

脉冲微波处理对大米理化指标和流变特性的影响

胡婷 樊明聪 车丽 赵思明 黄琪琳

华中农业大学食品科学技术学院/环境食品学教育部重点实验室, 武汉 430070

摘要 采用脉冲微波处理大米,以普通连续微波作对照,考察脉冲微波处理对大米理化指标和流变特性的影响,并对蒸煮后的米饭感官品质进行评价。结果表明:大米经过微波处理后其温度、碎米率、爆腰率和碘蓝值均高于未处理,含水量低于未处理,脉冲微波处理后的大米的爆腰率(10%)显著低于普通连续微波处理(24%),更接近于未处理(8.5%)。稳态剪切模式下,未处理和微波处理后的大米糊均属于典型的非牛顿流体,呈现假塑性流体的特征,经脉冲微波和普通连续微波处理后,大米糊的黏稠性降低,流动性增强,更接近牛顿流体。动态振荡模式下,未处理和微波处理后的大米糊化温度均在68℃左右,经脉冲微波和普通连续微波处理后的大米糊 G' 和 G'' 峰值均高于未处理的大米糊,表明微波处理能增强大米糊的三维凝胶网络结构。脉冲微波处理对蒸煮后米饭的感官品质无显著性影响,且在形态得分上优于普通连续微波处理。

关键词 大米; 脉冲微波; 粮食储藏; 碎米率; 爆腰率; 碘蓝值; 流变特性

中图分类号 TS 231 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)04-0100-06

水稻是我国主要的粮食作物,稻谷总产量位居世界首位。稻谷在储藏过程中因仓储害虫、霉变及陈化变质等原因造成巨大损失^[1-2]。微波是一种高效、环保的杀虫防霉技术,它能在较低温度和较短时间内杀灭有害生物,保持食品的色香味及营养成分,且无化学杀虫剂带来的食品安全隐患和环境污染问题^[3-6]。脉冲微波作为微波的一种特殊作用方式,具有能耗更低、杀菌时间更短、成本更低且设备运行稳定性更高等优点^[7]。笔者所在课题组前期已确定了脉冲微波杀虫防霉的最优工艺参数,在最优条件下处理大米后,害虫和霉菌的致死率分别高达100%和83.2%^[8]。但是,脉冲微波在有效杀虫防霉的同时,是否会对大米的品质(包括含水量、碎米率、爆腰率和碘蓝值等)及流变特性产生影响尚不清楚,与普通连续微波处理对大米品质的影响有无差异也需要进行深入研究。大米含水量的高低会影响其储藏品质,含水量低于14%时,储藏期延长,品质劣变速度慢^[9]。碎米率和爆腰率是反映大米感官品质的重要指标,碎米率和爆腰率越小,消费者的接受率、满意

度越高。碘蓝值则反映大米中直链淀粉的含量,直链淀粉含量及其与支链淀粉的比例直接影响其流变特性^[10-11]。因此,研究脉冲微波处理后大米的含水量、碎米率、爆腰率和碘蓝值等理化指标、流变特性及蒸煮后米饭的感官品质,对脉冲微波在稻米加工储藏中的应用及品质控制尤为重要。本试验以大米为研究对象,采用脉冲微波处理大米,以普通连续微波作对照,研究脉冲微波处理后大米理化指标如温度、含水量、碎米率、爆腰率及碘蓝值的变化,探讨稳态剪切、动态振荡模式下大米糊流变行为的差异及对蒸煮后米饭的感官品质的影响,以为脉冲微波技术在粮食加工储藏中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大米:新优188,湖北省黄冈市东坡粮油集团提供。QW-1HO型脉冲微波炉和QW-15HM普通微波炉,广州科威微波能有限公司;BS210S型分析天平,赛多利斯科学仪器有限公司;82 II型点温计,恒

收稿日期: 2015-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401652);华中地区大学农业科技服务技术集成与示范(2013BAD20B06)

胡婷,博士研究生。研究方向:农产品加工及贮藏工程。E-mail: 843076915@qq.com

樊明聪,硕士研究生。研究方向:淀粉的结构与功能特性。E-mail: fanmingcong163@163.com

胡婷和樊明聪对本文有同等的贡献

通信作者: 黄琪琳,博士,教授。研究方向:粮食加工与贮藏、淀粉蛋白质等食品大分子的结构和功能特性。E-mail: hql@mail.hzau.edu.cn

盛仪表有限公司;722S型分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;AR-2000ex动态流变仪,美国TA公司;81-FW-200万能粉碎机,西华仪器制造有限公司;HH-6磁力搅拌器,国华电器有限公司。

1.2 试验方法

1)大米的微波处理。分别称取80 g大米^[2],置于热封口袋中,一端封口,一端留微孔,放置于脉冲微波炉或普通连续微波炉中进行处理。脉冲微波处理条件为:总时间30 s、脉冲宽度300 ms、间歇时间50 ms、微波剂量为7.5 W/g;普通连续微波处理条件为:总时间30 s、微波剂量为7.5 W/g。

