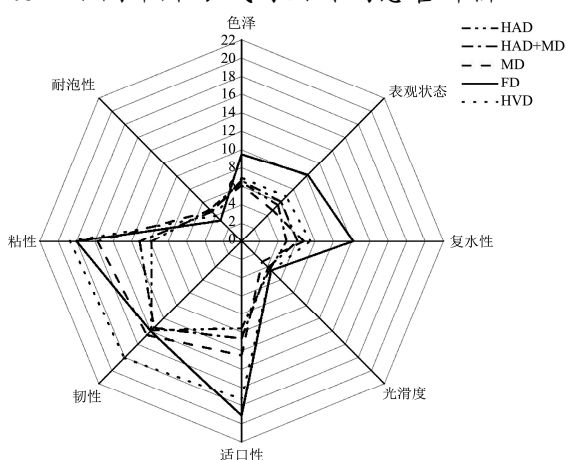


图 15 不同干燥方式对面片的感官评价

Fig.15 Sensory evaluation of opposite slices in different drying instant noodle

图 15 可知, 不同干燥方式对面片感官评价影响显著, 不同干燥方式对面片复水性、韧性、表观状态和色泽评价较显著, 对光滑度和耐泡度评价影响不明显。从图中表明 FD 面片的复水性最好, HAD 面复水最差, MD 和 HAD+MD 面复水性一般, 差异不显著, 结果与 2.2.1 图 12 一致。FD 面色泽最佳, 色泽光亮颜色均匀, 这是由于 FD 面不同于其他面片干燥方式, 是在低温真空下干燥, 不会导致面片发生美拉德反应。HAD 面高温长时间的干燥导致面片颜色暗沉, 不光亮。微波产生的内能使面片虽然能使面片快速干燥到那时由于微波会导致面片出现边角效应, 使面片出现焦黄, 颜色不均匀。MVD 面的韧性表现最好, 可能是由于微波能使面片组织紧密, 在真空微波下干燥, 低压使面片更快速的干燥, 产生的孔隙更细密。HAD 面和 HAD+MA 面由于干燥时间更长, 温度高降低面片复水效果, 在复水中, 更容易出现夹生的现象, FD 面和 MVD 面由于细密的孔隙使面片复水更好, 复水的面片软硬适中, 无硬心, 适口性更好。综合以上结果表明: FD 面片总体评价最佳, MVD、MD 面片其

次, HAD+MD, HAD 面感官评分最差。

3 结论

3.1 随着干燥温度的增加, 干燥速率也随之增加, 但由于热风温度过高使面片坚硬复水率下降, 故热风干燥在 80 °C 最佳; 微波功率密度对面片的干燥也有影响, 干燥速率与功率密度成正比关系, 微波功率密度过高, 可能会使面片出现膨化, 面片焦黄情况, 使复水率下降, 在本研究中 9 W/g 的功率密度最适; HAD+MA 干燥相对于单一干燥提高了 HAD 干燥的干燥速率, 通过对转换含水率的影响研究发现, 热风时间越长面片复水率越低, 故转换含水率 0.4 g/g 最佳。

3.2 通过以上不同干燥方式对面片的研究发现, FD 面片复水效果好, 颜色鲜亮, 糊化度和感官评价最好, 但干燥速率慢, 对面片质构中表现一般, 这与面片复水情况相关, 对面片微观结构的观察中也有体现。MVD 干燥得到的产品, 复水性, 颜色和感官评价对于 FD 面片较差, 但优于其他干燥方式, MVD 干燥在干燥速率方面能最快使面片达到水分平衡。MVD 面片复水后的延展性也较好。MD 干燥虽然干燥速率较快, 但是微波会产生“边角效应”使面片干燥不均匀, 容易出现焦黄现象。HAD 干燥在干燥速率和面片蒸煮特性相较于其他干燥方式都要差, 但是最经济的干燥方式。HAD+MD 干燥解决了 HAD 干燥速率慢的问题。

3.3 由以上研究综合考虑, 干燥方式对面片干燥效率和品质有很大的影响, 单一干燥中 FD 面片的品质是目前最佳的方式, 但是由于效率和成本较高, 在市場应用上还未完全普及, 为解决生产成本问题, 联合干燥是目前最佳的解决方案, 本研究中 MVD 干燥效率高, 面片复水, 感官评价好, 更适合面片的脱水加工。

参考文献

- [1] 拓疆. 汤宽辣子旺的新疆汤饭[J]. 农业知识(百姓新生活), 2015, 4: 32-33
TUO Jiang. Tang kuan, chilli wang, xinjiang soup rice [J]. Agricultural Knowledge (People's New Life), 2015, 4: 32-33
- [2] 杨淑祯, 赵仁勇. 热风微孔化方便面干燥工艺参数的优化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 232-239
YANG Shu-zhen, ZHAO Ren-yong. Optimization of drying process parameters of hot air microporous instant noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(9): 232-239
- [3] Pongpichaiudom A, Songsermpong S. Characterization of frying, microwave-drying, infrared-drying, and hot-air drying on protein-enriched, instant noodle microstructure, and qualities [J]. Journal of Food Processing and Preservation,

