

张乐道,吕俊丽,李俊芳,等.加水温度和蒸制时间对莜麦面面条水分状态和质构特性的影响[J].食品工业科技,2021,42(12): 19–23.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080201

ZHANG Ledao, LV Junli, LI Junfang, et al. Effects of Water Temperature and Steaming Time on Water State and Textural Characteristics of Naked Oats Noodles [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 19–23. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080201

· 研究与探讨 ·

加水温度和蒸制时间对莜麦面面条水分状态和质构特性的影响

张乐道¹,吕俊丽¹,李俊芳¹,曾又华²,任广跃²,马立²

(1.内蒙古科技大学生命科学与技术学院,内蒙古包头 014010;
2.河南科技大学食品与生物工程学院,河南洛阳 471023)

摘要:本文探讨加水温度和蒸制时间对莜麦面面条水分状态和质构特性的影响,旨在找到莜麦面面条制作工艺的关键参数。利用低场核磁共振技术和食品物性仪得到面条的水分状态和质构特性参数,研究了加水温度和蒸制时间对莜麦面面条水分状态和质构特性的影响。结果表明:加水温度和蒸制时间不改变面条中水分的主要存在形式,且水分的主要存在形式是弱结合水;提高加水温度使面条中深层结合水减少并向弱结合水和自由水方向迁移。加水温度由 70 °C 升高到 90 °C 的过程中,自由水含量先增加后减小, A_{23} 由 5.14% 增加到 11.2% 后减小至 10.4%。当蒸制时间从 6 min 增加到 10 min 时, A_{22} 值和 A_{23} 值先升高后降低, A_{22} 和 A_{23} 最大值分别为 77.85% 和 10.67%,且对应的蒸制时间均为 9 min。当加水温度从 70 °C 升高到 90 °C 时,硬度、黏着性、回复性逐渐减小,弹性、黏聚性逐渐增大,咀嚼性先减小后增大。当蒸制时间从 6 min 升高到 10 min 时,硬度、黏着性、咀嚼性、回复性先增大后减小,弹性、黏聚性先减小后增大。本研究结果为莜麦面面条的规模化生产提供一定的理论依据。

关键词:莜麦面面条,加水温度,蒸制时间,水分状态,质构特性

中图分类号:TS201.1 文献标识码:A 文章编号:1002-0306(2021)12-0019-05

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080201

Effects of Water Temperature and Steaming Time on Water State and Textural Characteristics of Naked Oats Noodles

ZHANG Ledao¹, LV Junli¹, LI Junfang¹, ZENG Youhua², REN Guangyue², MA Li²

(1. School of Life Science and Technology, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;

2. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China)

Abstract: The effects of water temperature and steaming time on water state and textural characteristics of naked oats noodles were discussed in this paper, and the aim of this paper was to found critical parameters of naked oats noodles making technology. Water temperature and steaming time were the two critical important parameters for naked oats noodles making. The water state and the texture properties of noodles were obtained by low-field nuclear magnetic resonance and the textural analyzer, respectively. The effects of water temperature and steaming time on the water state and texture properties of naked oats noodles were studied. The results showed that the change of water temperature and steaming time could not change the main form of water in noodles, and the main form of water was weakly bound water, and the increasing of water temperature led to the decrease of the bound water in noodles and make the binding water migrated to the weak binding water and free water. In the process of water temperature rising from 70 °C to 90 °C, the free water content increased first and then decreased, A_{23} increased from 5.14% to 11.2% and then decreased to 10.4%. When the steaming time increased from 6 min to 10 min, the value of A_{22} and A_{23} increased first and then decreased, the maximum

收稿日期: 2020-08-21

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目计划 (20A550006)。

作者简介: 张乐道 (1984-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: nmzld2005@126.com。

value of A_{22} and A_{23} was 77.85% and 10.67%, respectively, and the steaming time corresponding to the maximum value of A_{22} and A_{23} was 9 min. When water temperature increased from 70 °C to 90 °C, the hardness, adhesiveness, and resilience were gradually decreasing, the springiness and cohesiveness were gradually increasing, and the chewiness was decreasing first and then increasing. When the steaming time increased from 6 min to 10 min, the hardness, adhesiveness, chewiness, and resilience were increasing first and then decreasing, springiness and cohesiveness were decreasing first and then increasing. The results of this paper would provide the theoretical basis for the large-scale production of naked oats noodles.

