微波处理对燕麦片品质的影响

顾军强[1,2]，钟葵[2]，周素梅[2]，佟立涛[2]，刘丽娅[2]，周闲容[2]，王立[1]
（1.江南大学食品学院，江苏无锡 214036）
（2.中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工综合性重点实验室，北京 100193）

摘要：本文研究了微波灭酶工艺与蒸煮灭酶工艺对燕麦片品质的影响，探讨了完全灭酶基础上微波时间对燕麦片营养品质、消化特性及糊化特性的影响。研究表明，与蒸煮 30 min 灭酶燕麦片相比，微波 40 s 灭酶燕麦片中粗蛋白含量、粗脂肪含量、β-葡聚糖含量和糊化温度均无显著性差异（P>0.05），总酚含量显著增加了 0.43 mg/g（P<0.05），总淀粉含量显著增加了 1.66%（P<0.05），快消化淀粉含量显著增加了 9.17%（P<0.05），峰值黏度显著降低了 14.0 cm·g（P<0.05），回生值显著增加了 11.9 cm·g（P<0.05）。随着微波灭酶时间增加，微波燕麦片 β-葡聚糖含量、总酚含量和蛋白质体外消化率均降低，粗脂肪和快消化淀粉含量增加；总酚含量及快消化淀粉含量随着微波时间增加呈显著变化，峰值黏度、最终黏度、破损值、回生值均随微波时间增加显著提高（P<0.05）。微波灭酶时间对燕麦片品质的影响明显。

关键词：燕麦片；微波处理；营养品质；消化特性；糊化特性
文章篇号：1673-9078(2014)9-241-245 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.09.040

Effect of Microwave Inactivation on Oatmeal Quality

GU Jun-qiang[1,2], ZHONG Kui[2], ZHOU Su-mei[2], TONG Li-tao[2], LIU Li-ya[2], ZHOU Xian-rong[2], WANG Li[1]
(1.Jiangnan University, Wuxi 214036, China) (2.Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Institute of Agro-products Processing Science and Technology Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: In this study, the effect of enzyme inactivation by microwaves or steam on the quality of oatmeal was investigated, and the effect of microwave time on the nutritional quality, digestion characteristics, and pasting properties of oatmeal with complete enzyme inactivation was explored. The results showed that oatmeal treated with microwave inactivation for 40 s showed no significant differences (p>0.05) in the content of β-glucan, crude protein, and crude fat, as well as in the initial gelatinization temperature as compared with oatmeal treated with normal pressure steaming for 30 min. The content of total phenols, total starch, and rapidly digestible starch significantly increased by 43 mg/100 g, 1.66%, and 9.17%, respectively (p<0.05); peak viscosity significantly decreased by 14 cm·g (p<0.05), and the setback value significantly increased by 11.9 cm·g (p<0.05). With increasing time of microwave treatment, the content of β-glucan and total phenols as well as *in vitro* protein digestibility decreased; however, the contents of crude fat and rapidly digestible starch increased. The content of total phenols and rapidly digestible starch showed significant changes, and the peak viscosity, final viscosity, breakdown value, and setback value all significantly increased. Therefore, the microwave time for enzymatic inactivation had obvious effects on the quality of oatmeal.

Key words: oatmeal; microwave inactivation; nutritional quality; digestion characteristics; pasting properties

裸燕麦油脂含量很高（5~9%），80%为不饱和脂肪酸，其中以亚油酸含量最高，占脂肪含量的38.1~52%[1]。这一特点导致燕麦油脂容易被脂肪酶催化水解甘油三脂生成游离脂肪酸，脂氧化酶和过氧化物酶进一步氧化导致燕麦片酸败变质，苦味物质生成，严重影响燕麦片的保质期。因此，燕麦片加工生产中必须彻底灭酶。目前燕麦片灭酶和糊化方式研究有蒸煮、烘烤、炒制等[2]。不同灭酶工艺对燕麦籽粒淀粉显微结构和蛋白质、脂肪、β-葡聚糖均有不同程度的影响[3]。炒制、蒸制、红外灭酶处理可以降低燕麦粉的糊化起始温度，增加燕麦浆糊黏度[4]。但目前研究多集中在烘烤、炒制、蒸煮等灭酶效果及燕麦籽粒/粉理化特性的研究上，灭酶工艺对燕麦产品品质影响的研究较少。

