

和面及揉面方式对冷冻熟面品质的影响

Effects of different mixing and kneading methods on the quality of frozen cooked noodles

邵丽芳 朱科学 郭晓娜

SHAO Li-fang ZHU Ke-xue GUO Xiao-na

(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为研究不同和面方式(真空、普通和手工)以及不同揉面方式(机器揉面、手工揉面和不揉面)对冷冻熟面蒸煮和质构特性的影响,采用低场核磁技术分析加工方法对面条中水分状态的影响,并通过高效液相色谱图分析面条内部蛋白质的变化。结果显示:采用真空和面的冷冻熟面质构性质和蒸煮特性最好,深层次结合水比例高,SDS(十二烷基硫酸钠)蛋白可提取率低,说明真空和面可以促进面筋蛋白的交联,使面筋形成更加充分均匀,与水分的结合更加紧密;揉面过程尤其是手工揉面可以使冷冻熟面的蒸煮特性和质构性质提高,使深层次结合水含量升高,SDS 蛋白可提取率降低,说明揉面可以促进面筋蛋白与水的结合,使面筋蛋白形成更加充分。

关键词:冷冻熟面;质构特性;水分分布;微观结构;SDS 蛋白可提取率

Abstract: In this paper, the effect of different mixing (vacuum, conventional and manual) and kneading (machine kneading, hand kneading and non-kneading) methods on the quality of frozen cooked noodles were studied. The different processing methods on the cooking and texture properties of the frozen cooked noodle were investigated, and by NMR analyzed the water changes, use SE-HPLC to analyze the changes in protein. The results showed that the frozen cooked noodle mixed in vacuum condition had the best texture and cooking properties, the highest percentage of A_{21} and the lowest SDS extractability. It showed that vacuum condition could promote the cross-linking of gluten protein, make the gluten more continue and evenly, and combined with water more tightly; kneading process especially

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31571871);全国粮食行业青年拔尖人才服务行业需求自主选题项目(编号:LQ2016202);江苏省“六大人才高峰”高层次人才资助项目;江苏省“现代粮食流通与安全协同创新中心”资助项目

作者简介:邵丽芳,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:朱科学(1978—),男,江南大学教授,博士生导师,博士。
E-mail: kxzhu@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-08-30

manual kneading could make the noodle with better cooking and texture properties, and the higher percentage of A_{21} , reduced the SDS extractability, showed that kneading specially by hand could make the gluten more complete and promote the combination of gluten with water.

Keywords: frozen cooked noodle; texture characteristics; water distribution; microstructure; SDS extractability

面条是中国的传统主食之一,有着 4 000 年的演变与发展历程,一直以来都深受人们的喜爱^[1]。冷冻熟面最早是由日本在 1972 年研制开发的,1975 年正式投入商业生产^[2],此后,凭借着营养健康、食用方便的特点,越来越受人们欢迎。冷冻熟面通过低温冻结和保藏可以较好地保留新鲜面条的口感,同时其保质期长,不用添加任何食品添加剂就可以保藏 1 年^[3]。

但是冷冻熟面也存在着自身的缺点,其中最显著的是复热后的冷冻熟面的口感差于新鲜面条的。一直以来,国内外研究者也都在试图采用各种方法维持新鲜面条的口感,并且减小冻结过程中品质的降低。研究主要集中在面粉、生产工艺和添加剂方面,对生产工艺中研究较多的有加水量、加盐量、熟化时间、蒸煮方式和速冻方式,而对和面和揉面工艺的研究相对较少。和面工艺要求面絮吸水适当均匀,面筋扩展适宜,对后续工序和产品的品质有着重要影响^[4]。揉面加工是中国手工面条的重要加工步骤,现代工业化生产中也开始对面团进行仿手工揉制。本研究主要针对不同和面及揉面方式对冷冻熟面的品质影响进行对比,并且对其产生差异的内在机理进行探究。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

香雪面粉:水分含量 14.55%,灰分含量 0.40%,蛋白质含量 10.93%,中粮集团有限公司;

