热处理对糯麦面团面包品质的影响

尚 珊[1]，黄卫宁[1,*]，贾春利[1]，王 凤[2]，RAYAS-DUARTE Patricia[3]
(1.江南大学 食品科学与技术国家重点实验室，江苏 无锡 214122；2.无锡麦吉贝可生物食品有限公司，江苏 无锡 214131；
3.美国俄克拉荷马州立大学农产品与食品研究中心，俄克拉荷马州 斯蒂尔沃特 74078-6055，美国)

摘 要：采用快速黏度分析仪(RVA)、差式扫描量热仪(DSC)和质构分析仪(TA)研究不同热处理条件(100℃、60min，100℃、90min，100℃、120min，120℃、60min，120℃、90min，120℃、120min)对糯麦粉糊化特性和糯麦面包烘焙特性的影响。结果表明：经过一定条件的热处理，糯麦粉的持水性和糊化特性均显著提升，糊化参数(峰值黏度、谷值黏度、沉降值、终值黏度和回升值)均比对照组要高，但在特定的温度条件下(如100℃)，糯麦粉的回升值呈下降趋势。热力学特性表明经过热处理，糯麦粉的糊化起始温度和糊化峰值温度均比未经过热处理的糯麦粉高。同一热处理温度条件下(100、120℃)，随着热处理时间的延长，糯麦粉的糊化起始温度和糊化峰值温度也随之略微提高，糊化范围呈下降趋势。同一热处理温度条件下，面粉的糊化焓值随着热处理时间的延长呈下降趋势。热处理可以显著提高糯麦面包的比容，特别是经过100℃热处理120min的组别，其面包比容较对照组面包从4.26mL/g上升到4.87mL/g，提高了14.32%。糯麦面包的硬度、胶黏性和咀嚼性因添加经过热处理的糯麦粉而下降，但是随着热处理时间的延长、热处理温度的升高，糯麦面包的色泽变暗，综合感官评定可知，添加经过100℃热处理60min糯麦粉而制作出的糯麦面包最受人们喜爱。

关键词：热处理；糯麦粉；糊化特性；烘焙特性

Effects of Heat Treatment on the Quality of Waxy Dough and Bread

SHANG Shan[1]，HUANG Wei-ning[1,*]，JIA Chun-li[1]，WANG Feng[2]，RAYAS-DUARTE Patricia[3]
(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China；2. MagiBake International Co. Ltd., Wuxi 214131, China；3. Food and Agricultural Products Research Center, Oklahoma State University, Stillwater OK 74078-6055, USA)

Abstract：The pasting and baking properties of waxy flour under different heat treatments at 100 or 120 ℃ for 60 , 90 min and 120 min were analyzed by RVA, DSC and TA, respectively. The results showed that (1) compared with the control group without heat treatment, the water-holding capacity and pasting properties of waxy flour were enhanced after heat treatments. The pasting parameters (peak viscosity, breakdown viscosity and final viscosity) were higher than those of the control. But when waxy flour was thermally treated under specific conditions (100 ℃), dough setback showed a downward trend. (2) DSC results showed that both T_o and T_p increased with longer treatment time for all samples, and ΔH gradually decreased along with heat treatment time. The gelatinization temperature range was narrowed after heat treatments. (3) after addition of thermally processed waxy flour, the specific volume of waxy bread was increased. For 100 ℃/120 min heat treatment group, the specific volume of waxy bread was increased from 4.26 mL/g to 4.87 mL/g by 14.32% when compared with the control group. Heat treatment could be beneficial for reducing the hardness, gumminess and chewiness of waxy bread. The lightness for bread made from heat treated waxy flour decreased with the extension of heat treatment time and increase of heat treatment temperature. Bread with 30% substitution of waxy flour treated at 100 ℃ for 60 min showed the best sensory quality.