Key words: naked oats noodles; water temperature; steaming time; water state; textural property

莜面是将裸燕麦炒制、磨粉后制得的,具有降血糖和降血脂的功效^[1],是内蒙古中西部地区的传统主粮。在当地,人们大多将莜面与水和成面团、制成面条后蒸熟食用。为了获得较好的品质,人们用沸水和面并需控制蒸制时间。若和面用水温度较低,最终蒸制好的面条缺乏弹性、硬度较大;蒸制时间短,面条不能蒸熟,但若蒸制时间太长,面条软塌、变形、发黏,品质变差。其中的机理,目前还未见相关研究报道。

质构特性是面制品品质的重要参数^[2-4]。水分状态是影响食品产品品质的关键因素,近年来受到广泛关注^[5-8]。李雪琴等^[9]研究了加水温度对烫面蒸饼水分分布状态的影响,发现加水温度改变烫面蒸饼中结合水的含量,随着加水温度的升高,烫面蒸饼结合水含量先降低后升高。可见,加水温度高可改变熟面制品中的水分存在形式。Bosmans 等^[10]利用低场核磁技术 Carr-Purcell-Meiboom-Gill(CPMG)脉冲序列研究了淀粉-水、面粉-水体系的水分状态及其变化。研究发现,温度对面粉-水体系水分状态的改变是由淀粉凝胶化引起的。升高加水温度可显著改变如面类等高淀粉制品的感官品质,但对其机理的研究很少。Ko 等^[11]的研究表明加水温度能显著影响米线的质构特性。目前,质构特性经常被作为面条品质的评价指标^[12-13]。Li 等^[14]研究了蒸制时间对中国北方馒头水分迁移和结构特性的影响。Zohoun 等^[15]研究了改变蒸制时间时的大米物化特性和营养特性,发现改变蒸制时间可显著改变大米的硬度和黏性。至今尚未见到蒸制时间改变蒸面条质构特性的研究。

加水温度和蒸制时间是莜麦面面条品质的决定性因素,一直以来,未见到这两个因素对莜麦面面条品质影响的相关研究,对莜麦面面条品质改变的机理研究亦是空白。本论文采用低场核磁共振成像分析仪和食品物性仪测得莜面面条的水分分布状态和质构特性,旨在研究加水温度和蒸制时间变化时莜面面条的水分分布状态和质构特性,以期为莜面面条的规范化生产提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

莜面 内蒙古蒙清农业科技开发有限责任公司。
NMI20-015V-I 低场核磁共振成像分析仪 上海纽迈电子科技有限公司; TA.XT EXPRESS 食品物

性仪 英国 Stable Micro Systems 公司; KQ-500DE 数控超声波清洗机 昆山市超声仪器有限公司; FKM-20 压面条机 永康市炫林工贸有限公司; C21-SDHCB46 电磁炉 浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司。

1.2 面条的制备

称取莜面 50 g,置于不锈钢面盆中,加入 50 g 的热水,手工和面 3 min,成均匀面团,放入保鲜袋,室温静置 10 min,将面团用压面机压延两次,压成 3 mm 厚的面片,再切成 3 mm 宽的面条,将湿面条切割成 20 cm 长,放入蒸锅蒸熟,取出冷却 5 min,即得到试样面条。将装有 50 g 水的锥形瓶盖好盖子并置于石棉网上加热,直至水沸腾,沸水放置至指定温度即为热水,热水的温度即为加水温度,加水温度分别为 70、75、80、85、90 °C。将面条放入蒸锅后,从蒸锅出气孔冒烫手蒸汽开始计时,打开锅盖停止计时,出气孔冒汽时长作为蒸制时间,蒸制时间分别为 6、7、8、9、10 min。蒸制时间单因素实验时,加水温度固定为 85 °C。加水温度单因素实验时,蒸制时间固定为 10 min。