浓硫酸、硼酸、氢氧化钠、碳酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢

钠、二硫苏糖醇、氯化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

十二烷基硫酸钠:分析纯,美国西格玛奥德里奇公司。

1.2 仪器与设备

真空和面机:HWJZ-5型,南京市扬子粮油食品机械有限公司;

自动连续压面机:YJ-241型,阳政机械有限公司;

面条机:SK-240型,成都索拉泰克精密机械有限公司;

医用低温箱(温度范围:−40~−20℃):MDF-U5412型,三洋电机株式会社;

物性分析仪:TA.XT plus型,英国 Stable Microsystem 公司;

电子分析天平:BT-25S型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

低场核磁共振分析仪:MesoMR23-060V-I型,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20AT型,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 冷冻熟面的制备工艺

面粉+46%去离子水+1.5%盐→和面(真空、普通或手工和面)→静置熟化30 min→连续揉面(机器揉面或手工揉面)→压片切条→煮制3 min→冷却1 min→沥水1 min→−40℃冻结60 min→−18℃冷藏^[5]

真空和面参数为:真空度−0.08 MPa,高速搅拌120 s,低速搅拌300 s;普通和面参数为:高速搅拌120 s,低速搅拌300 s;手工和面是由经过专业培训的人员完成,并且控制和面时间在420 s左右。

1.3.2 蒸煮特性的测定

(1) 冷冻熟面蒸煮损失率的测定:参照 Rombouts 等^[6]的方法并稍加改动,将约20 g新鲜面条按照1.3.1描述的方法制作成冷冻熟面,测量时将冷冻熟面复热60 s,用滤网捞出并用冷水淋洗1 min,收集面汤和淋洗水,冷却至常温后,转移到500 mL的容量瓶中定容。量取50 mL面汤于250 mL已恒重的烧杯中,在红外炉上蒸发掉大部分水分后,将烧杯转移到105℃烘箱中烘至恒重。冷冻熟面的蒸煮损失率按式(1)计算:

$$c_1 = 10 \times \frac{w_2 - w_1}{w_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c_1 ——蒸煮损失率,%;

W_0 ——煮前生面条的质量,g;

W_1 ——煮前恒重的烧杯质量,g;

W_2 ——煮后恒重的含有干物质的烧杯质量,g。

(2) 吸水率的测定:参照 Rombouts 等^[6]的方法并稍加改动,将约20 g新鲜面条按照1.3.1描述的方法制作成冷冻熟面,测量时将冷冻熟面复热60 s,用滤网捞出并用冷水淋洗1 min,将捞出的冷冻熟面用滤纸吸干面条表面水分并称重,冷冻熟面的吸水率按式(2)计算:

$$c_2 = \frac{w_3 - w_0}{w_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

c_2 ——吸水率,%;

W_0 ——煮前生面条的质量,g;

W_3 ——煮后面条的质量,g。

1.3.3 质构特性的测定 通过物性分析仪测定冷冻熟面的质构特性,根据 Han 等^[7]的方法,将冷冻熟面复热60 s后捞出,冷水淋洗,用滤纸将面条表面水分吸干,用保鲜膜覆盖并在15 min内完成测量。使用前对仪器进行质量校准和高度校准。全质构测定:采用 HDP/PFS 型号探头,测试前、中、后速度均为0.8 mm/s,校准距离15 mm,压缩比为70%,时间间隔为2 s;拉伸测定:采用 A/SPR 型号探头,测试前、中、后速度分别为2,2,10 mm/s,校准距离为40 mm,拉伸距离为90 mm,触发力为5 g。每个样品至少测试10次,取平均值。

1.3.4 面条的水分状态的测定 根据文献^[8]的方法,称取(10.00±0.01) g新鲜面条,用生料带包裹好以防止测试过程中水分挥发,将样品轻轻放置于直径为25 mm的试管中,并置于低场核磁共振测试腔体中进行测试。测试程序为多层一回波(CPMG)序列参数设置:回波时间0.300 ms,采样间隔时间3 000 ms,放大倍数1,回波个数4 000,累加次数2,利用仪器自带的程序 T 2-InvfitGeneral 对数据进行100万倍拟合反演得到 T_2 弛豫图谱。