Key words: heat treatment；waxy flour；pasting properties；baking performance
中图分类号：TS202.1 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)23-0020-05
doi:10.7506/spkx1002-6630-201323005

收稿日期：2012-09-18
基金项目：国家自然科学基金项目(31071595；20576046)；美国农业部国际合作项目(A-(86269))；
农业科技成果转化资金项目(2011GB2C100017)；广东省教育部产学研结合项目(2010B090400292；2011B090400592)；
江苏省科技支撑计划项目(BE2011380)
作者简介：尚珊(1988—)，女，硕士研究生，研究方向为烘焙科学、功能配料与食品添加剂。E-mail：crystalshang@yeah.net
*通信作者：黄卫宁(1963—)，男，教授，博士，研究方向为烘焙科学与发酵技术、谷物食品化学。E-mail：wnhuang@jiangnan.edu.cn

糯性小麦淀粉中的直链淀粉含量与普通小麦淀粉相比含量大大降低，其总含量约占淀粉含量的2%～5%左右，因此赋予糯麦粉特殊的物化特性。糯麦粉有极强的持水能力和膨胀能力，糊化快、峰值时间短；峰值黏度比非糯小麦粉低，黏度衰减值大，回升值很小，远低于普通小麦[1]。面包烘焙实验表明，糯小麦配粉，面包加水量显著增加，体积增大，质量呈增大趋势。Graybosch等[3]与Bhattachary等[4]认为糯麦粉在抗老化方面比普通小麦粉具有优势，在普通小麦粉中加入一定比例的糯麦粉，可以延长食品的货架期，并且改善面包芯的柔软度，但随着糯麦粉比例的继续增加，面包的品质会急剧下降。Hayakawa等[5]发现，加入过多的糯麦粉(＞20%)导致面包的黏性和纹理结构变差。添加量超过30%会造成过度收缩，有大气孔的面包芯结构[6-7]。

对面粉进行热处理一直以来被认为是一种提高面包品质的方法。Gelinas等[8]发现在80℃条件下对低筋粉进行热处理15min可以增大面包的比容。也有研究者发现在50～130℃对硬质小麦粉进行处理后可以降低化学氧化剂的使用，并在一定程度上提高货架期[9]。针对糯小麦粉的热处理，现有研究发现在120℃热处理后，糯麦粉中的淀粉颗粒的大小和外观与未处理的淀粉没有区别，但是淀粉颗粒的结晶区和非结晶区的结构会发生不同程度的变化，影响淀粉颗粒的膨胀特性、糊化黏度、结晶度、酶解力和对酸的稳定性；对硬质糯麦粉进行一定条件的热处理(165℃，30min)，会提高糯麦粉峰值黏度，并提高热糊的稳定性[10]。

然而，目前针对糯麦粉进行热处理后，糯麦面包物化特性和烘焙特性的变化却鲜有研究。本实验通过采用6种不同的热处理条件(100℃、60min，100℃、90min，100℃、120min，120℃、60min，120℃、90min，120℃、120min)对糯麦粉进行热处理并研究其糊化特性的变化，将经过热处理的糯麦粉添加在普通小麦粉中，研究糯麦面团的烘焙特性，旨在提高糯麦粉的烘焙品质，为扩大糯麦粉在特种烘焙食品中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

高筋粉 中粮面业鹏泰有限公司；糯麦粉 江苏楚龙面粉有限公司；即发活性干酵母 广东梅山马利酵母有限公司。

乙酸缓冲液、硫酸溶液、钨酸钠溶液 国药集团化学试剂有限公司；α-淀粉酶 诺维信投资有限公司；白砂糖、起酥油、精盐等均为食用级。

1.2 仪器与设备

和面机、发酵柜、烤炉 新麦机械有限公司；电热鼓风干燥箱 上海实验仪器有限公司；混合实验仪(Mixolab)、F3发酵流变仪 法国Chopin公司；RVA快速黏度分析仪 澳大利亚Newport Scientific公司；TA-XT2i质构分析仪 英国Stable Micro System公司；高精度分光测色仪 美国Hunter公司；面包体积仪 美国National公司。