微波作为一种现代化食品加工技术，加热效率高、处理温度低且加热均匀，能够较好的保持食品组分中的色香味和营养物质含量，目前已用于食品工业化生

收稿日期：2014-04-10
基金项目：科技部十二五科技支撑计划项目（2012BAD29B03-02）；科技部十二五科技支撑的项目（2012BAD34B08）；农业部公益性行业科研专项经费；863 计划项目（2013AA102203-7）
作者简介：顾军强（1988-），男，硕士研究生，从事粮油深加工与功能食品研究；钟葵，并列第一作者
通讯作者：王立（1978-），男，副教授，从事功能因子及健康食品研究

产中灭酶、干燥和杀菌。不同微波参数对食品营养价值及加工特性影响较大。李明泽[6]研究结果表明随着微波功率的增大,青稞中的β-葡聚糖含量逐渐上升，在640w时达到最大值，随后下降。陈萌[7]研究结果表明微波处理时间对压榨饼浸出油理化品质，包括水分、酸价、过氧化值、P-茴香胺值、色泽、加热试验等均存在显著影响。但目前微波灭酶处理在燕麦产品上应用较少，且对燕麦产品主要营养组分及加工特性的影响尚无系统研究。

本试验以燕麦籽粒为原材料，采用微波完全灭脂肪酶工艺基础上,研究微波工艺对燕麦片品质的影响，具体考察微波时间对燕麦片理化营养成分、糊化特性、淀粉和蛋白质体外消化特性的影响，旨在探讨不同时间微波处理后燕麦产品营养功效的变化以指导工业化生产和消费。

1 材料与方法

1.1 试验材料

裸燕麦品种坝莜1号，2012年由河北省农业科学院提供；籽粒经挑拣清选后备用。

1.2 试验仪器

微波炉（NN-GS597M），上海松下微波炉有限公司；CT410 旋风磨，丹麦 Foss 公司；Kieltec Analysister 凯氏定氮仪，丹麦 Foss 公司；Soxtec Avanti 2050 自动脂肪检测仪，丹麦 Foss 公司；微型漩涡混合仪（WH-2），天津市泰斯特仪器有限公司；紫外可见分光光度计（UV-1201 型），北京瑞利分析仪器公司；pH 计（pHS-3C），上海雷磁仪器厂等。

1.3 试验方法

1.3.1 灭酶处理

蒸煮处理：燕麦籽粒在金属容器中平摊成 0.5 cm 薄层，100 ℃常压蒸汽蒸制 30 min（温度达到 100 ℃时开始计时，裸燕麦原料中脂肪酶活被完全灭活）。

微波处理：将燕麦籽粒调至含水率 20%，保鲜膜密封以防水分散失，室温下（20±2 ℃）存放 12 h 备用。分别称取 20.00±0.01 g 调质样品，用保鲜膜密封，分别在微波 1000 W 条件下处理 10 s、20 s、30 s、40 s、50 s、60 s。

1.3.2 燕麦片加工工艺

裸燕麦→去杂筛选→水洗除尘→灭酶→烘至水分 15%→压片→烘至水分 10%以下→冷却→包装

1.3.3 燕麦片理化性质测定

水分含量：参照 GB 5009.3-2010 测定；采用乙酸铜比色法测定脂肪酸变化来测定残存酶活[7]；参照 GB5497-1985，105 ℃恒重法测定籽粒水分含量；参照 GB/T 5009.5-2003 测定粗蛋白含量；参照 GB/T 14772-2008 测定粗脂肪含量；参照 AOAC 996.11、AOAC Method 76.13 方法测定总淀粉含量；参照 AACC Method 32-23、AOAC Method 995.16 方法测定葡聚糖含量；采用福林酚法[8]测定燕麦总酚含量；糊化特性：根据 AACC61-02 标准方法稍加改进。采用布拉本德 803200 微型黏度仪（德国 Brabender 公司）测定，记录黏度曲线上的糊化温度、峰值黏度、低谷黏度、最终黏度和回生值等特征参数。