1.3 LF-NMR 分析

称取面条 0.5 g 于核磁试管中,置于永久磁场中心位置,对样品进行脉冲序列扫描,测定样品的自旋-自旋弛豫时间,每个样品做 3 次平行试验。受到外界瞬间扰动后,系统重新恢复到原平衡状态需要的时间为弛豫时间,记为 T_2 ,值越小,水与底物结合越紧密,值越大,水分自由度越大。按照从小到大的顺序,分别记作 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} ,意义分别是深层结合水、弱结合水和自由水^[16]。

设置参数如下:采样频率 SW=200.00 kHz,采样点数(TD)72008,采样间隔时间(TW)300 ms,回波时间(Echo time)180 μs,回波个数(Echo count)2000,累加次数(NS)64。扫描结束后根据 SIRT 方式进行反演得出反演谱图和 T_2 值。谱图中不同波峰代表不同的水分状态,各峰积分面积占总峰面积的百分比表示面条中不同形态水分的相对含量,分别记为 A_{21} 、 A_{22} 和 A_{23} ^[16]。

1.4 面条质构的测定

将蒸制后的面条于室温下静置 5 min,取 6 根面条并排放在测试台上,用 P/36R 探头在 TPA 模式下测定。TPA 测试参数:测前速率 2.0 mm/s,测中速率 0.8 mm/s,测后速率 1.0 mm/s,压缩程度 50%,停

留时间 5 s, 触发力 5 g。每组进行 6 次平行试验^[17], 得到硬度、黏着性、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性等参数。

1.5 数据分析

利用 Excel 2013 整理数据, 各试验结果用平均值±标准偏差表示, 数据在 $P<0.05$ 水平上的显著性采用 SPSS 25.0 软件中的 Duncan 分析。

2 结果与分析

2.1 加水温度对面条水分分布状态的影响

莜麦面面条中的膳食纤维、淀粉、蛋白质都在争夺可用的水, 使得水在生物分子之间重新分配^[18]。 T_2 值越小, 表明水与底物结合越紧密, 越大表明水分自由度越大^[19]。图 1 为蒸制时间 10 min, 在不同加水温度下由莜麦粉制作的面条的 T_2 反演图, 图 1 中每条曲线都有 3 个明显的波峰, 表明面条中水分存在的 3 种状态。峰 1 代表深层结合水, 峰 2 代表弱结合水, 峰 3 代表自由水。其中, T_{22} 的峰为主峰, 说明面条中的水分主要以弱结合水的形式存在。

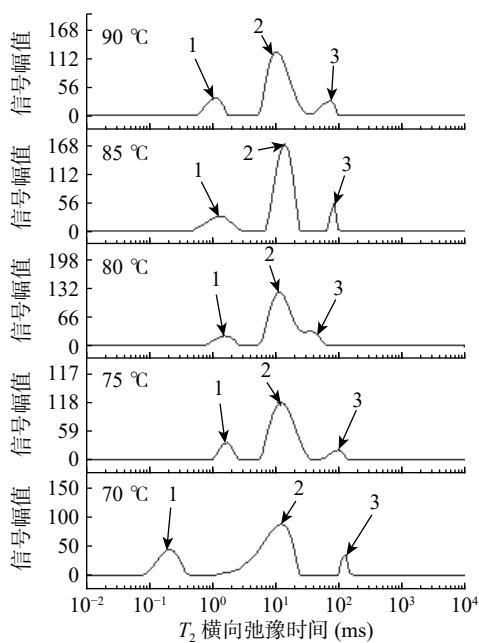


图 1 莜麦面面条水分横向弛豫时间 T_2 反演图

Fig.1 Water inversion results of transverse relaxation time T_2 in naked oats noodles