1.3 方法

1.3.1 糯麦粉的热处理

在两种温度(100℃和160℃)，4种不同加热时间(0、60、90、120min)进行组合处理。对于每种温度-时间组合，将面粉放置在铝盒中，封盖。于电热鼓风干燥箱中进行加热。加热后，盒子冷却到25℃并静置24h备用。

1.3.2 原料的基本成分和性质分析

水分含量测定：参照 AACC 44-15A法；蛋白含量测定：参照GB5009.5—2003《食品中蛋白质的测定》；灰分含量测定：参照AACC 08-01法；湿面筋含量测定：参照GB/T 5506.1—2008《小麦和小麦粉面筋含量第1部分》；干面筋含量测定：参照GB/T 5506.3—2008《小麦和小麦粉面筋含量第3部分》；淀粉含量测定：参照GB/T 5009.9—2008《食品中淀粉的测定》；破损淀粉的含量测定：参照GB/T 9826—2008《粮油检验小麦粉破损淀粉测定α-淀粉酶法》。

1.3.3 糯麦面团的制备和糯麦面包的制作

高筋粉70%、糯麦粉(经过和未经过热处理)30%、食盐1.5%、白砂糖6%、起酥油6%、酵母1.5%，水为最佳量。将上述原料于搅拌机中搅拌10min后，静置松弛5min，分割成130g面团，滚圆，成型，在38℃、湿度85%的条件下醒发至一定高度，上/下火(170℃/210℃)烘焙25min。

1.3.4 糯麦粉理化特性的测定

1.3.4.1 糯麦粉持水率的测定

称取所需样品0.6g放入50mL已知质量的试管中，加30mL蒸馏水配成乳液，振荡混匀，平衡1min，分别放在30、50、70、90℃水浴中加热30min，不断搅拌并保持糊液的体积不变，冰水浴冷却2min，然后以4000r/min离心20min倒出上清液，沉淀物倾斜45°，静置10min；除去水分，称其质量，计算持水率A/%(以湿基计算)。已知样品的水分含量为B/%，按照式(1)计算持水率X/%(以干基计算)。

$$X/\%=A/(100-B)\times 100 \quad (1)$$

1.3.4.2 糯麦粉糊化特性的分析

采用快速黏度分析仪测定热处理条件对糯麦粉的糊化特性的影响。称取样品3.0g(干基)于样品盒中，加水25mL，先以960r/min快速搅拌10s，之后以115r/min的速度搅拌，温度在3min内从40℃加热到90℃，保温6.5min；4.5min内降温至40℃，保温5min。

1.3.4.3 糯麦粉热力学特性的测定

称量约4.0mg经过热处理的糯麦粉于DSC坩埚，按照

麦粉与水1:2(*m*/*V*)的比例加入蒸馏水，密封后置于室温下平衡过夜，以坩埚为对照。保护气体为氮气，扫描区间为30～100℃，扫描速率为10℃/min。每个样品至少重复3次。

1.3.5 面包比容测定

面包冷却1h后，用油菜籽置换法测面包体积，并称质量。按照式(2)计算面包比容。

$$面包比容/(mL/g)=\frac{面包体积/mL}{面包质量/g} \quad (2)$$

1.3.6 面包色泽测定

面包冷却1h后，使用精密色差仪测量面包芯的Hunter *L*、*a*、*b*值。

1.3.7 面包全质构测定

面包冷却2h后，用面包切片机将面包芯切成厚度为20mm的厚薄均匀的薄片，取中间固定位置置于P/25探头下进行测定后取平均值。参数设定：测试前速率1.0mm/s，测试速率3.0mm/s，测试后速率3.0mm/s，压缩程度50%，感应力5g，两次压缩间隔时间1s。测定参数包括面包的硬度、胶黏性和咀嚼性。

