

## 高温处理燕麦籽粒对面粉黏度特性的影响

魏益民<sup>1</sup>, 任嘉嘉<sup>1</sup>, 张波<sup>1</sup>, 陈锋亮<sup>1</sup>, 胡新中<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工与质量控制重点开放实验室, 北京 100193;

2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 杨凌 712100)

**摘要:**该文旨在研究高温处理燕麦籽粒对燕麦面粉黏度特性的影响,为确定燕麦的制粉工艺提供依据。燕麦籽粒采用热风干燥 140、155 和 170℃ 处理 30 min; 远红外烘烤 200、220 和 240℃ 处理 15 min 6 种方式处理; 用法国肖邦公司 CD-2 实验磨粉机制粉, 测定皮粉、心粉和面粉的黏度参数。结果表明, 和对照(50℃热风干燥 6h)相比, 经高温处理的燕麦籽粒, 其皮粉、心粉和面粉的平均糊化起始温度均明显降低; 140、155℃ 的热风干燥和 200℃ 的远红外烘烤处理, 均能提高皮粉、心粉和面粉的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度; 随着热风干燥或红外烘烤温度的升高, 燕麦的皮粉、心粉、面粉的峰值黏度, 最终黏度和低谷黏度呈下降趋势。初步研究认为, 适宜的处理温度(140~155℃热风干燥或 200℃远红外烘烤)可降低燕麦粉的糊化温度, 增加燕麦粉的黏度。

**关键词:** 热处理, 高温效应, 黏度, 制粉, 燕麦, 面粉

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.05.056

中图分类号: TS211

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2009)-5-0299-04

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): 299-302.

Wei Yimin, Ren Jiajia, Zhang Bo, et al. Effects of high-temperature heat treatment of oat kernel on viscosity properties of oat flour[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(5): 299-302.(in Chinese with English abstract)

### 0 引言

燕麦 (*Avena Sativa L.*) 食品制作方式与传统的小麦食品有着本质的区别<sup>[1,2]</sup>。中国传统燕麦食品的制作方式是先对燕麦籽粒进行炒制, 然后制粉, 再制作食品。目前, 人们还没有从谷物化学的角度回答燕麦制粉前为什么需要炒制、经炒制后燕麦籽粒的面粉特性发生了哪些变化, 以及这些变化对食品加工和食品质量有什么影响等问题。燕麦籽粒的可食部分主要是淀粉, 含量在 54.9%~63.6% 之间, 且直链淀粉含量较高, 同时还含有脂肪、蛋白质、纤维素和灰分等<sup>[3]</sup>。大量研究表明, 淀粉的结构与理化性质直接影响面粉的加工性能和食用品质。目前, 主要根据快速黏度仪测定黏度参数来评价淀粉的糊化特性。研究表明, 淀粉黏度参数与面条、馒头和面包等食品加工品质呈极显著相关, 淀粉糊化起始温度较低、峰值黏度越高, 面条的品质越好。Konik 指出面条的硬度和口感与快速黏度分析仪(Rapid Viscosity Analyser, RVA)测定的峰值黏度、低谷黏度和最终黏度呈极显著相关<sup>[4]</sup>。杨学举等认为, 具有高峰值黏度、较低的低谷黏度的淀粉可增加烘烤面包的体积、结构纹理和适口性<sup>[5]</sup>。

试验以裸燕麦 (*Avena Nuda*) 籽粒为原料, 采用热风干燥和远红外烘烤模拟传统炒制工艺, 通过黏度参数分析, 探讨燕麦籽粒烘烤方式和烘烤温度对燕麦皮粉、心粉和面粉黏度特性的影响, 确定适宜的处理温度和方式, 为确定燕麦的制粉工艺提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