表 1 为蒸制时间 10 min, 加水温度改变时莜麦面面条水分弛豫时间 T_2 和峰面积占比的变化。

表 1 蒸制时间 10 min 时莜麦面面条水分弛豫时间 T_2 和峰面积占比的变化

Table 1 Changes of relaxation time T_2 and peak areas of naked oats noodles when the steaming time is 10 min

| 加水温度(°C) | T_{21} (ms) | T_{22} (ms) | T_{23} (ms) | A_{21} (%) | A_{22} (%) | A_{23} (%) |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 70 | 0.22±0.02 ^d | 12.33±0 ^b | 132.19±2.01 ^a | 22.62±0.82 ^a | 72.24±1.32 ^d | 5.14±0.15 ^d |
| 75 | 1.75±0.08 ^a | 12.33±0 ^b | 100±1.65 ^b | 13.18±0.73 ^c | 78.78±1.28 ^a | 8.04±0.19 ^c |
| 80 | 1.52±0.06 ^b | 12.34±0.76 ^b | 37.65±0.93 ^d | 11.02±0.54 ^d | 77.78±1.35 ^b | 11.20±0.21 ^a |
| 85 | 1.32±0.04 ^c | 14.18±0.52 ^a | 66.98±1.62 ^c | 17.09±0.61 ^b | 75.43±0.89 ^c | 7.48±0.09 ^c |
| 90 | 1.15±0.05 ^c | 10.72±0.48 ^c | 75.65±1.18 ^{bc} | 14.96±0.52 ^c | 74.64±0.76 ^d | 10.4±0.31 ^b |

注: 同一列中不同字母代表数据间具有显著性差异($P<0.05$); 表2~表4同。

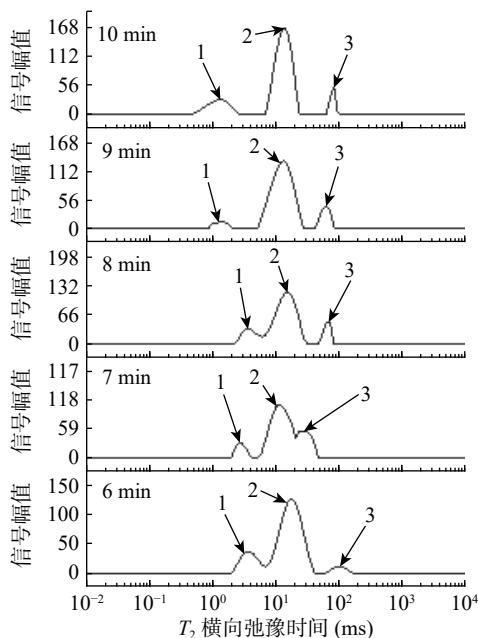
加水温度 70 °C 的 T_{21} 值显著($P<0.05$)低于加水温度 75~90 °C 的。加水温度从 70 °C 升高到 80 °C 时, T_{22} 值没有显著变化($P<0.05$)。加水温度从 70 °C 升高到 90 °C 时, T_{23} 值先减小后增加。加水温度的变化会改变面条中的水分自由度, 这是因为热水温度升高引起面团中面筋网格结构的变化, 从而影响面条对水分的束缚能力。