1.3.8 面包感官评价

采用9分嗜好评分法分别对面包的外观、颜色、风味、口感以及整体可接受度进行喜好评分，1～9分别代表极度不喜欢、非常不喜欢、适度不喜欢、轻微不喜欢、既不喜欢也不讨厌、轻微喜欢、适度喜欢、非常喜欢、极度喜欢。整个评定过程由11个培训过的感官评定员进行评定。

1.4 数据分析处理

采用SPSS 16.0分析软件进行数据统计分析，运用方差分析法(ANOVA)进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 糯麦粉与高筋粉的基本成分分析

表1 原料的基本成分

Table 1 Basic components of waxy flour and high-gluten flour

%

品种	水分	蛋白质	淀粉	破损淀粉	灰分
高筋粉	13.37	12.16	68.79	6.60	0.57
糯麦粉	14.12	10.93	68.54	8.37	0.56

由表1可知，高筋粉与糯麦粉在水分、蛋白质、淀粉、破损淀粉、灰分含量无显著差别，在蛋白质及破损淀粉含量方面两者差别较明显。

2.2 热处理条件对糯麦粉持水率的影响

经过热处理后，糯麦粉的水分含量大大降低。在100℃和120℃条件下，经过2h热处理的糯麦粉，其水分含量小于0.5%。由表2可知，在30、50、70℃和90℃水浴温度条件下，糯麦粉经过热处理后的持水率的变化。热处理可以显著提高糯麦粉的持水率，特别是在较高的水浴温度下，经过100℃和120℃热处理120min的糯麦粉的其持水率都比对照组的高，特别是在高水浴温度90℃条件下，相比未经过热处理的对照组，经过120℃热处理120min的糯麦粉其持水率上升了29.11%。热处理的温度和时间对糯麦粉的持水特性在不同的水浴温度下呈现不同的趋势，特别是在较高的水浴温度下(50、70、90℃)，在同一热处理温度下，随着处理时间的延长，糯麦粉的持水率也随之上升。同一热处理时间下，持水性基本上与热处理温度成正比，持水率的上升可能是因为糯麦粉经过热处理后，其中淀粉的分子结构发生改变，更容易与水结合，因此更加容易持水[11]。

表2 热处理条件对糯麦粉持水率的影响

Table 2 Effect of heat treatment conditions on the water retention capacity of waxy flour

%

热处理条件	水分含量/%	水浴温度/℃			
		30	50	70	90
对照组	14.12	80.2600±0.0038^{a}	99.8300±0.0060^{c}	281.2800±0.0012^{a}	371.9500±0.0077^{a}
100℃、60min	8.34	86.0700±0.0087^{c}	102.6800±0.0010^{e}	282.1000±0.0038^{b}	378.6700±0.0053^{b}
100℃、90min	4.29	85.6700±0.0154^{d}	103.8000±0.0027^{a}	285.5200±0.0073^{f}	398.8300±0.0074^{c}
100℃、120min	0.46	84.2300±0.0088^{d}	104.8200±0.0049^{d}	291.5700±0.0091^{a}	401.5100±0.0087^{d}
120℃、60min	6.73	82.1500±0.0078^{b}	104.6000±0.0046^{b}	281.9400±0.0085^{d}	447.0800±0.0096^{e}
120℃、90min	3.92	85.5300±0.0032^{d}	105.2900±0.0068^{f}	291.0800±0.0049^{e}	461.1700±0.0087^{f}
120℃、120min	0.25	83.6100±0.0050^{d}	113.6900±0.0028^{g}	299.5600±0.0046^{e}	479.9400±0.0087^{g}

