

# 不同干燥条件下挂面烹饪特性比较分析

张影全<sup>1,2</sup>, 惠滢<sup>1,2</sup>, 张波<sup>2</sup>, 郭波莉<sup>2</sup>, 张国权<sup>1</sup>, 魏益民<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

(2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

**摘要:** 干燥温度和相对湿度是影响挂面产品烹饪特性的主要控制条件。为明确不同温度、相对湿度及其互作对挂面烹饪特性的影响程度, 分析不同干燥条件组合下挂面烹饪特性的变化规律, 本文以小麦品种宁春4号为原料, 实验室仿工业小试规模制作挂面, 设计温度(40、60、80 °C)和相对湿度(65%、75%、85%)的两因素三水平全排列干燥工艺实验, 测定挂面产品最佳煮制时间、烹调吸水率、烹调损失率等煮制特性, 以及煮熟挂面TPA质构特性。研究发现, 不同干燥温度、相对湿度条件下, 挂面煮制特性、TPA质构特性等烹饪特性存在显著差异( $p < 0.05$ )。随干燥温度、相对湿度升高, 挂面烹饪特性变化趋势不尽一致。温度是影响挂面烹饪特性的主要因素, 其次为交互作用, 以及相对湿度。干燥温度对挂面最佳煮制时间、煮熟挂面质构特性等有极显著影响, 方差贡献率超过70%。与传统干燥工艺条件(40 °C/75%)相比, 干燥组合60 °C/75%条件下, 产品整体烹饪质量得到一定程度的改善或提高。研究结果可以为挂面干燥工艺设计与优化、产品质量控制提供参考。

**关键词:** 挂面; 干燥条件; 温度; 相对湿度; 烹饪特性

文章编号: 1673-9078(2021)01-164-171

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.01.0687

## Comparative Analysis of the Cooking Quality of Chinese Dried Noodles under Different Drying Parameters

ZHANG Ying-quan<sup>1,2</sup>, HUI Ying<sup>1,2</sup>, ZHANG Bo<sup>2</sup>, GUO Bo-li<sup>2</sup>, ZHANG Guo-quan<sup>1</sup>, WEI Yi-min<sup>2</sup>

(1. College of Food Science & Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

(2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agriculture Sciences/Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Temperature and relative humidity in drying chamber are the two main parameters affecting cooking quality of Chinese dried noodles (CDN). To clarify the effects of temperature, humidity and temperature-humidity interactions on quality performance of CDN, the flour of Chinese wheat variety Ningchun 4 was used for small-scale industrial making of CDN under different drying conditions in laboratory. Three temperatures (40 °C, 60 °C and 80 °C) and three relative humidity (65%, 75% and 85%) were selected for designing the CDN drying experiment with two factors of three levels each. The quality evaluation of CDN showed that the cooking quality and texture of cooked CDN were significantly or extreme significantly affected by drying temperature, relative humidity, and their interaction. Complex quality changes of CDN were observed with the increase of drying temperature or humidity. Drying temperature was identified as the main factor affecting the cooking characteristics of the CDN, followed by temperature-humidity interaction and humidity. Temperature (with the variation contribution rate over 70%) had the greatest influence on the optimum cooking time and texture of cooked noodles. Compared with the traditional drying process condition (40 °C and 75%), the quality of CDN was improved when it was dried at 60 °C and 75%. The results in this study will

引文格式:

张影全, 惠滢, 张波, 等. 不同干燥条件下挂面烹饪特性比较分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(1): 164-171

ZHANG Ying-quan, HUI Ying, ZHANG Bo, et al. Comparative analysis of the cooking quality of Chinese dried noodles under different drying parameters [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(1): 164-171

收稿日期: 2020-07-21

基金项目: 国家重点研发计划专项(2016YFD0400200); 国家自然科学基金项目(3150152); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-03); 中国农业科学院科技创新工程

作者简介: 张影全(1985-), 男, 博士生, 助理研究员, 研究方向: 谷物加工理论与技术

通讯作者: 张国权(1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程; 魏益民(1957-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程

provide reference for the drying process optimization and quality control of CDN.

**Key words:** Chinese dried noodles; drying conditions; temperature; relative humidity; cooking quality

挂面是中国传统面食之一。挂面干燥工序是挂面生产的关键工序之一,其工艺设计、参数控制与产品质量、生产效率,以及能源消耗等密切相关,其中温度、相对湿度是挂面干燥条件的主要控制因素<sup>[1]</sup>。最佳煮制时间、烹调吸水率、烹调损失率、熟挂面质构特性等烹饪质量特性与消费者食用感官感受直接相关,是产品质量的重要属性之一。