1.3.5 高效液相色谱 参考 Wagner 等^[9]的方法修改如下,将生面条冷冻干燥后磨粉,准确称量约含有1.000 mg蛋白的面条粉溶解于1.000 mL的0.05 mol/L磷酸盐缓冲液(pH 7.0,含有2 g/100 mL SDS)中,为使蛋白充分溶解在震荡器上涡流10 min,于8 000 r/min离心5 min,取上清液过0.45 μm膜后,取100 μL样品进样。选用 TskgelG4000-SWXL 色谱柱,其尺寸为7.8 mm×300 mm,流动相为含有2 g/100 mL SDS的pH 7.0磷酸盐缓冲液。色谱仪运行参数:洗脱流速为0.7 mL/min,柱温为28℃,采用紫外检测器于214 nm波长处检测。此外,还原条件下总的面筋蛋白提取是通过在样品溶解液(1.0 mL)中加入0.1 g的还原剂二硫苏糖醇(DTT)来打断二硫键。每个样品测试3次。面筋蛋白 SDS 可提取率(SDSEP)是指样品面筋蛋白的洗脱曲线面积与还原条件下样品面筋蛋白的洗脱曲线面积的比值^[10]。

1.3.6 数据统计与分析 所得数据均来自3次以上独立试验结果的平均值,数据表示为平均值±标准方差;利用 Excel 2007 对数据进行统计分析;采用 SPSS 16.0 软件对数据进行相关性分析和主成分分析,并选取 Duncan 分析,在 $P \leq 0.05$ 检验水平上对数据进行显著性分析;采用 Origin 8.5 对数据进行绘图。

2 结果与分析

2.1 对冷冻熟面蒸煮特性的影响

面条的蒸煮特性是反应面条品质的重要指标,其中吸水率反应面条在煮制过程中的膨胀程度,过高的吸水率使

面条口感松软且黏性增加。煮制过程中,面条中的直链淀粉和可溶性蛋白会融入到水中,因而煮面水会变得浑浊黏稠^[11],煮汤中干物质的总含量可表示为蒸煮损失。不同和面揉面方式所制得的冷冻熟面的吸水率和蒸煮损失见图 1,对比不同和面方式可得,采用真空和面的冷冻熟面具有较小的吸水率和蒸煮损失,而采用普通和面的吸水率和蒸煮损失都较大,手工和面居中。对比不同揉面方式可知,

不揉面的冷冻熟面具有较大的吸水率和蒸煮损失,采用机器揉面的吸水率和蒸煮损失都变小,但变化幅度较小,采用手工揉面的吸水率和蒸煮损失都显著减小,表明揉面的过程可以使面条中的蛋白质网络更加均匀致密,从而将淀粉紧紧包裹其中,减小了淀粉颗粒的吸水膨胀,使吸水率降低,并且淀粉颗粒也不容易从网络结构中脱落,从而使蒸煮损失降低。

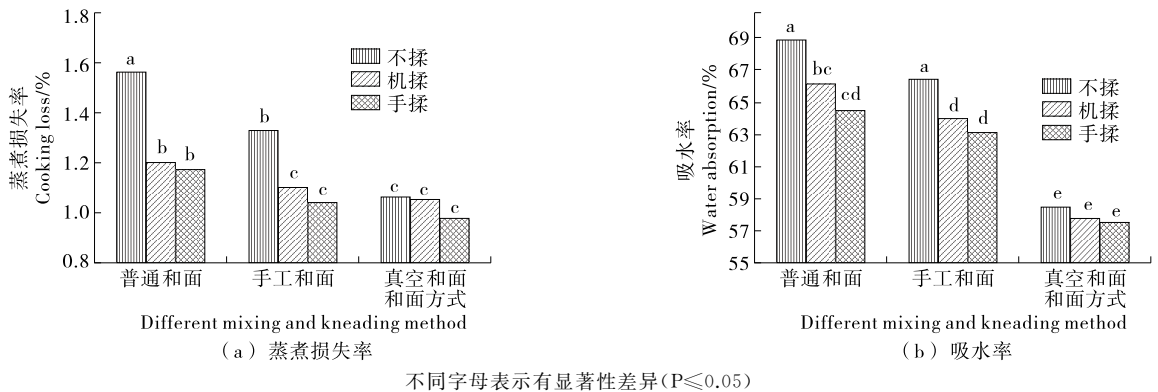


图 1 和面及揉面方式对冷冻熟面蒸煮特性的影响

Figure 1 Cooking properties of noodle made by different mixing and kneading method