燕麦籽粒: 裸燕麦 (*Avena Nuda*), 购于河北省张家口市康希燕麦食品有限公司, 为 2006 年收获的样品。

#### 1.2 试验设备

DHG-9123 型电热恒温鼓风干燥箱 (上海精宏实验设备有

限公司), YXD-8B 型远红外烤箱 (粤海西厨设备厂), CD-2 型实验磨粉机 (法国肖邦公司), MVAG803202 型微量快速黏度仪 (德国 Brabender GmbH 食品仪器公司)。

#### 1.3 试验方法

##### 1.3.1 燕麦制粉工艺

称取 1 kg 燕麦籽粒, 清洗、除杂, 在 50℃ 条件下烘干; 将烘干后的燕麦籽粒进行润麦水分润至 20%, 贮存 12 h; 分别放入烘箱和红外烤箱, 在不同温度下进行烘烤; 烘烤结束后测定其含水率; 进行二次润麦 (水分润至 11%), 贮藏 12 h; 将燕麦籽粒用肖邦磨制粉, 得到皮粉、心粉、细麸和麦麸 4 种成分; 按照皮粉、心粉的自然出粉率进行配比, 得燕麦面粉。流程如图 1 所示。

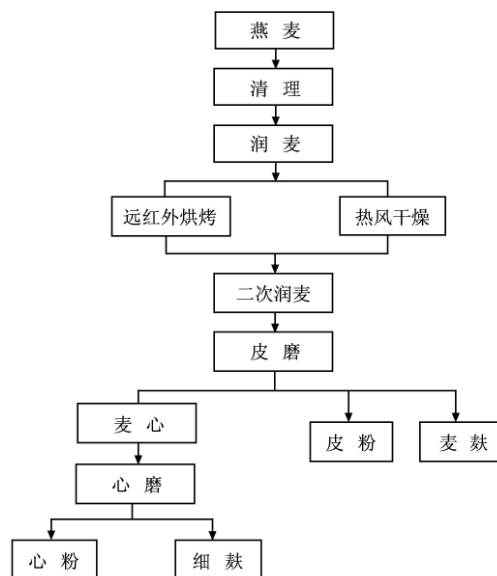


图 1 燕麦籽粒制粉工艺流程图

Fig.1 Flow chart of oat milling technology

##### 1.3.2 烘烤处理

1) 对照组: 燕麦籽粒在 50℃ 热风条件下干燥 6 h<sup>[6]</sup>。

2) 热风干燥: 燕麦籽粒在 140、155 和 170℃ 3 个温度下热

收稿日期: 2008-02-17 修订日期: 2008-11-21

基金项目: 中国农业科学院杰出人才基金; 国家燕麦产业技术体系建设专项 (nycytX-14); 农业部公益性行业项目 (nyhyzx07-009)

作者简介: 魏益民 (1957-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工及食品安全方面的研究。北京 中国农业科学院农产品加工研究所, 100193。Email: weiyimin36@hotmail.com

风干燥 30 min。

3) 远红外烘烤: 将燕麦籽粒分别在 200、220 和 240℃ 3 个温度下用远红外烤箱烘烤 15 min<sup>[7]</sup>。

### 1.3.3 黏度参数测定

采用布拉本德微量快速黏度仪 (Micro Visco-Amylo-Graph, 简称 MVAG) 测定。称取皮粉、心粉、燕麦面粉各 10.00 g, 含水率校准至 14%, 加 100 mL 蒸馏水, 摇匀, 然后移到 MVAG 的旋转皿中, 卡入旋转塔; 设定旋转皿转速为 250 r/min, 初始温度为 30℃, 以 7.5℃/min 升温至 93℃, 保温 5 min, 再以 7.5℃/min 的速度降温至 50℃, 保温 1 min; 测定皮粉、心粉、燕麦面粉的糊化起始温度、峰值黏度、最终黏度和低谷黏度, 并由计算机实时记录扭矩, 绘制黏度曲线图<sup>[8]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 高温处理燕麦籽粒对皮粉黏度特性的影响