有关意大利面、乌冬面产品干燥条件对干燥过程及产品质量的影响已有大量工作<sup>[2-9]</sup>。Padalino 等<sup>[2]</sup>研究表明,意大利面(spaghetti)感官质量随干燥温度升高而改善。Mercier Samuel 等<sup>[10]</sup>通过对 66 篇营养强化类意大利面(enriched pasta)文献的 Meta 分析认为,较高的温度可以改善意大利面的烹饪特性。郭颖和陆启玉<sup>[11]</sup>研究了高温(60~100 °C)对挂面产品质量特性的影响,认为高温干燥对挂面品质有很重要的影响,认为烘干温度为 60~70 °C,挂面品质较好。王春等<sup>[12]</sup>研究了 40~80 °C 干燥条件对挂面产品质量特性的影响,认为高温干燥对挂面产品品质和煮后品质有影响,70 °C 干燥条件较好。当温度超过 50 °C 时,蛋白质发生热变性作用而凝固,劣化面筋的品质,面条发脆,强度降低,且面条煮熟后的硬度也随烘干温度升高而逐渐增加,影响其食用品质<sup>[13,14]</sup>。然而,高温干燥工艺并未在挂面生产中得到应用。近年来,国内学者对于干燥条件对挂面干燥过程的影响做了系列研究。魏益民等<sup>[15]</sup>认为,挂面干燥介质温度越高,相对湿度越低,挂面的干燥速率越大。生产上,相对湿度对挂面干燥过程的影响大于温度的影响。王杰等<sup>[16]</sup>通过分析挂面产品含水量、色泽及抗弯强度与干燥工艺参数的关系,发现烘房一区温度和四区相对湿度与挂面产品质量特性关系最大,是干燥工艺的关键控制点。惠滢等<sup>[17]</sup>研究高温高湿工艺对挂面产品特性发现,干燥温度对产品最终水分含量、色泽 b\*值、密度、收缩率、折断距离和折断功有极显著或显著影响,高温高湿(80 °C/85%)干燥后,挂面色泽 b\*值、抗弯强度、折断距离、折断功均显著升高, L\*值、a\*值、密度、收缩率没有显著变化。

然而,由于监测和控制条件的限制,前人大多数只考虑了温度因素,而对相对湿度、温度与相对湿度互作对挂面烹饪特性的影响规律尚不清楚,尤其是在高温条件下,相对湿度及其互作对挂面烹饪特性的影响规律等未见报道。因此,有必要全面了解温度、相对湿度及其互作对挂面烹饪特性的影响程度,分析不

同干燥条件组合下挂面烹饪特性的变化规律,以期指导挂面干燥工艺参数设计和干燥过程控制,以提高和稳定挂面产品的烹饪质量。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

以小麦品种宁春 4 号为实验材料,利用 MLU 202 型实验磨粉机磨粉,出粉率为 71.2%。食用盐购于北京当地超市。

### 1.2 仪器与设备

MLU 202 型实验磨粉机,瑞士 Buhler 公司;和面机,河南东方食品机械设备有限公司;MT5-215 型轧片机组,南京市扬子粮油食品机械有限公司;食品水分分析技术平台,中国农业科学院农产品加工研究所;电磁炉,美的集团股份有限公司;TA.XT plus 型物性测定仪,英国 Stable Micro System 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 挂面制作

称取 1000.00 g 面粉(湿基 14%),加入 1%食盐,根据面粉含水率加入适量蒸馏水,使得面团含水率达到 35%(湿基),用和面机和面 8 min。在 MT5-215 型轧片机组上经 2 道压延至 4.0 mm 厚面带,放入自封袋,室温密封醒发 30 min;再经 4 次压延至面带厚度为 1 mm,切条制成宽度 2 mm、厚度 1 mm 的湿面条。将湿面条悬挂于提前平衡好的“食品水分分析技术平台”<sup>[18]</sup>中干燥。干燥条件采用两因素三水平的全排列组合试验设计,其中温度设计水平为 40、60 和 80 °C;相对湿度设计水平为 65%、75%和 85%。实验共计 9 组,每组 3 次重复。干燥时间 300 min。干燥完成后,将挂面切成长度 25 cm 样品,放入自封袋中备用。

#### 1.3.2 最佳煮制时间

参照 AACCI 66-50<sup>[19]</sup>和 LS/T 3212-2014<sup>[20]</sup>方法,测定面条最佳煮制时间,略作修改。随机抽取 20 根 20 cm 长挂面样品,放入 500 mL 沸水中,用筷子迅速搅拌防止粘连,开始计时,保持水一直处于微沸状态。从 2 min 开始取样,每隔 30 s 取样一次,每次取一根,用两块玻璃板压扁,观察挂面内部白芯;白芯消失时,停止计时,该时间为挂面最佳煮制时间。

### 1.3.3 烹调吸水率和烹调损失率

参照 AACCI 66-50<sup>[19]</sup>和 LS/T 3212-2014<sup>[20]</sup>方法,测定挂面烹调吸水率、烹调损失率,略有修改。称取 10.00 g 左右样品 ( $m_0$ ),用电磁炉将不锈钢盆 ( $m_1$ )中盛放的 500 mL 蒸馏水加热至沸腾;放入称重样品 ( $m_0$ ),保持水处于微沸状态,煮至最佳煮制时间,立即捞出;沥干面条表面水分,称量其质量 ( $m_2$ ),按照式 (1) 计算挂面烹调吸水率 (Cooking absorption ratio, CAR, %)。

然后将不锈钢盆中面汤继续在电磁炉上加热蒸发至近干,将不锈钢盆放入烘箱中,105 °C 烘至恒重,称量不锈钢盆和剩余物质总质量 ( $m_3$ ),按照式 (2) 计算样品烹调损失率 (Cooking loss ratio, CLR, %)。每个样品重复测定 3 次。

$$\text{CAR}(\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{CLR}(\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_0 \times (1 - w)} \times 100\% \quad (2)$$

式 (2) 中:  $w$  为干挂面含水率, %。

### 1.3.4 熟挂面质构特性

参照 Liu 等<sup>[21]</sup>的方法,随机抽取 20 根挂面,将挂面煮至最佳煮制时间后,立即捞出,用自来水淋洗 30 s,取 5 根面条并排放置于 TA.XT plus 型物性测定仪载物平台上,测试熟面条质构特性。质构仪参数设定:测定模式为 TPA,探头为 A/LKB-F,测前速度 2 mm/s,测时速度 0.8 mm/s,测后速度 2 mm/s,压缩比 70%,2 次压缩停留间隔 10 s,起点感应力(触发值)为 10 g,数据采集速率为 200 pps。