注：同列字母不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。下同。

2.3 热处理条件对糯麦糊化特性的影响

糯麦粉黏度特性的特征参数包括峰值黏度、谷值黏度、沉降值、终值黏度以及回生值。糯麦粉在100℃和120℃温度下处理后，峰值黏度大幅度上升，并且与热处理时间呈正相关。经过热处理的糯麦粉其谷值黏度、终值黏度大于未经过热处理的糯麦粉。Purna[12]曾采用140℃和160℃对糯麦粉分别进行0、5、15、30、60min的热处理得到相似的结果，发现糯麦粉的糊化特性随着热处理的进行而提高。魏益民等[13]发现适宜的处理温度(140～155℃热风干燥或200℃远红外烘烤)可以增加燕麦粉的峰值黏度、谷值黏度和终值黏度。糯麦的膨胀势较高，有研究指出，粉粒的膨胀能力和膨胀程度很大程度上决定了淀粉糊的黏度[14]。高膨胀性的淀粉粒占据较大的体积而挤得紧密，糊化时淀粉颗粒之间互相靠紧，传递着较高的内部摩擦力，峰值黏度较高。有研究表明，高温处理会使淀粉颗粒膨胀性和吸水性增强，淀粉颗粒体积的增大，会使淀粉的黏度增加[15]。在100℃热处理条件下，糯麦粉的回升值随着热处理时间的进行而逐渐下降，相比未经过热处理的糯麦粉，经过120min热处理的糯麦粉，其回升值下降了8.32%，这说明其经过热处理的糯面粉有较好的黏度稳定性[16]。但是在120℃热处理条件

表3 热处理条件对糯麦粉糊化特性的影响

Table 3 Effect of heat treatment conditions on the pasting properties of waxy flour

热处理条件	峰值黏度/RVU	谷值黏度/RVU	沉降值/RVU	终值黏度/RVU	回升值/RVU	糊化温度/℃	T_o/℃	T_p/℃	T_c/℃	T_c-T_o/℃	ΔH/(J/g)
对照组	161.12±0.62^{a}	62.29±0.76^{a}	98.84±1.16^{a}	101.25±1.00^{a}	38.96±2.17^{c}	58.34±0.05^{a}	58.14±0.12^{a}	65.42±0.18^{a}	72.71±0.11^{b}	14.57±0.12^{a}	0.1650±0.01^{d}
100℃、60min	175.20±1.88^{b}	66.25±1.76^{ab}	108.75±0.75^{b}	104.50±1.17^{ab}	38.04±0.04^{bc}	58.54±0.11^{b}	58.34±0.22^{a}	65.68±0.14^{ab}	72.71±0.20^{b}	14.37±0.19^{b}	0.1096±0.01^{d}
100℃、90min	183.29±1.04^{b}	68.66±0.47^{b}	114.62±0.70^{b}	105.70±0.38^{b}	37.04±0.04^{ab}	60.07±0.07^{c}	60.11±0.10^{b}	66.36±0.08^{d}	73.29±0.16^{c}	13.18±0.07^{ab}	0.0938±0.01^{c}
100℃、120min	174.00±1.83^{ab}	67.20±0.29^{b}	106.80±1.62^{ab}	103.17±0.50^{ab}	35.96±0.29^{a}	60.88±0.06^{d}	61.68±0.28^{c}	66.48±0.33^{d}	73.38±0.23^{c}	11.70±0.41^{ab}	0.0820±0.00^{b}
120℃、60min	288.42±2.50^{e}	109.09±0.35^{c}	179.33±2.25^{c}	155.34±0.16^{c}	46.25±0.08^{d}	59.94±0.08^{c}	60.08±0.50^{b}	65.91±0.07^{bc}	72.75±0.21^{b}	12.67±0.45^{ab}	0.1050±0.02^{c}
120℃、90min	314.8±4.20^{d}	125.16±2.11^{d}	189.71±1.50^{d}	175.62±2.20^{d}	50.46±0.71^{e}	61.09±0.09^{e}	61.24±0.26^{c}	66.29±0.20^{d}	73.09±0.07^{c}	11.86±0.19^{ab}	0.0827±0.00^{b}
120℃、120min	328.25±2.17^{e}	140.335±1.53^{e}	187.92±1.08^{cd}	208.16±1.58^{e}	67.83±0.50^{f}	61.21±0.10^{e}	62.64±0.62^{d}	66.22±0.14^{cd}	72.18±0.20^{a}	9.53±0.80^{a}	0.0761±0.03^{a}