从表 1 可以看出, 经不同高温处理后, 皮粉的黏度特性差异较大。和对照相比, 热风干燥 (140、155 和 170℃) 处理后, 皮粉的糊化起始温度平均降低 7.6%, 峰值黏度、最终黏度和低谷黏度平均高出 14.2%、2.8%、14.8%; 远红外烘烤 (200、220 和 240℃) 处理后, 皮粉的糊化起始温度平均降低 7.4%, 峰值黏度、最终黏度和低谷黏度平均高出 3.3%、19.3% 和 8.2%。140℃ 和 155℃ 热风干燥处理, 使皮粉的峰值黏度、最终黏度和低谷黏度较对照分别平均高出 27.4%、25.3%、32.4% 和 24.3%、24.9%、31.3%; 但 170℃ 处理后较对照分别降低 9.1%、5.7% 和 5.8%。远红外烘烤处理对皮粉的黏度特性也有类似的影响规律。200℃ 和 220℃ 远红外烘烤处理, 使皮粉的峰值黏度、最终黏度和低谷黏度较对照分别高出 10.7%、10.5%、17.1% 和 3.2%、2.8%、8.7%, 240℃ 红外处理后较对照分别降低 5.3%、3.3% 和 13.4%。

表 1 高温处理燕麦籽粒对皮粉黏度特性的影响

Table 1 Effects of high-temperature heat treatment of oat kernel on viscosity properties of break flour

处理	温度 /℃	糊化起始温度 /℃	峰值黏度 /Pa·s	最终黏度 /Pa·s	低谷黏度 /Pa·s
对照	50	78.6	0.22	0.40	0.19
	140	71.9	0.28	0.51	0.26
热风干燥	155	74.1	0.28	0.51	0.25
	170	71.8	0.20	0.38	0.18
平均值	155	72.6	0.26	0.46	0.23
	200	73.8	0.25	0.45	0.23
远红外烘烤	220	69.9	0.23	0.42	0.21
	240	74.7	0.21	0.39	0.19
平均值	220	72.8	0.23	0.42	0.21

和热风干燥 140℃、远红外 200℃ 相比, 经热风干燥或远红外处理的皮粉峰值黏度、最终黏度和低谷黏度都随温度的升高而降低。当热风干燥处理温度由 140℃ 升至 170℃ 时, 峰值黏度从 0.28 Pa·s 降至 0.20 Pa·s, 降幅达 28.7%; 最终黏度从 0.51 Pa·s 降至 0.38 Pa·s, 降幅达 24.8%; 低谷黏度从 0.26 Pa·s 降至 0.18 Pa·s, 降幅达 28.8%。远红外烘烤处理温度由 200℃ 升至 240℃ 时, 峰值黏度从 0.25 Pa·s 降至 0.21 Pa·s, 降幅达 14.5%; 最终黏度从 0.45 Pa·s 降至 0.39 Pa·s, 降幅达 12.5%; 低谷黏度从 0.22 Pa·s 降至 0.19 Pa·s, 降幅达 15.5%。

### 2.2 高温处理燕麦籽粒对心粉黏度特性的影响

由表 2 可知, 高温处理对燕麦籽粒心粉的黏度参数有影响。和对照相比, 热风干燥 (140、155 和 170℃) 处理后心粉的糊

化起始温度平均降低 8.4%, 峰值黏度和最终黏度平均降低 3.6% 和 3.9%; 远红外烘烤 (200、220 和 240℃) 处理后, 心粉的糊化起始温度降低 6.8%, 峰值黏度、最终黏度和低谷黏度平均降低 5.7%、7.0% 和 1.0%。经 140℃ 和 155℃ 热风干燥的心粉峰值黏度、最终黏度和低谷黏度比对照平均高出 8.3%、6.2%、13.5% 和 1.8%、0.2%、4.5%; 但经 170℃ 处理后较对照值分别降低 21.0%、17.9% 和 17.2%。远红外烘烤时, 200℃ 烘烤样品的峰值黏度、最终黏度和低谷黏度较对照分别高出 5.3%、5.6% 和 13.1%; 而经 220℃ 和 240℃ 处理的则分别较对照低 8.9%、10.1%、1.9% 和 13.6%、16.4%、14.2%。热风干燥在 140℃、155℃, 远红外烘烤在 200℃ 时, 能提高峰值黏度、最终黏度、低谷黏度。