1.3.4 燕麦片淀粉体外消化特性

燕麦片淀粉体外消化采用 AACC32-40 测定，具体操作参照 Mishra 等[9]的方法进行。燕麦片粉（100 mg）与 15 mL 醋酸钠缓冲溶液（0.1 M，pH 5.2）混合，加 10 mL 含有 10 mg/mL 胰 α-淀粉酶和 33 U/mL 的淀粉葡萄糖苷酶在 37 ℃恒温振荡器（200 次/min）反应 2 h，取 1 mL 混合液加 4 mL 无水乙醇停止反应，3000 r/min 离心 10 min 采用葡萄糖氧化酶-过氧化物酶试剂盒（GOPOD）测定上清液中葡萄糖的含量

培养 20 min、120 min 后分别测定快速消化淀粉（RDS）、慢速消化淀粉（SDS）含量；120 min 后剩余的淀粉为抗性淀粉含量。

1.3.5 燕麦片蛋白体外消化特性

燕麦片蛋白质的体外消化试验采用的 Wang 等[10]报道的体外消化模型进行，略有改动。

准确称取 2 g 样品分散于 20 mL、pH 1.5 的 HCl 溶液，37 ℃水浴 5 min 后加入胃蛋白酶溶液 0.5 mL（酶与底物比 1:100），在 37 ℃恒温振荡器上反应，分别在不同的消化时间(0、10、30、60、120 min)取样，120 min 后用 1 mol/L 的 NaOH 调节 pH 7.0 终止消化反应，然后加 0.5 mL 胰蛋白酶（酶与底物比 1:100），在消化 10、30、60、90、120 min 之后取样分析。体外消化率采用 TCA-NSI 法，具体方法参照王金梅等[11]方法进行，采用凯氏定氮法测定，体外消化率的计算公式如下：

$$\text{蛋白质消化率}\ (\%)=\frac{N_o-N_t}{N_o}\times 100\%$$

式中：N_0-消化前蛋白样品中的 TCA 沉淀物中氮含量（mg）；N_t-消化 t(min)后的 TCA 沉淀物中氮含量（mg）。

1.3.6 数据统计分析

采用Microsoft Excel进行数据整理，SPSS软件进行显著性测验和相关性分析，SAS® V8软件进行单因素ANOVA方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同微波灭酶时间残存脂肪酶活变化

如图 1 所示，随着微波灭酶时间增加，燕麦籽粒残存酶活在 0~10 s 缓慢下降，10~40 s 残存酶活开始急剧下降，在残存酶活降低到极低水平后，40~60 s 残存酶活的变化缓慢，呈现稳定不变的趋势，表明在微波处理 40 s 时已达到完全灭酶效果。

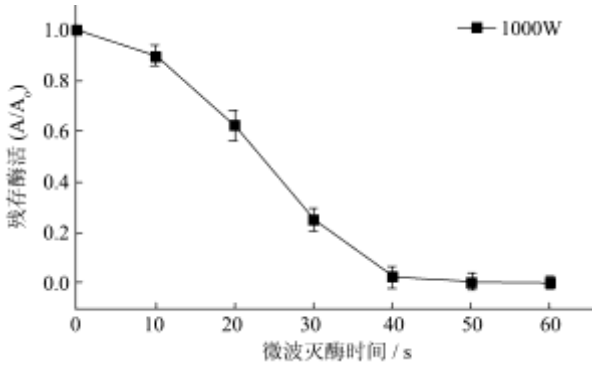


图1 不同微波灭酶时间燕麦籽粒残存脂肪酶活变化

Fig.1 Effects of microwave inactivation time on lipid activity

2.2 不同灭酶处理工艺对燕麦片理化成分的影响

经过灭酶处理的燕麦片β-葡聚糖含量均显著低于（$P<0.05$）未灭酶燕麦片。蒸煮灭酶处理与微波灭酶处理后的燕麦片中β-葡聚糖含量无显著差异（$P>0.05$）。随着微波处理时间的增加，燕麦片中β-葡聚糖含量逐渐降低（表1），这可能是由于微波灭酶处理时间较长，导致可溶性膳食纤维如β-葡聚糖等的提取率降低。