当加水温度从 70 °C 升高到 90 °C 时, T_2 值对应峰面积占比变化显著($P<0.05$), 弱结合水 A_{22} 值最大。加水温度 70 °C 的 A_{21} 值高于加水温度 75~90 °C 的。提高加水温度会使面条中深层结合水减少并向弱结合水和自由水方向迁移。当加水温度从 70 °C 升高到 90 °C 时, A_{22} 值和 A_{23} 值均先升高后降低, A_{22} 和 A_{23} 峰值对应的加水温度分别为 75 °C 和 80 °C。这与文献 [9] 中随着加水温度的升高, 自由水含量先增加后减小的结果一致。在文献 [9] 中, 通过扫描电镜观察发现, 随加水温度升高, 淀粉颗粒变形加剧并逐渐暴露于凝固的蛋白结构之外, 直至与凝固的蛋白融为一体, 当加水水温达到 90 °C 时, 淀粉颗粒完全糊化成为片状, 与蛋白质骨架紧密结合在一起。提高加水温度使面团中的淀粉、蛋白的结构发生变化, 进而改变了水分子的水合形式。

2.2 蒸制时间对面条水分分布状态的影响

Li 等^[14]的研究表明, 随着蒸制时间的延长, 若 T_{21} 的值变大, 说明凝胶化作用持续强化且水分逐渐变得易于移动。图 2 为加水温度 85 °C 时, 在不同蒸制时间下莜麦粉面条的 T_2 反演图。从图中可以看出, 面条中的水分主要以弱结合水的形式存在。

表 2 给出了加水温度 85 °C 时, 蒸制时间改变时莜麦面面条水分弛豫时间 T_2 和峰面积占比的变化。从表中可以看出, 蒸熟面条中的水分主要以弱结合水的形式存在。这一结果与文献 [14] 中在蒸熟的小麦面馒头中, 弱结合水的含量最高的结果一致。当蒸制时间从 6 min 增加到 10 min 时, T_{21} 的值先增大后减小, 水分自由度先增大后减小; T_{22} 值和 T_{23} 值均先减小后增大。文献 [15] 的研究表明, 蒸制时间增加可提高大米中淀粉的凝胶化程度, 淀粉是否能够凝胶化与蛋白质相关。增加蒸制时间改变了面条的凝胶化程度, 从而改变面条对水分的束缚能力。与蒸制前(蒸制时间 0 min)相比, 蒸制后面条的 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 均明显增大。其中, T_{21} 的值由 0.248 增加到

图2 面条水分横向弛豫时间 T_2 反演瀑布图(加水温度 85 °C)Fig.2 Water transverse relaxation time T_2 inversion waterfall diagram of noodle (and water temperature 85 °C)

2.31, 增加了 831%, 增幅最大; T_{23} 的值由 18.74 增加到 86.98, 增加了 364%, 增幅最小。可见, 蒸制使面条中深层结合水、弱结合水和自由水的自由度加大。

从 T_2 值对应峰面积百分比可以看出, 当蒸制时间从 6 min 增加到 9 min 时, 延长蒸制时间会使面条中深层结合水减少并向弱结合水和自由水方向迁移, 若蒸制时间继续延长至 10 min, 则弱结合水和自由水向深层结合水方向迁移并使得深层结合水含量增加。从表 2 中还可以看出, 当蒸制时间从 6 min 增加到 10 min 时, A_{22} 值和 A_{23} 值均先升高后降低, A_{22} 和 A_{23} 最大值对应的蒸制时间均为 9 min。Li 等^[14]研究馒头的蒸制过程, 发现蒸制时间达到

8 min 时, 馒头的凝胶化过程结束, 这是因为再延长蒸制时间, 深层结合水的弛豫时间和相对含量仍保持不变。这与蒸制过程中馒头的组织状态变化一致, 延长蒸熟馒头的蒸制时间并不会使馒头塌陷或者出现膨大等组织状态的改变。蒸制前(蒸制时间 0 min), 荞麦面条中水分主要以自由水的形式存在。蒸制后, 荞麦面条中水分主要以弱结合水的形式存在。蒸制使荞麦面条中水分由自由水向弱结合水形式转变。