表 2 高温处理燕麦籽粒对心粉黏度特性的影响

Table 2 Effects of high-temperature heat treatment of oat kernel on viscosity properties of middling flour

处理	温度 /℃	糊化起始温度 /℃	峰值黏度 /Pa·s	最终黏度 /Pa·s	低谷黏度 /Pa·s
对照	50	75.3	0.24	0.41	0.19
	140	71.0	0.26	0.44	0.21
热风干燥	155	73.0	0.24	0.41	0.20
	170	63.0	0.19	0.34	0.16
平均值	155	69.0	0.23	0.40	0.19
	200	68.8	0.25	0.44	0.21
远红外烘烤	220	71.2	0.22	0.37	0.18
	240	70.6	0.21	0.34	0.16
平均值	220	70.2	0.22	0.38	0.19

和热风干燥 140℃、远红外 200℃ 相比, 经热风干燥或远红外处理的心粉峰值黏度、最终黏度和低谷黏度都随温度的升高而降低。当热风干燥处理温度由 140℃ 升至 170℃ 时, 峰值黏度从 0.26 Pa·s 降至 0.19 Pa·s, 降幅达 27.0%; 最终黏度从 0.44 Pa·s 降至 0.34 Pa·s, 降幅达 22.7%; 低谷黏度从 0.21 Pa·s 降至 0.16 Pa·s, 降幅达 27.1%。远红外烘烤处理温度由 200℃ 升至 240℃ 时, 峰值黏度从 0.25 Pa·s 降至 0.21 Pa·s, 降幅达 18.0%; 最终黏度从 0.44 Pa·s 降至 0.34 Pa·s, 降幅达 20.9%; 低谷黏度从 0.21 Pa·s 降至 0.16 Pa·s, 降幅达 24.2%。

### 2.3 高温处理燕麦籽粒对燕麦面粉黏度特性的影响

通过表 3 分析认为, 和对照相比, 高温处理对燕麦面粉 (自然出粉率下心粉与皮粉的混合粉) 的黏度参数有影响。热风干燥 (140、155 和 170℃) 处理后, 燕麦面粉的糊化起始温度平均降低 5.5%, 峰值黏度、最终黏度和低谷黏度平均高出 3.9%、6.0% 和 6.2%; 远红外烘烤 (200、220 和 240℃) 处理后燕麦面粉的糊化起始温度平均降低 5.4%, 峰值黏度、最终黏度和低谷黏度平均高出 0.2%、0.7% 和 0.7%。经 140℃ 和 155℃ 热风干燥的心粉峰值黏度、最终黏度和低谷黏度比对照平均高出 14.2%、15.2%、16.9% 和 13.3%、10.1%、16.2%; 但经 170℃ 处理后较对照值分别降低 15.7%、7.4% 和 14.4%。远红外烘烤时, 200℃ 烘烤样品的峰值黏度、最终黏度和低谷黏度较对照分别高出 7.3%、10.8% 和 12.6%; 而经 220℃ 和 240℃ 处理的则分别较对照低 0.3%、0.7%、3.6% 和 6.3%、8.1%、6.8%。热风干燥在 140℃、155℃, 远红外烘烤在 200℃ 时, 峰值黏度、最终黏度、低谷黏度都高于对照值。

和热风干燥 140℃、远红外 200℃ 相比, 经热风干燥或远红外处理的燕麦面粉峰值黏度、最终黏度和低谷黏度都随温度的升高而降低。当热风干燥处理温度由 140℃ 升至 170℃ 时, 峰值黏度从 0.27 Pa·s 降至 0.20 Pa·s, 降幅达 26.2%; 最终黏度从 0.46 Pa·s 降至 0.37 Pa·s, 降幅达 19.6%; 低谷黏度从 0.23 Pa·s