表1 微波灭酶时间对燕麦片营养成分的影响

Table 1 Effects of microwave inactivation time on nutritional components

处理方法	总淀粉/%	蛋白质含量/%	粗脂肪含量/%	β-葡聚糖含量/%
未灭酶	63.53±0.20^{A}	13.52±0.05^{AB}	8.65±0.17^{B}	4.70±0.15^{A}
微波40 s	63.16±0.07^{A}	13.54±0.05^{AB}	9.09±0.23^{AB}	4.22±0.11^{B}
微波60 s	62.91±0.25^{A}	13.61±0.13^{A}	9.19±0.14^{AB}	4.20±0.15^{B}
微波80 s	63.02±0.41^{A}	13.59±0.01^{A}	9.26±0.15^{A}	4.09±0.14^{B}
蒸煮30 min	61.50±0.31^{B}	13.61±0.15^{A}	8.98±0.13^{AB}	4.11±0.05^{B}

注：任意组间比较，无相同大写字母表示差异显著($P<0.05$)，有相同大写字母表示差异不显著。

经过灭酶处理的燕麦片粗脂肪含量变化趋势与β-葡聚糖相反。灭酶燕麦片粗脂肪含量均有升高。微波灭酶40 s、60 s燕麦片与蒸煮灭酶燕麦片粗脂肪含量无显著变化（$P>0.05$），微波灭酶80s的燕麦片粗脂肪含量显著升高（$P<0.05$），这可能是由于微波处理时间过长后复合脂肪游离出来。不同灭酶处理工艺对燕麦片中蛋白质含量均没有显著影响（$P>0.05$）。

经过蒸煮处理加工的燕麦片中总淀粉含量显著降低（$P<0.05$）。而微波灭酶处理加工的燕麦片中总淀粉含量没有显著变化（$P>0.05$）。

燕麦多酚具有较强的抗氧化能力，是燕麦片中的另一类主要功能成分。由图1可以看出，与蒸煮灭酶相比，微波灭酶燕麦片总酚含量均显著高于蒸煮灭酶燕麦片；随着微波灭酶时间增加，燕麦片总酚含量呈显著性下降（$P<0.05$）。

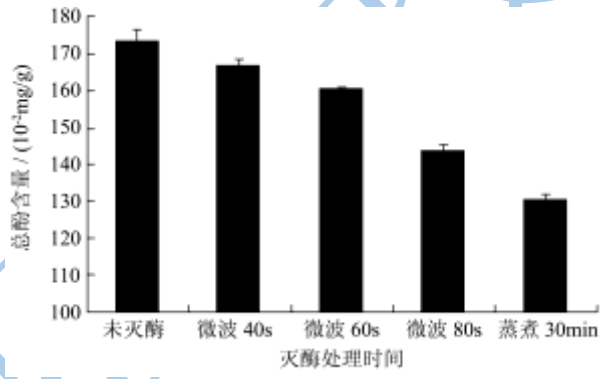


图2 微波灭酶时间对燕麦片中总酚含量影响

Fig.2 Effects of microwave inactivation time on total phenols

2.3 不同灭酶处理工艺对燕麦片中淀粉消化特性影响

表2 微波灭酶时间对燕麦片淀粉消化特性影响

Table 2 Effects of microwave inactivation time on starch digestion characteristics

处理工艺	快消化淀粉/%	慢消化淀粉/%	抗性淀粉/%	消化率/%
未灭酶	17.79±0.11^{E}	14.77±0.26^{A}	30.98±0.37^{A}	51.24^{E}
微波40 s	39.97±0.11^{C}	10.21±0.11^{D}	12.98±0.22^{C}	79.45^{C}
微波60 s	49.09±0.45^{B}	8.23±0.38^{C}	5.58±0.37^{D}	91.12^{B}
微波80 s	53.80±0.00^{A}	7.96±0.29^{C}	1.26±0.08^{E}	98.00^{A}
蒸煮30 min	30.80±0.11^{D}	13.05±0.69^{B}	17.65±0.98^{B}	71.30^{D}