2.3 加水温度对面条质构的影响

表 3 给出了蒸制时间 10 min 时, 不同加水温度下荞麦面面条质构特性包括硬度、黏着性、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性等的变化。从表中可以看出, 当加水温度从 70 °C 升高到 90 °C 时, 硬度、黏着性、回复性逐渐减小, 弹性、黏聚性逐渐增大, 咀嚼性先减小后增大。文献 [11] 的研究发现, 加水温度为 80 °C 时会使米粉的弹性增加, 黏聚性增大, 使用 80 °C 的热水和面会增加口感。这与文献 [11] 中加水温度升高会使米粉黏聚性增加的结论一致。

2.4 蒸制时间对面条质构的影响

表 4 给出了加水温度 85 °C 时, 不同蒸制时间下荞麦面面条质构特性包括硬度、黏着性、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性等的变化。从表 4 中可以看出, 当蒸制时间从 6 min 升高到 10 min 时, 硬度、黏着性、咀嚼性、回复性先增大后减小, 峰值对应的蒸制时间均为 8 min; 弹性、黏聚性先减小后增大, 最低值对应的蒸制时间分别为 8 和 7 min; 蒸制使面条的硬度、黏着性和回复性显著降低, 使面条的弹性、黏聚性和咀嚼性显著升高($P<0.05$)。该结果与蒸制后面条富有弹性、不粘牙、咀嚼口感好的感官表现相一致。

3 结论

将荞面与水混合和成面团、制成生面条, 生面条蒸熟后制得荞麦面面条。以水分状态和质构特性为

表2 加水温度 85 °C 时荞麦面面条水分弛豫时间 T_2 和峰面积占比的变化Table 2 Changes of relaxation time T_2 and peak areas of naked oats noodles when the water temperature is 85 °C

| 蒸制时间(min) | $T_{21}(\text{ms})$ | $T_{22}(\text{ms})$ | $T_{23}(\text{ms})$ | $A_{21}(\%)$ | $A_{22}(\%)$ | $A_{23}(\%)$ |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0 | $0.248\pm 0.02^{\text{e}}$ | $2.656\pm 0.12^{\text{c}}$ | $18.738\pm 1.07^{\text{d}}$ | $8.82\pm 0.32^{\text{d}}$ | $13.94\pm 1.26^{\text{d}}$ | $77.24\pm 1.05^{\text{a}}$ |
| 6 | $2.01\pm 0.11^{\text{b}}$ | $8.11\pm 0.41^{\text{b}}$ | $57.22\pm 1.98^{\text{b}}$ | $19.78\pm 0.21^{\text{a}}$ | $73.77\pm 1.22^{\text{c}}$ | $6.45\pm 0.06^{\text{d}}$ |
| 7 | $2.01\pm 0.15^{\text{b}}$ | $5.34\pm 0.25^{\text{b}}$ | $54.63\pm 1.86^{\text{b}}$ | $16.72\pm 0.35^{\text{b}}$ | $74.97\pm 1.35^{\text{c}}$ | $8.31\pm 0.26^{\text{c}}$ |
| 8 | $2.31\pm 0.12^{\text{a}}$ | $7.06\pm 0.32^{\text{b}}$ | $49.77\pm 1.12^{\text{c}}$ | $14.97\pm 0.48^{\text{c}}$ | $75.62\pm 0.98^{\text{b}}$ | $9.42\pm 0.36^{\text{c}}$ |
| 9 | $1.52\pm 0.07^{\text{c}}$ | $14.18\pm 0.92^{\text{a}}$ | $65.79\pm 2.51^{\text{ab}}$ | $11.48\pm 0.19^{\text{c}}$ | $77.85\pm 0.83^{\text{a}}$ | $10.67\pm 0.53^{\text{b}}$ |
| 10 | $1.32\pm 0.04^{\text{d}}$ | $14.18\pm 0.52^{\text{a}}$ | $86.98\pm 1.62^{\text{a}}$ | $17.09\pm 0.61^{\text{b}}$ | $75.43\pm 0.89^{\text{b}}$ | $7.48\pm 0.09^{\text{cd}}$ |