根据样品质构特征曲线,分析得到硬度、黏着性、弹性、黏聚性、咀嚼度、回复性等 6 个熟挂面 TPA 质构参数。每个样品至少重复测定 3 次。

### 1.4 数据处理分析

采用 Excel 整理数据,用平均值±标准差表示。采用 SPSS 18.0 中的 One-Way ANOVA 和 Multi-Way ANOVA 做处理间方差分析,利用 LSD 法做多重比较分析,差异显著水平为  $p < 0.05$ 。

## 2 结果与讨论

挂面烹调时间、烹调吸水率、烹调损失率、质构特性等烹饪特性与消费者食用感官感受直接相关,是产品质量的重要组成部分,也是消费者评价产品的重要依据。刘锐等<sup>[22]</sup>通过城市居民挂面消费行为及影响因素实证研究表明,产品的口感和配料表/营养成分表是影响消费者挂面和杂粮面购买决策的主要因素。惠

滢等<sup>[17]</sup>研究高温高湿工艺对挂面产品水分含量、色泽、密度、抗弯曲特性等的影响。但关于不同干燥条件下挂面煮制特性、TPA 质构特性等变化并不明确。

### 2.1 不同干燥条件下挂面煮制特性

#### 2.1.1 最佳煮制时间

最佳煮制时间是评价面条烹饪特性的重要指标。消费者通常要求在保证产品质量的同时,最佳煮制时间要尽可能短<sup>[13,14]</sup>。从图 1 可以看出,干燥温度 40 °C 和 60 °C 时,随着干燥相对湿度增加,挂面最佳煮制时间之间没有显著变化;干燥温度 80 °C 时,相对湿度 65% 条件下,挂面最佳煮制时间显著低于 75% 和 85%,而 75% 和 85% 条件之间没有显著差异 ( $p < 0.05$ )。相对湿度 65% 时,随着干燥温度的升高,挂面最佳煮制时间呈现“下降”趋势,干燥温度 60 °C 和 80 °C 条件下挂面最佳煮制时间显著低于 40 °C;相对湿度 75% 和 85% 时,随着干燥温度的升高,挂面最佳煮制时间呈现“先降低后升高”的趋势,60 °C 条件下,挂面最佳煮制时间均显著低于 40 °C 和 80 °C,而 40 °C 和 80 °C 之间没有显著差异 ( $p < 0.05$ )。郭颖和陆启玉<sup>[11]</sup>研究发现,烘干温度 60 °C~100 °C,挂面最佳蒸煮时间随烘干温度升高而延长,与本研究结果一致。60 °C/65% 干燥组合条件下,挂面最佳煮制时间最干,为 314±10 s,显著低于传统干燥工艺组合 40 °C/75% (337±6 s)。

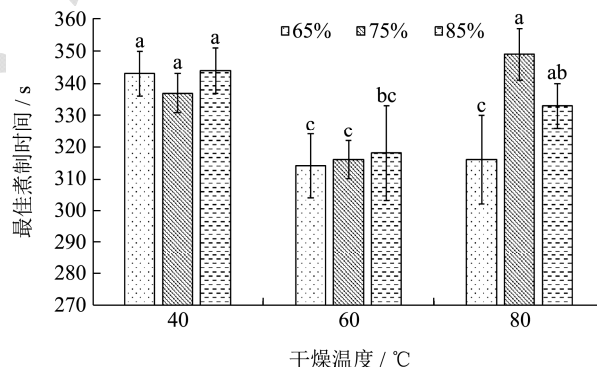


图 1 不同干燥条件下挂面最佳煮制时间

Fig.1 The optimum cooking time of Chinese dried noodle (CDN) under different drying conditions

注:图中不同小写字母表示不同干燥条件下挂面质量特性在  $p < 0.05$  水平上差异显著,下同。

挂面最佳煮制时间主要受挂面吸水特性、面筋网络结构以及淀粉糊化特性等影响。随着干燥温度升高,挂面含水量显著降低,过多的水分蒸发可能会增加面筋网络的孔隙度,从而使得煮面过程热水更容易进入到挂面内部,加速内部淀粉糊化,缩短煮制时间。温度超过 60 °C 后,麦谷蛋白开始产生聚集变性<sup>[17]</sup>。尤其温度升至 80 °C 后,面筋网络结构可能会由于蛋白质

聚集而变得更加致密,使得煮制过程中水分较难进入到挂面内部,从而延长了煮制时间。

### 2.1.2 烹调吸水率

消费者通常希望在煮后挂面产品口感不变的情况下,具有较高的烹调吸水率。不同干燥温度、相对湿度条件下挂面烹调吸水率单因素方差分析结果如图 2 所示。干燥温度 40 ℃和 60 ℃时,随着相对湿度增加,挂面烹调吸水率没有显著变化;干燥温度 80 ℃时,随着相对湿度增加,挂面烹调吸水率呈“下降”趋势,相对湿度 65%条件下挂面烹调吸水率显著高于 85%,与 75%条件下没有显著差异( $p<0.05$ )。相对湿度 65%时,温度 80 ℃条件下,挂面烹调吸水率显著高于 65%和 75%,而 65%和 75%条件下没有显著差异。相对湿度 75%和 85%时,随着干燥温度升高,挂面烹调吸水率没有显著变化( $p<0.05$ )。