注：任意组间比较，无相同大写字母表示差异显著（$P<0.05$），有相同大写字母表示差异不显著。

不同灭酶方式处理后的燕麦片快速消化淀粉含量、慢速消化淀粉含量和抗性淀粉含量及消化率测定结果如表3所示。与未经灭酶处理燕麦片相比，微波和蒸煮灭酶的燕麦片快消化淀粉含量及消化率均有显著增加（$P<0.05$），慢消化淀粉和抗性淀粉均显著降低（$P<0.05$）；随着微波灭酶时间增加，快消化淀粉含量

显著增加（P<0.05），慢消化淀粉与抗性淀粉含量显著降低（P<0.05）；且微波灭酶燕麦片快消化淀粉含量和消化率都显著高于蒸煮灭酶处理燕麦片（P<0.05）。

2.4 不同灭酶处理工艺对燕麦片中蛋白质消化特性影响

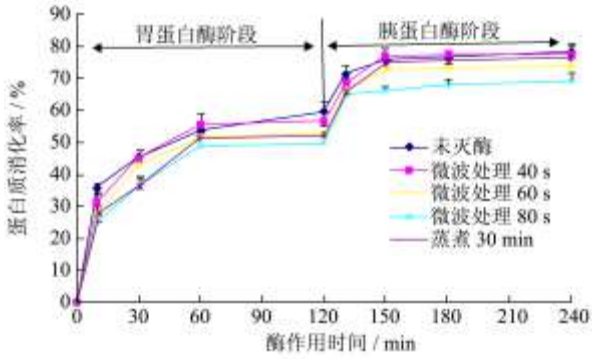


图3 微波灭酶时间对燕麦片蛋白消化率影响

Fig.3 Effects of microwave inactivation time on protein digestion rate

不同灭酶处理工艺对燕麦片中蛋白消化特性影响如图2所示。蛋白质的体外消化率在胃蛋白酶和胰蛋白酶两个消化阶段总体呈逐渐上升趋势，在消化的初始阶段急剧增加，随着消化时间延长，增加逐渐减慢。胃蛋白酶消化阶段蒸煮处理的燕麦片蛋白消化率接近微波处理80 s，而在胰蛋白酶消化阶段的蛋白消化率与微波灭酶40 s的燕麦片蛋白消化率接近。在整个消化过程中，微波处理时间越长的燕麦片，其蛋白消化率消化率越低，微波灭酶80 s的燕麦片最终消化率仅69.24%，未灭酶和微波40 s灭酶燕麦片最终消化率较高，分别为78.65%和77.72%。

2.5 不同灭酶处理工艺对燕麦片糊化特性的影响

不同灭酶工艺的燕麦片糊化特性差异较大（表2）。相比未灭酶燕麦片，灭酶处理后燕麦片的糊化温度均降低，但均没有显著性变化（P>0.05）。这可能是由于热处理后淀粉分子的结构发生改变，氢键和结晶区发生断裂，部分糊化引起糊化起始温度略有降低[4]。峰值黏度的大小顺序为微波80 s燕麦片、蒸煮30 min燕麦片、微波60 s燕麦片、微波40 s燕麦片和未灭酶燕麦片，灭酶处理燕麦片峰值黏度均有显著提高，可能是因为淀粉颗粒的膨胀性和吸水性增强，而黏度参数又与淀粉颗粒的膨胀性和吸水性密切相关。随着微波灭酶时间增加，燕麦片最终黏度、破损值、回生值均有显著性提高（P<0.05），蒸煮处理燕麦片破损值、回生值显著高于微波处理40 s，显著低于微波处理80s燕麦片（P<0.05）。