表3 加水温度不同时荞麦面面条 TPA 特性测定结果

Table 3 Determination results of naked oats noodles under different water temperature

| 加水温度(°C) | 硬度(g) | 黏着性(g·s) | 弹性 | 黏聚性 | 咀嚼性 | 回复性 |
|----------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 70 | $3684.03\pm 358.68^{\text{a}}$ | $8.52\pm 0.65^{\text{a}}$ | $0.81\pm 0.08^{\text{c}}$ | $0.73\pm 0.05^{\text{a}}$ | $2031.73\pm 129.74^{\text{a}}$ | $0.47\pm 0.03^{\text{a}}$ |
| 75 | $3221.27\pm 311.60^{\text{b}}$ | $8.03\pm 0.85^{\text{a}}$ | $0.85\pm 0.04^{\text{bc}}$ | $0.73\pm 0.07^{\text{a}}$ | $1737.23\pm 157.50^{\text{c}}$ | $0.46\pm 0.03^{\text{b}}$ |
| 80 | $2821.45\pm 281.36^{\text{c}}$ | $6.77\pm 0.85^{\text{b}}$ | $0.89\pm 0.05^{\text{b}}$ | $0.74\pm 0.08^{\text{a}}$ | $1748.18\pm 212.38^{\text{c}}$ | $0.44\pm 0.05^{\text{b}}$ |
| 85 | $2590.71\pm 243.28^{\text{c}}$ | $2.65\pm 0.49^{\text{c}}$ | $0.92\pm 0.06^{\text{b}}$ | $0.75\pm 0.06^{\text{a}}$ | $1805.48\pm 123.51^{\text{b}}$ | $0.43\pm 0.06^{\text{b}}$ |
| 90 | $2352.31\pm 292.77^{\text{c}}$ | $2.35\pm 0.48^{\text{c}}$ | $0.98\pm 0.11^{\text{a}}$ | $0.75\pm 0.05^{\text{a}}$ | $1815.49\pm 197.01^{\text{b}}$ | $0.42\pm 0.04^{\text{b}}$ |

表 4 蒸制时间不同时莜麦面面条 TPA 特性测定结果

Table 4 Determination results of TPA characteristics of naked oats noodles under different steaming time

| 蒸制时间(min) | 硬度(g) | 黏着性(g·s) | 弹性 | 黏聚性 | 咀嚼性 | 回复性 |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| 0 | 5170.26±182.76 ^a | 178.97±12.28 ^a | 0.60±0.05 ^b | 0.33±0.12 ^c | 1316.67±95.16 ^c | 0.08±0.02 ^b |
| 6 | 2750.92±173.11 ^c | 9.30±0.86 ^d | 0.92±0.03 ^a | 0.73±0.02 ^a | 1835.18±117.18 ^{ab} | 0.42±0.02 ^a |
| 7 | 3046.54±309.70 ^b | 10.47±0.97 ^c | 0.87±0.12 ^a | 0.61±0.12 ^b | 1962.99±151.84 ^{ab} | 0.44±0.01 ^a |
| 8 | 3588.58±295.55 ^b | 13.04±1.01 ^b | 0.86±0.05 ^a | 0.69±0.05 ^b | 2224.68±128.07 ^a | 0.46±0.04 ^a |
| 9 | 3241.55±211.11 ^b | 9.73±0.73 ^d | 0.88±0.04 ^a | 0.69±0.03 ^b | 2139.13±156.24 ^a | 0.44±0.03 ^a |
| 10 | 2590.71±203.28 ^c | 6.77±0.45 ^e | 0.89±0.06 ^a | 0.71±0.06 ^a | 1660.48±103.51 ^b | 0.43±0.06 ^a |