2.2 对冷冻熟面质构特性的影响

质构性质是消费者最关心的产品主要品质之一^[12],本研究采用了全质构和拉伸 2 种方法来评价冷冻熟面品质。全质构分析可以很好地反映面条的硬度、黏附性、弹性、咀嚼性等品质;拉伸试验可以很好地反映面条的抗拉伸能力和弹性,拉伸距离和拉断力具有相同的趋势,因此只选取了拉断力这一指标进行分析。

由表 1 可以看出,和面揉面方式对冷冻熟面的质构性质具有显著影响。从硬度来看,真空和面比普通和面和手工和面的硬度要大,普通和面的硬度较小,而手工和面的硬度居中。手工揉面与机器揉面和不揉面相比,冷冻熟面的硬度显著增加,不经揉面的硬度最小。不同和面及揉面方式对冻熟面黏附性也有一定的影响,采用真空和面的冷冻熟面黏附性最小,这与其致密的网络结构和较小的吸水率有关。手工和面的面条黏附性最大,这与它适中的吸水率有关;普通和面居中。而揉面过程会使面条的黏附性增大,手工揉面比机器

揉面的效果更为显著。咀嚼性遵循同样的规律。从拉断距离来看,真空和面使面条的拉断力增大,采用普通和面方式的拉断力最小,手工和面居中。揉面过程使面条的拉断力增加,手工揉面的效果比机器揉面效果更好。

以上结果表明真空和面时面粉和水处于真空状态下会使面粉和水分接触更加均匀,从而使面团结构更加致密,面筋形成更加充分均匀。另外真空状态下气体较少,面团内部气孔分布少会使蛋白质网络更加均匀致密,从而使面条的硬度和抗拉伸强度增大。手工和面时对面团进行揉搓,相对于简单的搅拌来说,手工和面形成的面团更加均匀连续。而普通和面方式只是简单的将面粉和水混合,形成的面筋网络连续性较差。通过质构分析也可以看出手工和面的冷冻熟面在硬度和拉断力上适中,但是黏附性较大,可能是手工面条不同于机器面条的显著特点,也是手工面条独特口感的具体体现。而揉面工艺尤其是手工揉面时会对面团有一个揉搓力,可以使面条内部的网络结构更加均匀连续,使面条的

表 1 和面及揉面方式对冷冻熟面质构特性的影响[†]

Table 1 Texture properties of frozen cooked noodle made by different mixing and kneading method

处理方式	硬度/g	黏附性/g	弹性	咀嚼性/g	拉断力/g
普通不揉	2 196.52±67.55 ^f	74.00±5.22 ^f	0.80±0.01 ^b	1 229.24±38.08 ^e	12.28±0.89 ^e
普通机揉	2 604.59±67.83 ^e	123.77±8.10 ^d	0.80±0.01 ^b	1 458.95±37.98 ^d	15.62±0.67 ^d
普通手揉	2 872.16±96.77 ^d	137.70±7.22 ^c	0.81±0.02 ^b	1 603.18±54.19 ^c	16.93±0.59 ^{ab}
手工不揉	2 655.06±74.19 ^e	87.16±9.21 ^e	0.81±0.02 ^b	1 486.13±41.55 ^d	16.07±0.71 ^{bc}
手工机揉	2 869.80±43.91 ^d	148.77±8.10 ^b	0.80±0.01 ^b	1 606.71±24.59 ^c	16.55±0.28 ^{bc}
手工手揉	2 978.86±75.76 ^{bc}	159.75±8.77 ^a	0.82±0.01 ^{ab}	1 667.67±42.43 ^{abc}	16.94±0.43 ^{ab}
真空不揉	2 904.71±63.56 ^{cd}	70.41±5.87 ^f	0.84±0.01 ^a	1 626.82±35.59 ^{bc}	15.72±0.88 ^{cd}
真空机揉	3 001.14±41.00 ^b	130.96±4.53 ^{cd}	0.84±0.02 ^a	1 680.92±22.96 ^{ab}	16.82±0.35 ^{ab}
真空手揉	3 089.55±38.97 ^a	149.55±5.19 ^b	0.83±0.02 ^{ab}	1 729.38±21.82 ^a	17.54±0.39 ^a