降至 0.17 Pa·s, 降幅达 26.8%。远红外烘烤处理温度由 200℃ 升至 240℃ 时, 峰值黏度从 0.25 Pa·s 降至 0.22 Pa·s, 降幅达 12.7%; 最终黏度从 0.44 Pa·s 降至 0.37 Pa·s, 降幅达 17.1%; 低谷黏度从 0.22 Pa·s 降至 0.18 Pa·s, 降幅达 17.3%。

表3 高温处理燕麦籽粒对燕麦面粉黏度特性的影响  
Table 3 Effects of high-temperature heat treatment of oat kernel on viscosity properties of oat flour

处理	温度 /℃	心粉:皮粉 质量比	糊化起始 温度/℃	峰值黏度 /Pa·s	最终黏度 /Pa·s	低谷黏度 /Pa·s
对照	50	1:1.2	77.7	0.23	0.40	0.20
热风 干燥	140	1:1.8	68.7	0.27	0.46	0.23
	155	1:2.4	77.3	0.26	0.44	0.23
	170	1:1.4	74.3	0.20	0.37	0.17
平均值	155	1:1.8	73.4	0.24	0.42	0.21
远红外 烘烤	200	1:2.2	71.2	0.25	0.44	0.22
	20	1:1.3	74.6	0.23	0.40	0.19
	240	1:1.2	74.6	0.22	0.37	0.18
平均值	220	1:1.6	73.5	0.23	0.40	0.20

注: 心粉和皮粉质量比为不同温度处理时自然出粉率下的质量比。

### 3 讨论

国内外众多研究表明, 温度会引起淀粉颗粒结构的变化, 主要表现在淀粉分子间的氢键和淀粉颗粒结晶区被破坏, 导致淀粉糊化起始温度降低。Gonzalez 等对苜蓿淀粉进行高温处理后发现, 与未烘烤的样品相比, 其结晶度和糊化焓都显著降低, 并随温度的升高而逐渐降低<sup>[9]</sup>。Sakonidou 等指出加热可以破坏淀粉颗粒之间的氢键, 使淀粉分子膨胀, 并最终导致淀粉颗粒破裂, 使得淀粉变得易糊化<sup>[10]</sup>。燕麦籽粒在制粉前要进行润麦, 堆放, 然后用炒锅炒熟, 这一过程除了降低脂肪酶活性外, 还使燕麦籽粒膨胀, 利于制粉的剥刮处理, 改善口感; 同时也可能使淀粉分子的结构发生改变, 氢键和结晶区发生断裂, 产生了部分糊化作用, 进而引起糊化起始温度降低。

研究发现, 淀粉粒的膨胀能力和膨胀程度在很大程度上决定了淀粉糊的黏度。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, 这样峰值黏度就较高<sup>[11]</sup>。研究表明, 高温处理会使淀粉颗粒膨胀性和吸水性增强。Olayinka 等对高温汽蒸处理后的改性淀粉和普通淀粉进行烘烤处理 (60~90℃), 发现两种淀粉颗粒的膨胀性和吸水性均随温度升高而明显的增强<sup>[12]</sup>。Yue Li 等对大米淀粉进行热处理后, 同样发现淀粉颗粒的膨胀性得到了明显的增强<sup>[13]</sup>。Parker 等进一步研究后指出, 淀粉颗粒体积的增大, 会使淀粉的黏度增加<sup>[14]</sup>。但燕麦淀粉不同于小麦淀粉、大米淀粉, 其含有 0.7%~2.5% 脂质, 并以淀粉—脂质复合物形式存在; 同时, 燕麦皮粉、心粉和面粉中的脂肪含量较高<sup>[4]</sup>。大量的研究表明, 随着烘烤温度的上升, 脂—蛋白间的结合减弱, 脂类转向与淀粉结合。油脂会渗透到淀粉分子内部并与其中的直链淀粉分子形成复合物, 而这种复合物会显著降低淀粉颗粒的膨胀性、溶解性, 同时增加其疏水性, 其原理在于油脂覆在淀粉颗粒的表面上, 形成一层薄膜使其疏水性增加, 从而有效抑制淀粉颗粒的水合性和膨胀性, 最终导致黏度曲线下降, 并且下降趋势随淀粉中脂肪含量的增加而变得剧烈<sup>[15-20]</sup>。