注：T_o. 糊化起始温度；T_p. 糊化峰值温度；T_c. 糊化终止温度；T_c-T_o. 糊化温度范围区间；ΔH. 糊化所需焓值。

下，糯麦粉的回升值显著提高，这说明过高的热处理温度不利于糯麦粉的黏度稳定性。

由于糯小麦不产生直链淀粉，因此淀粉糊化特性与普通小麦差异很大，其峰值温度、糊化温度都低于普通小麦，表明易于糊化的特性[17]。由表3可知，在100℃条件下糯麦粉而经过热处理的糯麦粉峰值温度以及起始糊化温度都比未经过热处理的对照组要高。如在100℃温度下，经过120min热处理的糯麦粉的起始温度和峰值温度分别上升了6.08%和1.62%。糊化温度的提高说明热处理之后的淀粉之间化学键作用力增强，意味着需要更高的温度使得淀粉颗粒发生糊化作用。Wadug等[18]研究者指出，对淀粉进行适当的热处理可以提高淀粉颗粒结晶区和非结晶区的稳定性，加强淀粉链之间的相互作用，淀粉发生一定的变化如淀粉颗粒的重组、淀粉颗粒稳定性提高、结晶度提高、双螺旋结构形成，和直链淀粉的溢出等。淀粉结构发生的变化可能导致糊化温度的提高[18]，这可能解释糯麦粉其峰值温度和起始糊化温度的提高。在100℃和120℃热处理条件下，糯麦粉的糊化温度区间呈明显的下降趋势。Liu等[19]指出合适的热处理条件可以提高支链淀粉的糊化温度，并且使得糊化温度的范围区间变窄，糊化温度区间的变窄说明样品具有更好的均一性。表3可显示热处理的糯麦粉的糊化焓值呈下降趋势。同一热处理条件下，糊化焓值随着热处理时间的延长而呈下降趋势。淀粉糊化吸热焓受到淀粉的结晶度的影响，结晶度大使得糊化需要吸收更多的热量，会增加淀粉的糊化吸热焓变[20]。糯麦粉中不含或含有很少的直链淀粉，因此糯麦粉的热处理作用可能导致支链淀粉结晶区的破坏，造成结晶度下降，从而使得糊化焓值下降[21]。

2.4 热处理条件对糯麦面包烘焙特性的影响

2.4.1 比容和色泽

由表4可知，不添加经过热处理的糯麦粉做出的面包的比容为4.26mL/g，而添加经过特定条件热处理的糯麦粉做出的面包显著增高。比如糯麦粉在100℃和120℃条件下热处理90min后，其糯麦面包的比容分别为4.87mL/g和4.73mL/g，上升了14.32%和11.03%。但是极端的热处理条件会对面包的色泽产生不良的影响。在烘焙过程中面包颜色的形成也是影响面包质量的重要因素。同一热处理温度下，面包芯的亮度随着热处理时间的延长而降低，且所有经过热处理的糯麦面包都较空白暗。特别是100℃、120min和120℃、120min组别的糯麦面包，其颜色亮度值最低，这可能是因为热处理促进了美拉德反应，使得糯麦面包的色泽较差。

表4 不同热处理条件对糯麦面包比容和亮度的影响

Table 4 Effect of heat treatment conditions on the specific volume and lightness of waxy bread

热处理条件	比容/(mL/g)	L	a	b
对照组	4.260±0.035^{a}	81.560±0.205^{e}	0.070±0.000^{a}	15.800±0.090^{a}
100℃、60min	4.050±0.067^{a}	80.300±0.210^{d}	0.090±0.000^{b}	16.170±0.155^{ab}
100℃、90min	4.770±0.030^{ab}	79.350±0.059^{cd}	0.110±0.006^{b}	16.470±0.015^{ab}
100℃、120min	4.870±0.167^{c}	78.490±0.044^{bc}	0.210±0.013^{c}	16.920±0.080^{b}
120℃、60min	4.153±0.063^{a}	80.200±0.975^{d}	0.400±0.021^{f}	17.850±0.450^{c}
120℃、90min	4.590±0.026^{b}	77.650±0.230^{ab}	0.360±0.010^{e}	18.240±0.108^{c}
120℃、120min	4.743±0.161^{ab}	76.380±0.005^{a}	0.320±0.000^{d}	18.390±0.792^{c}