[†] 同列不同字母表示有显著性差异(P ≤ 0.05)。

硬度增强,也会改变其吸水率,从而使面条的黏连性增大,抗拉伸强度增大。

2.3 对面条水分分布的影响

横向弛豫时间 T_2 常用来表征面团、面条等食品在加工或贮藏过程中水分结合状态的变化。 T_2 值越小,说明水分结合能力越强,反之说明水分更易流动。由图 2 可以看出,面团的弛豫时间分为 3 个峰,表面面团中主要存在 3 种状态的水:第 1 个峰代表深层结合水,用 T_{21} 来表示,表示与蛋白和淀粉紧密结合的水,很难流动,分子自由度最小;第 2 个峰代表弱结合水,用 T_{22} 表示,此部分水多处于面条网络结构和大分子物质周围,有一定的流动性,面团中该部分水分的含

量最高,约占 80%;第 3 个峰代表自由水,用 T_{23} 表示,这部分水非常容易流动,自由度最高。

由表 2 中可以看到,不同和面及揉面方式的面团中的 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 以及它们所占总体水分的百分比 A_{21} 、 A_{22} 、 A_{23} 。从 T_{23} 来看,不同和面方式之间存在差异,真空和面的弛豫时间最短,其次是手工和面,普通和面的弛豫时间最长,表明真空和面可以使面团内部的水分与其他物质结合紧密从而很难流动;而揉面的过程可以使 T_{23} 略微变小,但效果不明显。 T_{21} 与 T_{22} 的变化规律不明显。从 A_{21} 来看,不同和面揉面方式之间存在显著差异,真空和面的 A_{21} 最大,其次是手工和面,普通和面最小,表明真空和面可以使面团内部深层次结合水的比例增大;而揉面的过程可以使 A_{21} 变大,其中手工揉面的效果要好于机器揉面。从 A_{22} 来看,不同和面揉面方式之间也存在显著差异,真空和面的 A_{22} 最小,其次是手工和面,普通和面最大,表明真空和面可以使面团内部一部分的弱结合水转变为紧密结合水;而揉面的过程可以使 A_{22} 变小,其中手工揉面的效果要好于机器揉面。而 A_{23} 无显著性变化,与刘锐等^[13]的研究结果基本一致。与蒸煮和质构的试验结果一致,表明真空和面和揉面的过程可以使面团中的蛋白质网络结构更加均匀致密,与水分的结合状态也更加紧密,从而使面团中的水分自由度降低,使冷冻熟面的最终品质得到提升。

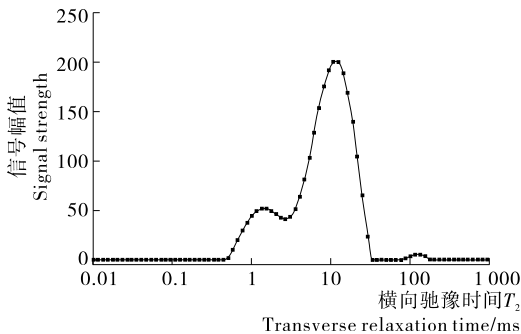


图 2 新鲜面条的弛豫时间

Figure 2 Changes in water components

表 2 和面及揉面方式对面条水分分布的影响[†]