研究发现适宜的热风干燥和远红外烘烤都使燕麦皮粉、心粉和面粉的峰值黏度、最终黏度和低谷黏度提高, 继续升高温度后又出现黏度降低的趋势。在热风干燥 140℃、155℃, 以及远红外烘烤 200℃ 时, 其峰值黏度、最终黏度都明显的高于对照。

这表明适宜的高温处理会使淀粉颗粒的膨胀性和吸水性发生改变, 而黏度参数又与淀粉颗粒的膨胀性和吸水性密切相关。温度过高有可能使淀粉—脂质复合物增加, 或形成淀粉热损伤, 又使黏度降低。本研究没有设计接近糊化起始温度段 (70~140℃) 的处理, 以及脂肪、蛋白质和损伤淀粉对黏度参数影响的试验, 还不能解释所有问题, 有待进一步研究。

### 4 结论

燕麦籽粒经热风干燥 (140、155 和 170℃) 和远红外烘烤 (200、220 和 240℃) 处理后制粉, 分析燕麦皮粉、心粉和面粉的黏度特性变化, 结论如下:

1) 和对照相比, 热风干燥和远红外烘烤分别使皮粉的糊化起始温度平均降低 7.6% 和 7.4%, 心粉的糊化起始温度平均降低 8.4% 和 6.8%, 面粉的糊化起始温度平均降低 5.5% 和 5.4%。

2) 经 140℃、155℃ 热风干燥和 200℃ 远红外烘烤后, 皮粉、心粉和面粉的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度较对照均有所提高。

3) 随着热风干燥或远红外烘烤温度的升高, 燕麦的皮粉、心粉、面粉的峰值黏度, 最终黏度和低谷黏度呈下降趋势。

4) 适宜的温度处理 (140~155℃ 热风干燥或 200℃ 远红外烘烤) 能够降低面粉的糊化温度, 增加黏度。

### 参考文献

- [1] Liu, Hsieh E, Heyman H, et al. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff[J]. Journal of Food Science, 2000, 65: 1253-1258.
- [2] 况伟. 燕麦可溶性膳食纤维的生理功能及应用[J]. 广东化工, 2005, (3): 26-27.  
Kuang Wei. Physiological effect and its application in food industry of soluble dietary fiber[J]. Guangdong Chemical Industry, 2005, (3): 26-27. (in Chinese with English abstract)
- [3] Robert W. Welch. The Oat Crop[M]. London: Chapman and Hall, 1995.
- [4] Konik C M, Moss R. Relationship between Japanese noodle quality and RVA paste viscosity[A]. Proc 42nd Aust Cereal Chem Conf[C]. Melbourne, 1992: 209-212.
- [5] 杨学举, 杜朝, 刘广田. 小麦淀粉特性与面包烘烤品质的相关性[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(2): 12-15.  
Yang Xueju, Du Zhao, Liu Guangtian. Relationship between wheat starch properties and bread-baking quality[J]. Chinese Cereals and Oils Association, 2005, 20(2): 12-15. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王辉, 马传喜, 徐风, 等. 热处理对小麦籽粒蛋白组分的影响[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(4): 64-66.  
Wang Hui, Ma Chuanxi, Xu Feng, et al. Effect of heat-treatment on endosperm protein components of wheat[J]. Acta Tritical Crops, 2001, 21(4): 64-66. (in Chinese with English abstract)
- [7] 胡新中. 燕麦的酶活性及其食品加工中抑制工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007: 1-3.  
Hu Xinzhong. Oat Enzyme and Its deactivation for Oat Food processing[D]. Yang Ling: Northwest A and F university, 2007: 1-3. (in Chinese with English abstract)
- [8] 姚大年. 小麦品种面粉黏度性状及其在面条品质评价中的作用[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(3): 25-29.  
Yao Danian, Li Baoyun, Liang Rongqi, et al. Effects of flour viscosity traits in evaluating wheat varieties for their noodle quality[J]. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(3): 25-29. (in Chinese with English abstract)
- [9] Rolando Gonzalez, Enzo Tosi. Amaranth starch-rich fraction properties modified by high-temperature heating[J]. Food Chemistry, 2007, 103: 927-934.
- [10] Sakonidou E P, Karapantsios T D, Raphaelides S N. Mass transfer limitations during starch gelatinization[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(1): 53-61.