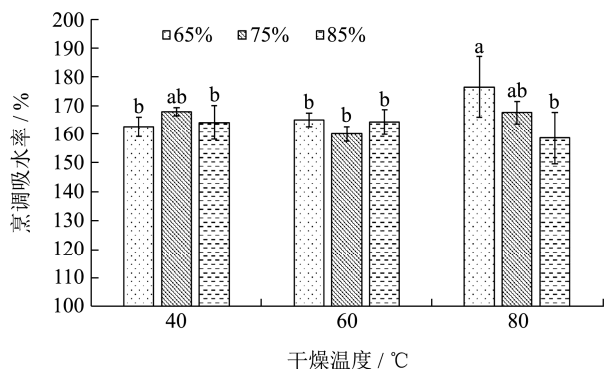


图 2 不同干燥条件下挂面烹调吸水率变化

Fig.2 The cooking absorption ratio of CDN under different drying conditions

### 2.1.3 烹调损失率

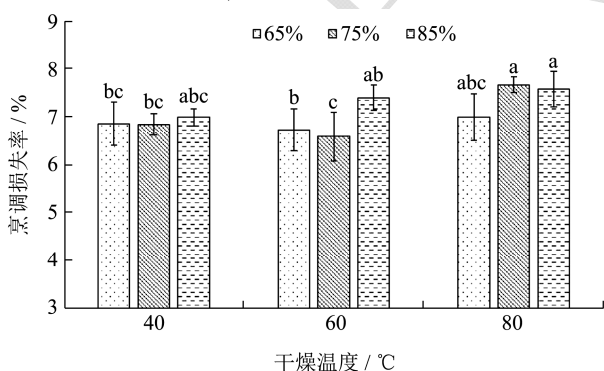


图 3 不同干燥条件下挂面烹调损失率变化

Fig.3 The cooking loss ratio of CDN under different drying conditions

烹调损失率主要用来表征挂面煮制过程干物质的损失情况,与产品口感、质地等密切相关。中国粮食行业标准(LS/T 3212-2014)规定,煮熟后挂面烹调损失率 $\leq 10.0\%$ [20]。本研究中不同干燥条件生产的挂面产品烹调损失率均 $< 8\%$ ,符合标准要求(图 3)。从图

3 可以看出,干燥温度 40 ℃、80 ℃时,随着相对湿度的增加,挂面烹调损失率均没有显著变化;干燥温度 60 ℃时,随着相对湿度的增加,挂面烹调损失率呈现“先降低后升高”的趋势,75%条件下挂面烹调损失率显著低于 65%和 85%,65%和 85%之间没有显著差异( $p<0.05$ )。干燥相对湿度 65%和 85%时,随着干燥温度升高,挂面烹调损失率均没有显著变化;干燥相对湿度 75%时,随着干燥温度升高,挂面烹调损失率呈“升高”趋势,温度 80 ℃条件下,挂面烹调损失率显著高于 40 ℃和 60 ℃,而 40 ℃和 60 ℃条件下没有显著差异( $p<0.05$ ,图 3)。Verbauwhede A E 等[23]研究发现,温度超过 40 ℃,蛋白网络宽度开始下降,60 ℃以上,蛋白网络分枝数增加,超过 75 ℃蛋白网络结构没有明显变化。意大利面干燥过程中,淀粉仍保持它的颗粒状特性[24],但蛋白质在温度超过 60 ℃开始发生交联。当温度提高到 80 ℃以上时,麦谷蛋白和醇溶蛋白的提取率降低[8]。高温条件下,挂面烹调损失率升高,可能是由于挂面表面蛋白质发生聚集,与淀粉颗粒结合能力变弱所致。

## 2.2 不同干燥条件下熟挂面 TPA 质构特性

中国国家标准(GB/T 35875-2018)规定,感官质量较好的面条为色泽亮白或亮黄,表面光滑、有明显的透明质感,弹性好,光滑爽口,软硬合适,具有麦香味[25]。质构仪和粘弹仪对意大利通心面的测定结果和感官评价结果显著相关,TPA 质构特性与挂面产品口感、质地等密切相关,且测定结果不会受到感官评价员主观因素等的影响,是评价挂面质量的重要方法和表征手段[26]。不同干燥温度、相对湿度条件下,挂面产品硬度、黏着性、弹性、黏聚性、咀嚼度、回复性等 TPA 质构特性的单因素方差分析结果见图 4。

### 2.2.1 硬度

干燥温度 40 ℃时,随着相对湿度升高,煮熟挂面硬度呈“下降”趋势,相对湿度 65%条件下,煮熟挂面硬度显著高于 75%和 85%;而 75%和 85%之间没有显著差异;而干燥温度 60 ℃、80 ℃时,随着相对湿度升高,煮熟挂面硬度呈“升高”趋势,相对湿度 85%条件下,硬度显著高于 65%( $p<0.05$ )。干燥相对湿度 65%时,随着干燥温度升高,煮熟挂面硬度呈现“先降低后升高”趋势,温度 60 ℃条件下,煮熟挂面硬度显著低于 40 ℃和 80 ℃;而 40 ℃和 80 ℃之间没有显著差异。干燥相对湿度 75%、85%时,随着干燥温度升高,煮熟挂面硬度呈现“升高”趋势,温度 80 ℃条件下,硬度均显著高于 40 ℃和 60 ℃;而 40 ℃和 60 ℃之间没有显著差异( $p<0.05$ ,图 4a)。