Table 2 Changes in water component of different mixing and kneading method

处理方式	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms	$A_{21}/%$	$A_{22}/%$	$A_{23}/%$
普通不揉	1.41±0.03 ^a	11.79±0.10 ^a	174.75±0.26 ^a	16.84±0.00 ^g	83.09±0.21 ^a	0.07±0.01 ^a
普通机揉	1.41±0.02 ^a	11.93±0.17 ^a	159.58±2.06 ^b	17.07±0.21 ^{fg}	82.86±0.33 ^{ab}	0.07±0.01 ^a
普通手揉	1.41±0.01 ^a	12.33±0.00 ^a	151.99±5.02 ^c	17.28±0.12 ^{ef}	82.66±0.03 ^{abc}	0.06±0.00 ^a
手工不揉	1.40±0.05 ^a	12.33±0.23 ^a	159.58±3.39 ^b	17.48±0.20 ^{de}	82.44±0.22 ^{bcd}	0.08±0.02 ^a
手工机揉	1.40±0.03 ^a	12.33±0.03 ^a	152.58±5.05 ^{cd}	17.76±0.31 ^{cd}	82.17±0.39 ^{cd}	0.07±0.01 ^a
手工手揉	1.41±0.03 ^a	12.33±0.04 ^a	149.58±2.70 ^c	17.98±0.23 ^c	81.95±0.26 ^d	0.07±0.01 ^a
真空不揉	1.40±0.04 ^a	12.33±0.42 ^a	151.99±2.03 ^c	18.53±0.31 ^b	81.40±0.45 ^e	0.07±0.01 ^a
真空机揉	1.41±0.01 ^a	12.33±0.00 ^a	145.77±0.60 ^{de}	18.88±0.13 ^{ab}	81.05±0.20 ^{ef}	0.07±0.00 ^a
真空手揉	1.40±0.04 ^a	12.33±0.55 ^a	142.09±0.00 ^e	19.15±0.22 ^a	80.57±0.32 ^f	0.08±0.01 ^a

[†] 同列不同字母表示有显著性差异($P \leq 0.05$)。

2.4 对高效液相色谱结果的影响

体积排阻色谱,是一种依据分子体积大小进行分离的色谱技术,可对蛋白质的分子量分布进行表征。通常,当蛋白质发生交联后,峰面积会相应地变小,SDS 可提取蛋白含量减小,不可提取蛋白含量增加^[14],因此,该方法能较好地反映蛋白聚合行为。本研究采用 SE-HPLC 检测不同和面和揉面方式对冷冻熟面的 SDS 可提取蛋白的影响,所得高效液相色谱图见图 3。参考 Lagrain 等^[10]的方法,图 3 中保留时间在 7.39~11.82 min 的洗脱曲线代表 SDS 提取的麦谷蛋白,11.82~16.82 min 的洗脱曲线为 SDS 提取的麦醇溶蛋白,而 16.82~18.88 min 的洗脱曲线为 SDS 提取的清蛋白和球蛋白。

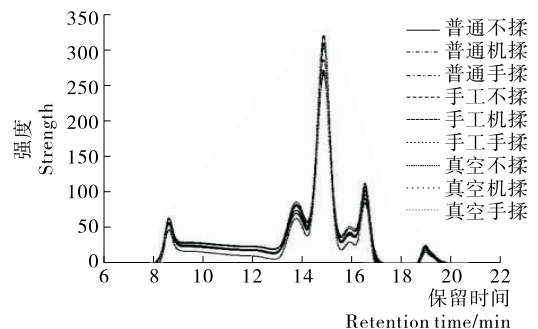


图 3 不同和面及揉面方式新鲜面条的高效液相色谱图

Figure 3 SE-HPLC profiles of different mixing and kneading method fresh noodle

由图 3 可以看出,不同和面及揉面方式冷冻熟面的高效液相图的峰型和出峰时间保持一致,表明在和面及揉面的过程中蛋白质的种类并没有发生变化,而峰面积发生了变化,其中真空和面的麦谷蛋白和麦醇溶蛋白含量较小;相比与不揉面的样品,揉面的峰面积也较小,且手工揉面小于机器揉面。进一步说明了真空和面的过程中面筋蛋白的交联效果要优于普通和面及手工和面;揉面的过程中尤其是手工揉面可以促进蛋白质的交联,使面条中的蛋白质网络结构更加均匀致密。

由表 3 还可以看出,不同和面及揉面方式面条的 SDSEP (SDS 可提取率)之间存在显著差异。从不同和面方式来看,真空和面的 SDSEP 最低,其次是手工和面,普通和面的最高,说明真空和面可以促进蛋白的聚合,从而使其在 SDS 中的溶解度变低;从不同揉面方式来看,手工揉面的 SDSEP 最低,其次是机器揉面,不揉面的最高,也进一步说明了揉面过程尤其是手工揉面可以促进蛋白的聚合。