- [11] 魏益民. 谷物品质与食品加工[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005: 87-88.
- [12] Olayinka O O, Adebawale K O, Olu-Owolabi B I. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22: 225-230.
- [13] Li Yue, Shoemaker C F, Ma Jianguo, et al. Structure-viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating[J]. Food Chemistry, 2008, 106(3): 1105-1112.
- [14] Parker R, Ring S G. Aspects of the physical chemistry of starch[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 34: 1-17.
- [15] Zhou Zhongkai, Kevin Robards. Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties[J]. Food Research International, 2007, 40: 209-214.
- [16] Kim C S, Walker C E. Changes in starch pasting properties due to sugars and emulsifiers as determined by viscosity measurement[J]. Journal of Food Science, 1992, 57: 1009-1013.
- [17] Raphaelides S N, Georgiadis N. Effect of fatty acids on the rheological behavior of pea starch dispersions during heating[J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21: 1188-1200.
- [18] Raohaelides S N, Georgiadis N. Effect of fatty acids on the rheological behavior of amylo maize starch dispersions during heating[J]. Food Research International, 2007, 10: 1-3.
- [19] Jaspreet Singh, Narpinder Singh. Effect of fatty acids on the rheological properties of corn and potato starch[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52: 9-16.
- [20] 姚鑫淼, 马兴胜, 张学山, 等. 淀粉-脂肪复合物模型研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2004, 20(2): 216-219. Yao Xinmiao, Ma Xingsheng, Zhang Xueshan, et al. Study on compound of starch- fat[J]. Journal of Harbin University of Commerce(Science Edition), 2004, 20(2): 216-219. (in Chinese with English abstract)

## Effects of high-temperature heat treatment of oat kernel on viscosity properties of oat flour

Wei Yimin<sup>1</sup>, Ren Jiajia<sup>1</sup>, Zhang Bo<sup>1</sup>, Chen Fengliang<sup>1</sup>, Hu Xinzhong<sup>2</sup>

(1. Institute of Agro-Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agricultural Product Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China;

2. College of Food Science and Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to provide experimental data on viscosity properties of oats after high-temperature treatment, the oat (*Avena Nuda*.) seed was milled into four components such as bran, shorts, break flour and middling flour after air-heating at 140, 155 and 170°C for 30 min and far-infrared heating at 200, 220 and 240°C for 15 min respectively. The viscosity properties of break flour, middling flour, and oat flour (mixture of break flour and middling flour with nature milling ratio) were investigated. The results showed that after high-temperature treatment, the average gelatinization temperature of break flour, middling flour and oat flour decreased significantly, which were lower than that of oat without high-temperature treatment. Their peak viscosity, final viscosity and hold viscosity increased both under air-heating (140°C, 155°C) and far-infrared heating (200°C), compared with non-treated samples. With the temperature of high-temperature effects treatment increasing gradually, their viscosity properties decreased. Proper treatment temperature, such as 140~155°C air heating or 200°C far-infrared heating can decrease the gelatinization temperature and increase the viscosity of oat flour.

**Key words:** heat treatment, high-temperature effects, viscosity, milling, oat(*Avena Sativa* L), flour