表3 微波处理时间对燕麦片糊化特性影响

Table 3 Effects of microwave inactivation time on pasting properties

处理方法	糊化温度 /℃	峰值黏度 /(cm·g)	低谷黏度 /(cm·g)	最终黏度 /(cm·g)	破损值 /(cm·g)	回生值 /(cm·g)
未灭酶	70.5±1.3^{A}	88.2±1.5^{C}	81.9±2.1^{B}	163.1 ±2.5^{E}	6.3±1.7^{C}	81.2±2.3^{D}
微波40 s	69.9±0.7^{A}	91.7±1.3^{C}	86.8±1.7^{B}	168.7±1.0^{D}	4.9 ±1.5^{C}	81.9±1.4^{D}
微波60 s	70.3±0.9^{A}	98.7±1.7^{B}	85.4 ±1.9^{B}	196.0±2.1^{B}	13.3±1.6^{B}	110.6±1.9^{B}
微波80 s	68.9±1.1^{A}	108.5±0.7^{A}	81.9 ±2.7^{B}	205.1±1.6^{A}	26.6±1.1^{A}	123.2±2.4^{A}
蒸煮30 min	70.2±1.3^{A}	105.7±1.8^{A}	93.8±1.1^{A}	187.6±2.3^{C}	11.9±2.0^{B}	93.8±1.8^{C}

注：表中数据相同字母表示差异不显著，不同字母表示差异显著（*P*<0.05）。

3 讨论

由于加工技术手段及处理方法的不同，食品的性质会在加工过程中发生一定变化。燕麦中含有较高的脂类物质、蛋白质含量、可溶性膳食纤维 且含有酚类等多种抗氧化的活性成分，这些营养物质可能会在燕麦加工过程中发生一定程度的变化。普通蒸制、加压蒸制、红外烘烤、普通烘烤等灭酶处理对于燕麦品质的影响较大。胡新中等[3]研究结果表明灭酶后燕麦籽粒的蛋白质含量、脂肪含量、β-葡聚糖含量、淀粉含量、糊化特性均有不同程度的变化，经过处理的燕麦粘度特性与原始裸燕麦相比变化很大[4]。本试验研究结果发现蒸煮灭酶后燕麦片总淀粉含量显著性降低（P<0.05），不同时间的微波灭酶燕麦片总淀粉含量下降但没有显著性变化（P>0.05）；总酚含量的显著性下降可能是因为在高温下长时间受热导致部分多酚物质的氧化损耗。微波加热时间对蛋白质的含量影响与加热时间有关，加热时间越长蛋白质损失越多。本研究中，各灭酶处理工艺后的燕麦片蛋白含量均没有发生显著变化，可能是因为处理时间较短，温度较低没有导致maillard反应及strecker降解发生。加工处理后燕麦片粗脂肪含量的增加及*β*-葡聚糖含量的降低可能是因

为热处理导致复合脂肪溶出和可溶性膳食纤维提取率降低。热处理会导致淀粉化合物的崩解并使其结构由有序变为无序的状态，这种改变不仅造成了食物特有的质构，同时也影响着淀粉的可利用率。Antu[12]等的研究表明普通的蒸煮可将鹰嘴豆的淀粉体外消化率提高24~30%。本研究蒸煮处理后淀粉体外消化率提高20.06%，微波灭酶处理提高28.21~46.76%。四种灭酶方式处理后燕麦片中快速消化淀粉含量的变化可能与高温处理导致淀粉的部分糊化、淀粉晶体的不可逆膨胀有关。而抗性淀粉的含量的降低可能与直链淀粉的含量、加工过程的温度和含水量有关。热处理同样会影响蛋白质的消化率，氨基酸分子链可能因热处理而改变，延缓某些蛋白酶的消化作用。同时，蛋白质分子内部或蛋白分子之间也可能发生交联，从而降低了蛋白质的消化率。本研究发现热处理后燕麦片蛋白消化率降低，微波处理时间越长，蛋白的消化率越低。

热处理会导致谷物淀粉糊化黏度增加。Palav等[13]研究也表明微波与常规加热对小麦淀粉糊化特性的影响存在显著差异。Zhang等[14]研究发现，经蒸汽处理后的燕麦粉溶液的粘度显著高于烘烤或未经处理的燕麦籽粒的全粉溶液，且粘度的增加随蒸汽处理时间的延长而增加。微波60 s、80 s加工处理后的燕麦片峰值黏度、最终黏度、崩解值及回生值均有显著性变化，峰值黏度、最终黏度、崩解值和回生值随着微波处理时间都有显著增加。可能因为淀粉颗粒内部存在的结合水的热运动得到增强，晶体结构被破坏，颗粒破裂，淀粉颗粒的膨胀性和吸水性增强，而黏度参数又与淀粉颗粒的膨胀性和吸水性密切相关[4]。