表 3 不同和面及揉面方式下新鲜面条的面筋蛋白 SDSEP

Table 3 SDS extractability of different mixing and kneading method fresh noodle

处理方式	SDSEP/%	处理方式	SDSEP/%
普通不揉	0.857±0.012 ^d	手工手揉	0.837±0.015 ^{bcd}
普通机揉	0.849±0.012 ^{cd}	真空不揉	0.829±0.016 ^{abc}
普通手揉	0.841±0.013 ^{bcd}	真空机揉	0.818±0.011 ^{ab}
手工不揉	0.843±0.011 ^{cd}	真空手揉	0.810±0.017 ^a
手工机揉	0.841±0.020 ^{cd}		

† 同列不同字母表示有显著性差异($P \leq 0.05$)。

3 结论

真空和面的过程会使冷冻熟面内部蛋白质结构更加连续均匀,使面条的硬度和弹性增大,且吸水率和蒸煮损失减小,从而使冷冻熟面的口感较好。而手工和面的硬度和弹性较真空和面小,但是其适中的硬度和弹性,较大的黏性以及其适中的吸水率使其最终的品质也受到了一些人的喜爱;采用普通和面方式的冷冻熟面品质较差。由此可见,真空和面及手工和面较普通和面具有很大的优势,且真空和面及手工和面各具特色,在工业生产中可针对不同的消费者需求采用适当的和面方式。揉面加工尤其是手工揉面可以使冷冻熟面品质提高,如硬度、弹性、拉断力等变大,同时吸水率和蒸煮损失会变小,现代化工业生产中,在仿手工揉面加工方面应用及研究较少,可加强对仿手工揉面的应用及研究,进一步改善面条的品质。

参考文献

[1] 魏益民. 中华面条之起源[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(7): 881-887.
 [2] 王亦芸. 日本冷冻面现状[J]. 食品工业, 1995(5): 20-22.
 [3] KONDAKCI T, ZHANG Wen-juan, ZHOU Wei-biao. Impact of

flour protein content and freezing conditions on the quality of frozen dough and corresponding steamed bread[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8: 1 877-1 889.

[4] FU Bin-xiao. Asian noodle: History, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41: 888-902.
 [5] 岳凤玲, 朱科学, 郭晓娜. 面粉中破损淀粉含量对冷冻熟面品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 4-8.
 [6] ROMOUTS I, JANSSENS K J A, LAGRAIN B, et al. The impact of salt and alkali on gluten polymerization and quality of fresh wheat noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2004, 60(3): 505-513.
 [7] HAN Li-hong, LU Zhan-hui, HAO Xue-liang, et al. Impact of calcium hydroxide on the textural properties of buckwheat noodle[J]. Journal of Texture Studies, 2012, 43: 227-234.
 [8] 白艺朋. 延长荞麦半干面常温货架期的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 13-14.
 [9] WAGNER M, MOREL M H, BONICEL J, et al. Mechanisms of heat-mediated aggregation of wheat gluten protein upon pasta processing[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(7): 3 146-3 154.
 [10] LAGRAIN B, THEWISSEN B G, BRIJS K, et al. Impact of redox agents on the extractability of gluten proteins during bread making[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(13): 5 320-5 325.
 [11] PETITOT M, BOYER L, MINIER C, et al. Fortification of pasta with split pea and fababean flours: Pasta processing and quality evaluation[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 634-641.
 [12] AJILA C M, AALAMI M, LEELAVATHI K, et al. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(1): 219-224.
 [13] 刘锐, 武亮, 张影全, 等. 基于低场核磁和差示量热扫描的面条面团水分状态研究[J]. 农业工程学报, 2015(9): 288-294.
 [14] STATHOPOULOS C E, TSIAMI A A, DAVID SCHOFIELD J, et al. Effect of heat on rheology, surface hydrophobicity and molecular weight distribution of glutens extracted from flours with different bread-making quality[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 47(2): 134-143.