2.4.2 质构特性

表5 不同热处理条件对糯麦面包质构的影响

Table 5 Effect of heat treatment conditions on the texture of waxy bread

热处理条件	硬度/g	胶黏性/g	咀嚼性/g
对照组	333.984±0.230^{f}	224.678±0.888^{a}	199.518±1.296^{b}
100℃、60min	324.314±0.464^{e}	222.281±0.416^{c}	191.546±1.420^{a}
100℃、90min	280.454±0.938^{g}	180.182±0.386^{b}	167.659±0.985^{c}
100℃、120min	216.530±0.780^{b}	152.501±0.794^{e}	131.162±0.868^{d}
120℃、60min	282.939±0.192^{d}	200.323±0.856^{f}	175.568±2.164^{e}
120℃、90min	254.261±0.534^{c}	173.690±0.666^{d}	149.346±1.152^{g}
120℃、120min	199.537±0.631^{a}	138.636±0.317^{g}	122.483±0.760^{f}

一定的热处理条件会降低糯麦面包的硬度、胶黏性和咀嚼性。硬度是面包老化的直观表征，与面包品质呈显著负相关。由表5可知，热处理使得糯麦面包的质地更加柔软。一般来说，当糯麦粉的添加量大于20%时，糯麦面包的黏度过大，造成的口感较差。面包的咀嚼性同硬度一样，与面包的品质成负相关。适当的热处理可以

大大降低糯麦面包的胶黏性和咀嚼性。如在100℃条件下，经过120min热处理的糯麦粉制作的面包其胶黏性和咀嚼性比对照组分别降低了47%和63%，极大改善了糯麦面包的口感。

2.4.3 面包评分

表6 不同热处理的糯麦面团面包感官评分

Table 6 Sensory analysis of waxy dough bread with different heat treatment conditions

热处理条件	外观	色泽	风味	口感	总体接受度	总分
对照组	6.70^{b}	7.83^{b}	6.83^{ab}	6.33^{a}	6.67^{bc}	34.17^{b}
100℃、60min	7.75^{c}	7.58^{b}	7.25^{b}	6.67^{ab}	7.50^{d}	36.75^{c}
100℃、90min	6.90^{b}	7.16^{b}	6.75^{ab}	7.33^{c}	6.75^{c}	36.83^{b}
100℃、120min	6.25^{a}	7.08^{b}	7.17^{ab}	7.25^{c}	6.25^{ab}	34.00^{b}
120℃、60min	6.80^{b}	7.42^{b}	6.76^{ab}	6.50^{a}	6.92^{c}	34.42^{b}
120℃、90min	6.25^{a}	7.00^{b}	6.58^{a}	6.67^{a}	6.17^{a}	32.67^{a}
120℃、120min	6.08^{a}	6.42^{a}	7.00^{ab}	7.17^{bc}	6.25^{ab}	32.92^{a}

注：30% 糯麦粉替代量。

对不同添加不同热处理的糯麦粉制作出糯麦面包，进行感官评分。由表6可知，经过100℃分别处理60min和90min的糯麦粉制作出的面包不但外观与风味较对照组好，且色泽和口感与未经过热处理组的面包相比无显著性差异，整体接受度较高，尤其是经过100℃处理60min的糯麦面包，整体接受度最高，较受人们喜爱。