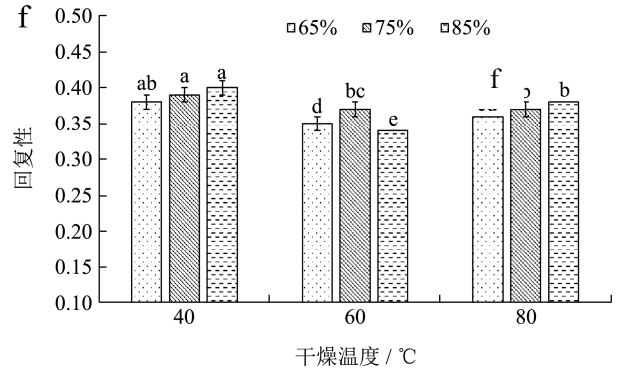
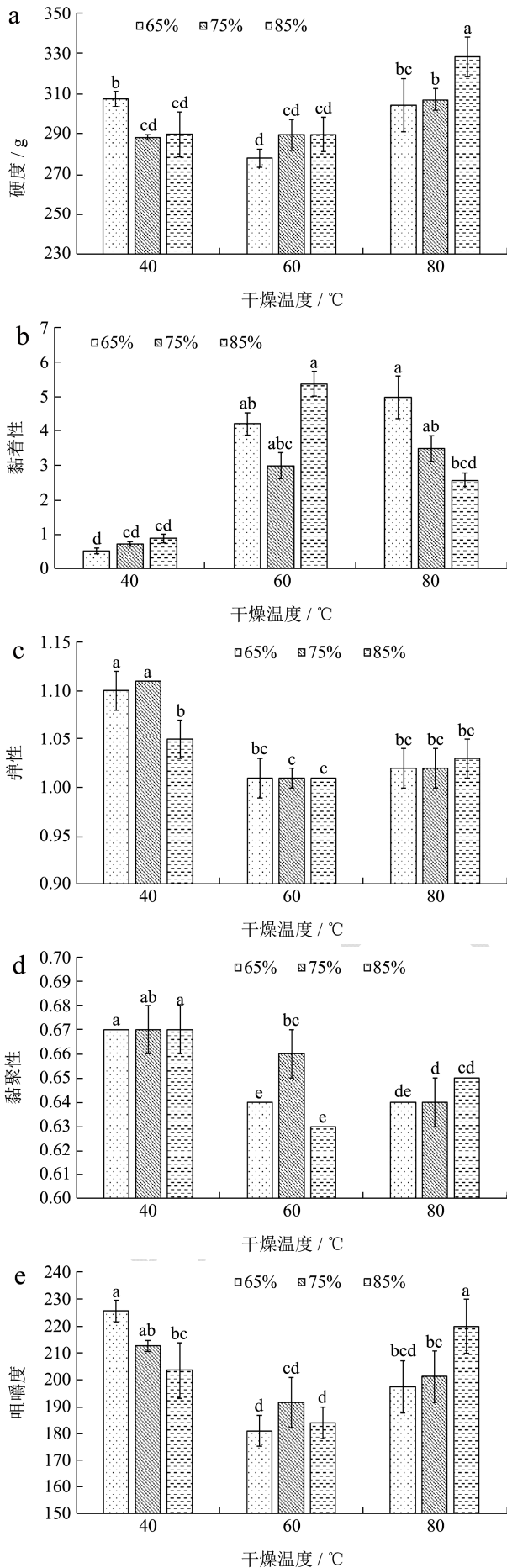


图4 不同干燥条件下挂面TPA质构特性

Fig.4 The TPA quality properties of cooked CDN under different drying conditions

从不同干燥温度、相对湿度组合条件来看, 80 °C /85%组合条件下, 煮熟挂面硬度显著高于其他组合; 60 °C/65%组合条件下, 煮熟挂面硬度最低 ( $p < 0.05$ , 图4a)。

### 2.2.2 黏着性

干燥温度 40 °C、60 °C时, 随着相对湿度升高, 煮熟挂面黏着性没有显著变化。干燥温度 80 °C时, 煮熟挂面黏着性随相对湿度升高而显著降低 ( $p < 0.05$ )。不同干燥相对湿度时, 随着温度升高, 煮熟挂面黏着性均呈“升高”趋势, 干燥温度 60 °C条件下, 黏着性均显著高于 40 °C ( $p < 0.05$ , 图4b)。从不同温湿度组合来看, 40 °C/65%组合条件下, 煮熟挂面黏着性最小; 60 °C/85%和 80 °C/65%条件下, 煮熟挂面黏着性最大 (图4b)。

### 2.2.3 弹性

干燥温度 40 °C时, 相对湿度 85%条件下, 煮熟挂面弹性显著低于 65%和 75%; 而 65%和 75%之间没有显著差异。干燥温度 60 °C、80 °C时, 随着相对湿度升高, 煮熟挂面弹性没有显著变化 ( $p < 0.05$ )。不同干燥相对湿度时, 随着干燥温度升高, 煮后挂面弹性均呈现“先下降后不变”趋势, 40 °C条件下, 煮熟挂面弹性显著高于 60 °C和 80 °C; 而 60 °C和 80 °C之间没有显著差异 ( $p < 0.05$ , 图4c)。

### 2.2.4 黏聚性

干燥温度 40 °C和 80 °C时, 随着相对湿度升高, 煮熟挂面黏聚性之间没有显著变化。干燥温度 60 °C时, 随着相对湿度升高, 煮熟挂面黏聚性呈现“先升高后下降”的趋势, 相对湿度 75%条件下, 黏聚性显著高于 65%和 85%; 而 65%和 85%之间没有显著差异 ( $p < 0.05$ )。不同干燥相对湿度时, 随着干燥温度升高, 煮熟挂面黏聚性均呈现“下降”趋势, 温度 40 °C条件下, 煮熟挂面黏聚性显著高于 60 °C和 80 °C; 而 60 °C和 80 °C之间没有显著差异 ( $p < 0.05$ , 图4d)。