- 2018, 42(3): e13560.1-e13560.10
- [4] 胡舰,周莹,左波,等.热风-压差膨化生产非油炸方便面的工艺优化[J].食品与机械,2018,34(5):198-203+215
HU Jian, ZHOU Ying, ZUO Bo, et al. Optimization of non-fried Instant noodles with hot air and differential pressure expansion [J]. Food & Machinery, 2018, 34(5): 198-203+215
- [5] 元伟华,修琳,张大力.多谷物非油炸方便面的微波-热风联合干燥工艺研究[J].食品工业,2017,38(1):130-134
QI Wei-hua, XIU Lin, ZHANG Da-li. Study on microwave-hot air combined drying technology of multi-grain non-fried instant noodles [J]. Food Industry, 2017, 38(1): 130-134
- [6] 刘展晴.方便面熟化度测试条件的优化[J].湖北农业科学, 2016,55(3):724-726
LIU Zhan-qing. Optimization of test conditions for instant noodles ripening degree [J]. Hubei Agricultural Science, 2016, 55(3): 724-726
- [7] 王立,曹新蕾,钱海峰,等.方便面研究现状及发展趋势[J].食品与发酵工业,2016,42(1):252-259
WANG Li, CAO Xin-lei, QIAN Hai-feng, et al. Research status and development trend of instant noodles [J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(1): 252-259
- [8] Panyawong S, Devahastin S. Determination of deformation of a food product under going different drying methods and conditions via evolution of a shape factor [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 151-161
- [9] 张绪坤,王高敏,姚斌,等.单粒莲子热风干燥特性及其干燥动力学[J].现代食品科技,2017,33(4):141-148
ZHANG Xu-kun, WANG Gao-min, YAO Bin, et al. Hot air drying characteristics of single lotus seed and its drying kinetics [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(4): 141-148
- [10] Yanyang X, Min Z, Mujumdar A S, et al. Studies on hot air and microwave vacuum drying of wild cabbage [J]. Drying Technology, 2004, 22(9): 2201-2209
- [11] 李湘利,刘静,肖鲜.热风与微波及其联合干燥对香椿芽品质的影响[J].食品科学,2015,36(18):64-68
LI Xiang-li, LIU Jing, XIAO Xian. Effects of hot air microwave and combined drying on quality of Chinese toon [J]. Food Science, 2015, 36(18): 64-68
- [12] Salarikia A, Ashtiani S H M, Goltzarian M R. Comparison of drying characteristics and quality of peppermint leaves using different drying methods [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 41(3): e12930
- [13] 刘旺星,陈雄飞,余佳佳,等.胡萝卜微波干燥特性及动力学模型[J].食品工业科技,2019,40(9):68-72,77
LIU Wang-xing, CHEN Xiong-fei, YU Jia-jia, et al. Microwave drying characteristics and kinetic model of carrot [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(9): 68-72, 77
- [14] 张双灵,赵奎浩,张志伟,等.方便面微波干燥效果的研究[J].四川食品与发酵,2008,1:64-68
ZHANG Shuang-ling, ZHAO Kui-hao, ZHANG Zhi-wei, et al. Study on microwave drying effect of instant noodles [J]. Sichuan Food and Fermentation, 2008, 1: 64-68
- [15] 左艳娜.干燥对方便米粉老化特性影响的研究[D].南昌:南昌大学,2014
ZUO Yan-na. Study on the effect of drying on the aging characteristics of convenient rice noodles [D]. Nanchang: Nanchang University, 2014
- [16] 江家伍,徐伟君.提高真空冷冻干燥速率的研究[J].包装与食品机械,2002,2:4-8
JIANG Jia-wu, XU Wei-jun. Research on improving vacuum freeze-drying rate [J]. Packaging and Food Machinery, 2002, 2: 4-8
- [17] 苏倩,谭艳妮,纪宏.真空冷冻干燥技术在食品方面的应用[J].品牌与标准化,2018, 6: 71-74
SU Qian, TAN Yan-ni, JI Hong. Application of vacuum freeze-drying technology in food [J]. Brand and Standardization, 2018, 6: 71-74
- [18] Piwińska Monika, Wyrwisz J, Kurek M A, et al. Effect of drying methods on the physical properties of durum wheat pasta [J]. Cyta Journal of Food, 2016: 1-6
- [19] Mercier S, Mondor M, Moresoli C, et al. Drying of durum wheat pasta and enriched pasta: a review of modeling approaches [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2016, 56(7): 1146
- [20] 许洋,徐茂,蒋和体.不同干燥方法对香菇片品质及微观结构的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(14):189-197
XU Yang, XU Mao, JIANG He-ti. Effects of different drying methods on the quality and microstructure of *Lentinus edodes* slices [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(14): 189-197
- [21] 付中华,薛晓金,田素芳.糊化度的测定方法[J].粮食流通技术,2004,3:27-29
FU Zhong-hua, XUE Xiao-jin, TIAN Su-fang. Determination of gelatinization degree [J]. Grain Circulation Technology, 2004, 3: 27-29