4 结论

4.1 与蒸煮灭酶燕麦片相比，微波灭酶40 s燕麦片中粗蛋白含量、粗脂肪含量以及β-葡聚糖含量均无显著性差异（P>0.05），总淀粉和总酚含量显著高于蒸煮灭酶燕麦片（P<0.05），总酚含量增加43 mg/100g，总淀粉含量增加1.66%。随着微波灭酶时间增加，燕麦片中β-葡聚糖含量下降，粗脂肪含量增加，总酚含量显著性降低（P<0.05）。

4.2 微波灭酶40 s燕麦片快消化淀粉含量显著高于蒸煮灭酶燕麦片（P<0.05），快消化淀粉含量增加9.17%。随着微波处理时间增加，快消化淀粉含量呈显著增加（P<0.05），抗性淀粉含量显著降低（P<0.05）；微波40 s灭酶燕麦片与蒸煮灭酶燕麦片蛋白体外消化率相近，随着微波灭酶时间增加，蛋白体外消化率降低。

4.3 与蒸煮灭酶燕麦片相比，微波灭酶40s燕麦片糊化温度没有显著变化（P>0.05），峰值黏度、最终黏度、破损值、回生值显著降低（P<0.05），随着微波处理时间增加，燕麦片最终黏度、破损值、回生值均有显著性提高。

参考文献

[1] 路威.燕麦品种品质及饮料加工特性研究[D].中国农业科学院,2013
LU Wei. Quality and suitability for oat milk processing of different oat varieties [D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013

[2] Cao R G, Ren C Z, Li Z G. The effects of different inactivation treatments on the storage properties and sensory quality of naked oat [J]. Food Bioprocess Technology, 2012, (5): 1853-1859

[3] 胡新中.燕麦的酶活性及其食品加工中抑制工艺研究[D].西北农林科技大学,2007
HU Xin-zhong. Oat enzyme activity and its deactivation for oat food processing [D]. Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, 2007

[4] 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,2009,5:299-302
WEI Yi-min, REN Jia-jia, ZHANG Bo, et al. Effects of high-temperature heat treatment of oat kernel on viscosity properties of oat flour [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 5: 299-302

[5] 李明泽.不同加工方式对青稞中β-葡聚糖含量及其生理功效的影响[D].西南大学,2013
LI Ming-ze. Effect of different processing method on content and physiological functions in beta glucan of hulless barley [D]. Southwest University, 2013

[6] 陈萌.微波预处理油菜籽对压榨饼浸出油品质的影响[D].华中农业大学,2013
CHEN Meng. Effects of microwave pretreatment of rapeseed on quality of oil extracted by solvent from meal [D]. Huazhong Agricultural University, 2013

[7] Peterson D M. Lipase activity and lipid metabolism during oat malting [J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(1): 159-163

[8] Manuel P, Birgitte Z, Anne S. M. Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity [J]. Food and Bioproducts Processing, 2010, (88): 259-265

[9] Suman M, John A M. Digestibility of starch fractions in wholegrain rolled oats [J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(1): 61-66

[10] Wang X S, Tang C H, Yang X Q, et al. Characterization, amino

acid composition and in vitro digestibility of hemp (Cannabis sativa L.) Proteins [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 11-18

[11] 王金梅,张占琴,王学军,等.菜籽蛋白的制备及其体外模拟消化[J].中国油脂,2008,33(9):10-15
WANG Jin-mei, ZHANG Zhan-qin, WANG Xue-jun, et al. Preparation and in vitro digestibility of rapeseed protein [J]. China Oils and Fats, 2008, 33(9): 10-15

[12] Antu G, Sudesh J. Chemical composition and digestibility (in vitro) of green gram as affected by processing and cooking methods [J]. British Food Journal, 2009, (111): 235-242

[13] Palav T, Seetharaman K. Impact of microwave heating on the physico-chemical properties of a starch-water model system [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67(4): 596-604

[14] Zhang D, Doehlert D C, Moore W R. Factors affecting viscosity of slurries of oat groat flours [J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(6): 722-726

现代食品科技