### 2.2.5 咀嚼度

不同干燥温度时,随着相对湿度升高,煮熟挂面咀嚼度变化趋势不尽一致。干燥温度 40 °C 时,相对湿度 65% 条件下,煮熟挂面咀嚼度显著高于 85%,与 75% 条件下没有显著差异。干燥温度 60 °C 时,不同相对湿度条件下,咀嚼度没有显著差异。干燥温度 80 °C 时,相对湿度 85% 条件下,咀嚼度显著高于 65% 和 75%;而 65% 和 75% 条件下没有显著差异 ( $p < 0.05$ , 图 4e)。

不同干燥相对湿度时,随着干燥温度升高,煮熟挂面咀嚼度均呈现“先下降后升高”的趋势。干燥相对湿度 65% 时,温度 40 °C 条件下,煮熟挂面咀嚼度均显著高于 60 °C 和 80 °C;而 60 °C 和 80 °C 之间没有显著差异。相对湿度 75% 时,温度 60 °C 条件下,咀嚼度显著低于 40 °C,与 80 °C 之间没有显著差异。相对湿度 85% 时,不同温度条件下,咀嚼度存在显著差异,60 °C 条件下最低 ( $p < 0.05$ , 图 4e)。

### 2.2.6 回复性

干燥温度 40 °C 时,随着相对湿度增加,煮熟挂面回复性没有显著变化。温度 60 °C 时,不同相对湿度条件下,回复性存在显著差异,相对湿度 75% 条件下回复性最大。温度 80 °C 时,相对湿度 65% 条件下,煮熟挂面回复性显著低于 75% 和 85%;而 75% 和 85% 条件下没有显著差异 ( $p < 0.05$ , 图 4f)。

干燥相对湿度 65% 和 75% 时,随着干燥温度升高,煮熟挂面回复性呈“下降”趋势,干燥温度 40 °C 条件下煮熟挂面回复性均显著高于 60 °C 和 80 °C,而 60 °C 和 80 °C 之间没有显著差异。相对湿度 85% 时,不同温度条件下,回复性存在显著差异,40 °C 条件下回复性最大 ( $p < 0.05$ , 图 4f)。

整体来看,不同干燥温度、相对湿度条件下,挂面产品烹饪特性存在显著差异。60 °C/75% 干燥组合条件下,挂面最佳煮制时间 ( $316 \pm 6$  s)、烹调损失率 ( $6.59 \pm 0.51\%$ ) 均最小;煮熟挂面硬度、弹性、黏聚性、回复性等处于中等水平,与传统工艺条件 (40 °C/75%) 相比,产品烹饪质量有一定程度的提升。郭颖和陆启玉<sup>[11]</sup>研究也认为,烘干温度为 60~70 °C 的挂面品质较好。Mercier 等分析发现,较高的温度可以改善意大利面的烹调特性<sup>[10]</sup>。Padalino 等<sup>[27]</sup>研究表明,意大利面 (spaghetti) 感官质量随干燥温度升高而得到改善,并推测产品烹调特性的改善与淀粉颗粒物理交联和蛋白大聚体的化学交联增加直接相关。Bruneel 等<sup>[5]</sup>指出,干燥过程中商品意大利面中会形成二硫键组成的蛋白质网络结构。干燥过程可以通过增加蛋白的回复性来阻止煮制过程中淀粉膨胀对面条的破坏,进而提高终产品的质量。他还提出干燥和/或煮制过程

中形成一定适合程度的蛋白质网络结构对硬粒小麦生产的意大利面质量至关重要。麦谷蛋白 (Glutein) 在温度超过 60 °C 以后,开始发生一定的聚集反应<sup>[28-30]</sup>。本研究也发现干燥温度达到或超过 60 °C 时,煮后挂面质构特性发生显著变化。这可能是由于温度升高,导致麦谷蛋白发生一系列聚集反应所致。以上这些推测或推理还有待于通过分析蛋白质分子量组成、聚集状态、面筋网络结构变化等做进一步验证。

在实际应用过程中,除了综合考虑温度、相对湿度对产品质量、烹饪特性的影响以外,还要结合干燥设备性能、产量目标、能耗要求,综合考虑和调整干燥工艺参数,以满足工业生产和消费者对产品质量的要求。

## 2.3 多因素方差分析影响挂面烹饪特性的干燥条件

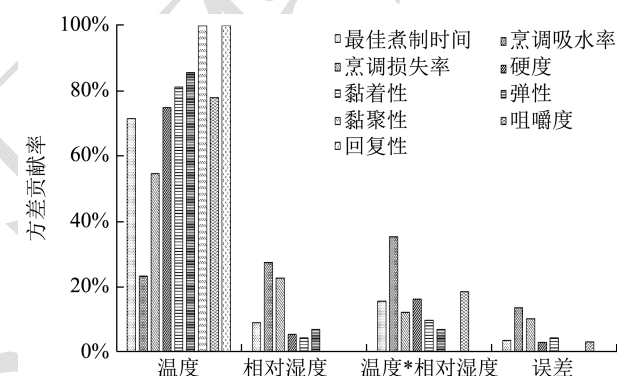


图5 干燥条件及交互作用对挂面烹饪特性的方差贡献率

Fig.5 The contribution rate of each factor to the cooked quality properties of CDN