指标, 研究了加水温度和蒸制时间对莜麦面面条水分状态和质构特性的影响规律。结果表明: 面条中的水分主要以弱结合水的形式存在, 含量在 72.24% 以上; 提高加水温度可使莜麦面面条水分自由度增大, 使面条中深层结合水减少并向弱结合水和自由水方向迁移; 随着加水温度的升高, 自由水含量先增加后减小, A_{23} 由 5.14% 增加到 11.2% 后减小至 10.4%; 蒸制过程中, T_{21} 和 A_{21} 的值持续变化; 当加水温度从 70 °C 升高到 90 °C 时, 硬度、黏着性、回复性逐渐减小, 弹性、黏聚性逐渐增大, 咀嚼性先减小后增大; 当蒸制时间从 6 min 升高到 10 min 时, 硬度、黏着性、咀嚼性、回复性先增大后减小, 弹性、黏聚性先减小后增大。研究结果有望为莜麦面面条的工业化提供实验数据和理论基础。

参考文献

- [1] 薛联钰, 薛森, 王雪, 等. 添加苦荞黄酮提取物的裸燕麦挤压膨化产品抗氧化及降血脂功效研究[J]. 食品研究与开发, 2019(12): 33–38.
- [2] Zhao D, Zhou Y, Liu H, et al. Effects of dough mixing time before adding konjacglucomannan on the quality of noodles[J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(12): 1–10.
- [3] Williams J K, Hong, M. Probing membrane protein structure using water polarization transfer solid-state NMR[J]. Journal of Magnetic Resonance, 2014, 247: 118–127.
- [4] Jiang Y L, Zhao Y M, Zhu Y F, et al. Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage[J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124902.
- [5] 于晓磊, 王振华, 张影全, 等. 加工工艺对挂面干燥过程不同状态水分比例(A_2)的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 129–138.
- [6] 于晓磊, 王振华, 张影全, 等. 加工工艺对挂面干燥过程水分状态的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(2): 80–89.
- [7] 刘瑞莉, 陆启玉. 磷酸盐对面条质构及水分状态的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(1): 204–210.
- [8] 刘锐, 武亮, 张影全, 等. 基于低场核磁和差示量热扫描的面条团水分状态研究[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 288–294.
- [9] 李雪琴, 黄亚飞, 苗笑亮, 等. 烫面蒸饼制作工艺及品质特性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 78–81, 112.
- [10] Bosmans G M, Lagrain B, Deleu L J, et al. Assignments of proton populations in dough and bread using NMR relaxometry of starch, gluten, and flour model systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(21): 5461–5470.
- [11] Ko J A, Kim H S, Baek H H, et al. Effects of hydroxypropyl methylcellulose and temperature of dough water on the rice noodle quality[J]. Food Science and Technology Research, 2015, 21(1): 129–135.
- [12] Huh H J, Shin W K, Kim Y. Textural and cooking qualities of noodles made with soy flour and hydroxypropyl methylcellulose[J]. International Food Research Journal, 2019, 26(2): 421–427.
- [13] Ahmad N, Rajab A. Textural and cooking qualities of dry Laksa noodle made from semi-wet and wet MR253 flours[J]. Cereal Chemistry, 2018, 95(6): 872–880.
- [14] Li Y, Shi W T. Steaming time effects on the moisture migration and structural properties of Chinese Northern-style steamed bread[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12(4): 2435–2443.
- [15] Zohoun E V, Tang E N, Soumanou M M, et al. Physicochemical and nutritional properties of rice as affected by parboiling steaming time at atmospheric pressure and variety[J]. Food Science & Nutrition, 2018, 6(3): 638–652.
- [16] 李翠翠, 陆啟玉, 张晶晶. 面粉中二硫键含量对面片水分分布状态的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(7): 129–135.
- [17] 屈展平, 任广跃, 李叶贝, 等. 燕麦添加量对马铃薯复合面条品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 186–192.
- [18] Xu F, Hu H, Liu Q, et al. Rheological and microstructural properties of wheat flour dough systems added with potato granules[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(S1): S1145–S1157.
- [19] 张绪坤, 祝树森, 黄俭花, 等. 用低场核磁分析胡萝卜切片干燥过程的内部水分变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28 (22): 282–287.