3 结 论

糯麦粉经过一定条件的热处理后，其糊化特性显著提高，糊化温度和糊化峰值均比未经过热处理的糯麦粉高；但是在同一热处理温度下，随着热处理时间的延长，黏度上升的趋势比较缓慢。在同一热处理温度下，糯麦粉的糊化焓值随着热处理时间呈下降趋势。在高筋粉中添加一定量经过热处理的糯麦粉可以显著增大糯麦面包的比容并改善糯麦面包的品质，特别是添加了经过100℃热处理60min和120min的糯麦粉；糯麦面包的硬度、胶黏性和咀嚼性因添加经过热处理的糯麦粉而降低，但是随着热处理时间的延长、热处理温度的升高，糯麦面包的色泽变暗，对面包的质地产生不良的影响；综合感官评定可知，添加经过100℃热处理60min糯麦粉制作的糯麦面包质地较好，最易受人们喜爱。

参考文献：

[1] 秦中庆, 高新楼, 刘钟栋, 等. 糯小麦粉与普通小麦粉配粉糊化特性的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2005(5): 14-16.

[2] WANISKA R D, GRAYBOSCH R A, ADAMA J L. Effect of partial waxy wheat on processing and quality of wheat flour tortillas[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(2): 210-214.

[3] GRAYBOSCH R A. Waxy wheat: origin, properties, and prospects[J]. Trends in Food Science and Technology, 1988, 9(4): 135-142.

[4] BHATTACHARY M, ERAZO-CASTREJN S V, DOEHLERT D C, et al. Staling of bread as affected by waxy wheat flour blends[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(2): 178-182.

[5] HAYAKAWA K, TANAKA K, NAKAMURA T, et al. End use quality of waxy wheat flour in various grain-based foods[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(3): 364-369.

[6] KIM W, JOHNSON W, GRAYBOSCH R A, et al. Physicochemical properties and end-use quality of wheat starch as a function of waxy protein alleles[J]. Journal of Cereal Science, 2003, 37: 195-204.

[7] LEE M L, SWANSON B G, BAIK B K. Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking quality of starch and gluten blends[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78: 701-706.

[8] GELINAS P, MCKINNON C M, RODRIGUE N, et al. Heating conditions and bread-making potential of substandard flour[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(4): 627-632.

[9] WOLT M, CHIGURUPATI S R, PULVERENTI. Method for heat treating a bread baking wheat flour and resulting flour and dough: US, 5433966[P]. 1995-07-18.

[10] SHI Y C. Non-cohesive waxy flours and method of preparation: US, 0041918[P]. 2009-02-12.

[11] PURHAGEN J K, MALIN E S, ELIASSON A C. The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104: 414-421.

[12] PURNA S K G. Understanding and improving functionality of waxy flours[D]. Kansas: Kansas State University, 2010.

[13] 魏益民, 任嘉嘉, 张波, 等. 高温处理燕麦籽粒对面粉黏度特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 99-302.

[14] GELINAS P, MCKINNON C M. Effect of flour heating on dough rheology[J]. Lebensm-Wiss u-Technol, 2004, 37: 129-131.

[15] ZAVAREZE E D R, DIAS A R G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: a review[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83: 317-328.

[16] CHAKRABORTYA M, MATKOVIC K, GRIER D G, et al. Physicochemical and functional properties of tetraploid and hexaploid waxy wheat starch[J]. Starch/Stärke, 2004, 56: 339-347.

[17] 覃鹏. 糯小麦粉的理化性质及添加比例对面包、中国干白面条和馒头品质的影响研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.

[18] WADUGE R N, HOOVER R, VASANTHAN T, et al. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylase content[J]. Food Research International, 2006, 39: 59-77.

[19] LIU H S, YU L, GEORGE S, et al. Effects of annealing on gelatinzation and microstructures of corn starches with different amylose/amylopectin ratios[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 77: 662-669.

[20] ROLANDO G, ENZO T. Amaranth starch-rich fraction properties modified by high-temperature heating[J]. Food Chemistry, 2007, 103: 927-934.

[21] SAKONIDOU E P, KARAPANTSIOS T D, RAPHAELIDES S N. Mass transfer limitations during starch gelatinization[J]. Carbonhydrate Polymers, 2003, 53(1): 53-61.