为进一步了解不同干燥条件对挂面产品烹饪特性的影响,采用多因素方差分析方法,分析温度、相对湿度及其交互作用对挂面产品烹饪特性的影响程度。多因素方差分析结果如表 1、图 4 所示。

从表 1 可以看出,干燥温度对挂面最佳煮制时间、煮熟挂面 TPA 质构特性均有极显著影响 ( $p < 0.01$ )。相对湿度仅对煮后挂面回复性有显著影响。温度和相对湿度交互作用对熟挂面硬度、黏聚性和咀嚼度有显著影响。温度、相对湿度及其交互作用对烹调吸水率和烹调损失率的影响不显著 ( $p < 0.05$ )。

方差贡献率分析结果表明,干燥温度对挂面烹饪特性方差贡献率最大,其次为交互作用及相对湿度。其中,干燥温度对最佳煮制时间、煮后挂面 TPA 质构特性贡献率超过 70%,对挂面烹调损失率贡献超过 50%;温度和相对湿度交互作用对挂面烹调吸水率贡献率最大,为 35.5% (图 5)。



表 1 干燥条件及其交互作用对挂面烹饪特性影响的多因素方差分析

Table 1 Analysis of variance of drying parameters and their interaction on quality characteristics of Chinese dried noodles (CDN)

| 变异来源         | 温度         |            | 相对湿度    |         | 温度×相对湿度 |          | 误差    |       |
|--------------|------------|------------|---------|---------|---------|----------|-------|-------|
|              | 均方         | F 值        | 均方      | F 值     | 均方      | F 值      | 均方    |       |
| 最佳煮制时间       | 1505.808** | 19.439     | 191.097 | 2.467   | 329.419 | 4.253    | 0.016 |       |
| 烹调吸水率        | 59.091     | 1.707      | 69.636  | 2.012   | 89.958  | 2.599    | 0.076 |       |
| 烹调损失率        | 0.836      | 5.292      | 0.348   | 2.204   | 0.188   | 1.193    | 0.352 |       |
| 熟挂面 TPA 质构特性 | 硬度         | 1695.184** | 24.179  | 125.241 | 1.786   | 368.438* | 5.255 | 0.007 |
|              | 黏着性        | 25.667**   | 18.148  | 1.422   | 1.006   | 3.094    | 2.188 | 0.117 |
|              | 弹性         | 0.012**    | 35.273  | 0.001   | 1.594   | 0.001    | 3.681 | 0.026 |
|              | 黏聚性        | 0.001**    | 49.059  | 0.000   | 3.157   | 0.000*   | 5.909 | 0.004 |
|              | 咀嚼度        | 1663.780** | 23.962  | 2.734   | 0.039   | 397.642* | 5.727 | 0.005 |
|              | 回复性        | 0.002**    | 44.123  | 0.000*  | 6.764   | 0.000    | 4.297 | 0.015 |

注: \*表示该因素对某一烹饪特性有显著影响 ( $p<0.05$ ), \*\*表示该因素对某一烹饪特性有极显著影响 ( $p<0.01$ )。

表 2 挂面烹饪质量性状间相关性

Table 2 Correlations between different cooking quality properties of CDN

| 质量性状   | 烹调吸水率  | 烹调损失率  | 硬度     | 黏着性    | 弹性      | 黏聚性     | 咀嚼度    | 回复性     |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 最佳煮制时间 | -0.138 | 0.397  | 0.391  | 0.700* | 0.560   | 0.575   | 0.697* | 0.760*  |
| 烹调吸水率  |        | -0.024 | -0.142 | -0.342 | -0.035  | -0.294  | -0.200 | -0.178  |
| 烹调损失率  |        |        | 0.627* | -0.266 | -0.266  | -0.454  | 0.160  | -0.138  |
| 硬度     |        |        |        | 0.105  | 0.063   | -0.072  | 0.682* | 0.165   |
| 黏着性    |        |        |        |        | 0.851** | 0.966** | 0.757* | 0.940** |
| 弹性     |        |        |        |        |         | 0.777*  | 0.753* | 0.737*  |
| 黏聚性    |        |        |        |        |         |         | 0.610* | 0.915** |
| 咀嚼度    |        |        |        |        |         |         |        | 0.720*  |

注: \*表示性状间相关性达到显著水平 ( $p<0.05$ ); \*\*表示性状间相关性达到极显著水平 ( $p<0.01$ )。

## 2.4 挂面产品烹饪特性间相关性

从表 2 可以看出, 挂面最佳煮制时间与煮后挂面黏着性、黏聚性、咀嚼度和回复性均呈显著正相关关系。烹调损失率仅与煮后挂面硬度呈显著正相关关系。烹调吸水率与煮后挂面质构特性不相关。熟挂面 TPA 质构特性之间存在显著或极显著正相关。

## 3 结论

3.1 不同干燥温度、相对湿度条件下, 挂面煮制特性、TPA 质构特性等烹饪特性存在显著差异。随着干燥温度、相对湿度升高, 挂面烹饪特性变化趋势不尽一致。

3.2 温度是影响挂面烹饪特性的主要因素, 其次为交互作用, 以及相对湿度。干燥温度对挂面最佳煮制时间、熟挂面质构特性等有极显著影响, 方差贡献率超过 70%; 交互作用对烹调吸水率、硬度、黏聚性、咀嚼度等有显著影响, 对烹调吸水率方差贡献率最大; 相对湿度仅对回复性有显著影响。

3.3 与传统干燥工艺条件 (40 °C/75%) 相比, 干燥

组合 60 °C/75%条件下, 挂面最佳煮制时间、弹性、咀嚼度显著下降, 黏着性显著升高, 其余烹饪特性无显著差异 ( $p<0.05$ ), 产品整体烹饪质量得到一定程度的改善或提高。本研究结果可以为挂面干燥工艺设计与优化、产品质量控制提供参考。

## 参考文献

- [1] 武亮,张影全,王振华,等.挂面干燥工艺过程研究进展及展望[J].中国粮油学报,2017,32(7):133-140  
WU Liang, ZHANG Ying-quan, WANG Zhen-hua, et al. Review of research advance about drying process of Chinese dried noodle [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(7): 133-140
- [2] Padalano L, Caliandro R, Chita G, et al. Study of drying process on starch structural properties and their effect on semolina pasta sensory quality [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 153: 229-235
- [3] Mercier S, Marcos B, Moresoli C, et al. Modeling of internal moisture transport during durum wheat pasta drying [J].

- Journal of Food Engineering, 2014, 124: 19-27
- [4] Ogawa T, Kobayashi T, Adachi S. Prediction of pasta drying process based on a thermogravimetric analysis [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111(1): 129-134
- [5] Bruneel C, Pareyt B, Brijs K, et al. The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products [J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 371-378
- [6] De Temmerman J, Verboven P, Nicolai B, et al. Modelling of transient moisture concentration of semolina pasta during air drying [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 892-903
- [7] Villeneuve S, Gelinas P. Drying kinetics of whole durum wheat pasta according to temperature and relative humidity [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(3): 465-471
- [8] Zweifel C, Handschin S, Escher F, et al. Influence of high-temperature drying on structural and textural properties of durum wheat pasta [J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(2): 159-167
- [9] Inazu T, Iwasaki K, Furuta T. Effect of temperature and relative humidity on drying kinetics of fresh Japanese noodle (udon) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2002, 35(8): 649-655
- [10] Mercier S, Moresoli C, Mondor M, et al. A meta-analysis of enriched pasta: what are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta? [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, 15(4): 685-704
- [11] 郭颖,陆启玉.高温烘干挂面品质研究[J].粮食与油脂,2014, 11:35-38  
GUO Ying, LU Qi-yu. Research on the quality of vermicelli of the high temperature drying [J]. Cereals & Oils, 2014, 27(11): 35-38
- [12] 王春,高飞,陈洁,等.温度对挂面干燥工艺品质的影响[J].粮食与饲料工业,2010,6:33-35  
WANG Chun, GAO Fei, CHEN Jie, et al. Effect of temperature on the quality of vermicelli drying [J]. Cereal & Feed Industry, 2010, 6: 33-35
- [13] 沈群.挂面生产配方与工艺[M].北京:化学工业出版社,2008  
SHEN Qun. Chinese Dried Noodles Production Formula and Process [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008
- [14] 陆启玉.挂面生产工艺与设备[M].北京:化学工业出版社, 2007  
LU Qi-yu. Chinese Dried Noodles Production Process and Equipment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [15] 魏益民,王杰,张影全,等.挂面的干燥特性及其与干燥条件的关系[J].中国食品学报,2017,17(1):62-68  
WEI Yi-min, WANG Jie, ZHANG Ying-quan, et al. Relations between drying characteristics and drying conditions of Chinese dried noodle [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(1): 62-68
- [16] 王杰,张影全,刘锐,等.挂面干燥工艺研究及其关键参数分析[J].中国粮油学报,2014,29(10):88-93  
WANG Jie, ZHANG Ying-quan, LIU Rui, et al. The drying process and its key parameters of chinese dried noodle [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(10): 88-93
- [17] 惠滢,张影全,张波,等.高温、高湿干燥工艺对挂面产品特性的影响[J].中国食品学报,2019,19(10):117-125  
HUI Ying, ZHANG Ying-quan, ZHANG Bo, et al. Effects of high temperature and relative humidity drying technology on the product properties of Chinese dried noodles [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(10): 117-125
- [18] 魏益民,张影全,张波,等.一种物料挥发性物质的动态分析装置[P].ZL201410418889.5  
WEI Yi-min, ZHANG Ying-quan, ZHANG Bo, et al. A dynamic analysis device for volatile substances in materials [P]. ZL201410418889.5
- [19] AACCI 66-50. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemistry [S]. 2000, Saint Paul, MN: AACC
- [20] LS/T 3212-2014 中华人民共和国粮食行业标准挂面[S]  
LS/T 3212-2014 Food Industry Standards of the People's Republic of China Dried Noodle [S]
- [21] Liu R, Wei Y M, Xing Y N, et al. Sensory quality and physico-chemical properties of three types of commercial dried Chinese noodles [J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2016, 10(4): 262-269
- [22] 刘锐,王旭琳,路雪蕊,等.城市居民挂面消费行为及影响因素的实证研究-基于成都市消费者的调查[J].中国食物与营养,2017,23(8):50-54  
LIU Rui, WANG Xun-lin, LU Xue-rui, et al. Empirical research on consumption behavior and influencing factors of dried noodle of urban residents - a case study on Chengdu city [J]. Food and Nutrition in China, 2017, 23(8): 50-54
- [23] Verbaauwhede A E, Lambrecht M A, Jekle M, et al. Microscopic investigation of the formation of a thermoset wheat gluten network in a model system relevant for bread making [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(2): 891-898 (下转第 275 页)