2)大米理化指标的测定。温度:参考文献[8,12]的方法测定。含水量:采用脉冲微波和普通连续微波处理大米,待大米自然冷却后,参考GB 5497-1985的方法测定含水量^[13]。碎米率:参考GB/T 21719-2008的方法测定碎米率^[14]。爆腰率:参考GB/T 5496-1985的方法测定^[15]。碘蓝值^[16]:取脉冲微波和普通连续微波处理后的大米,用万能粉碎机粉碎后过孔径为125 μm 的筛子,干燥、备用。精确称取0.25 g(干基)大米粉,用1 mL无水乙醇润湿,加入10 mL 0.5 mol/L KOH溶液,沸水浴反应15 min,快速冷却后定容至50 mL。取1 mL样液,加入5 mL蒸馏水,用0.1 mol/L HCl调节pH至3左右,加入0.5 mL碘试剂,定容至100

mL,静置15 min,620 nm处测定吸光度。碘蓝值以每克干大米的吸光值表示。

3)大米流变特性的测定。精确称取大米粉1.00 g,加入10.0 mL去离子水搅拌均匀,于磁力搅拌器上搅拌30 min后,采用AR-2000ex动态流变仪测试流变特性,用涂抹甘油的密封盖封住样品以防止水分蒸发。频率扫描:采用稳态剪切模式,选用锥板(直径40 mm,角度2°)进行测试,板间隙61 μm ,剪切速率范围为0~250 s^{-1} 。温度扫描:采用动态振荡模式,选用平板(直径40 mm)进行测试,板间隙1 000 μm ,频率0.5 Hz,应变2%,温度扫描范围从25 $^{\circ}\text{C}$ 升温至100 $^{\circ}\text{C}$,随后从100 $^{\circ}\text{C}$ 降温至25 $^{\circ}\text{C}$,温度变化速率为5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

4)米饭感官品质的测定。米饭的感官评定参考文献[17],并作略微改动。称取200 g大米,纯净水淘洗3次,按米水质量比为1:1.38加入纯净水,于电饭煲中采用精煮模式进行蒸煮,蒸煮后采用8人评分小组进行感官评定。满分为10分,以形态完整、色泽洁白、香气浓郁、口感细腻和滋味丰厚为最佳,其中总评=0.4×形态+0.1×色泽+0.1×香气+0.3×口感+0.1×滋味,具体评分标准见表1。

1.3 数据处理

试验中各指标均测定3次重复,3次平行,采用SAS 9.0软件进行方差分析。

表1 米饭感官品质评价标准

Table 1 The evaluation standard of rice sensory quality

品质指标 Quality index	评分标准 Grading standard	分值 Scores
形态(Xt) Shape	形态完整,形状规则,饱满	9~10
	米饭粒上有断裂,但大部分较完整	7~8
	断裂多,有米粒糜烂状,形状不完整	4~6
	较多米粒糜烂状,形状变形	0~3
色泽(Sz) Color and lustre	晶莹剔透,色泽洁白,颜色均匀,光泽好	9~10
	色泽洁白,颜色较均一,光泽一般	7~8
	颜色不均一,光泽不足	4~6
	有异色或颜色发暗	0~3
香气(Xq) Aroma	天然米饭香气很浓郁	9~10
	天然米饭香气比较浓郁	7~8
	天然香气不浓,但无异味	4~6
	无米饭香气,有明显异味	0~3
口感(Kg) Mouth feeling	嚼劲好,粘弹性好,口感细腻	9~10
	有嚼劲,粘弹性比较好,口感比较细腻	7~8
	粘弹性一般,过硬或过于软烂,较粗糙	4~6
	粘弹性差,或有夹生,或太软烂,粗糙	0~3
滋味(Zw) Taste	滋味丰厚,甜味足,回味悠长	9~10
	滋味较丰厚,有甜味,有较长回味	7~8
	滋味一般,稍有甜味,回味短	4~6
	滋味较差,甜味不足,有异味	0~3

2 结果与分析

2.1 脉冲微波处理对大米理化指标的影响

经脉冲微波和普通连续微波处理后的大米及未处理大米的温度、含水量、碎米率、爆腰率及碘蓝值见表 2。微波处理后大米和未处理大米在温度和含水量上均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 大米经微波处理后温度升高, 含水量降低, 但脉冲微波处理后的

表 2 脉冲微波和普通连续微波对大米理化指标的影响 (均值 ± 标准偏差)

Table 2 Effects of pulsed microwave and ordinary continuous microwave on physicochemical indices of rice (Mean ± SD)

处理方式 Treating mode	温度/℃ Temperature	含水量/% Moisture content	碎米率/% Broken rice rate	爆腰率/% Percent cracked rice	碘蓝值 Blue value
空白 Blank	22.33 ± 0.78a	14.51 ± 0.52b	11.82 ± 1.18a	8.50 ± 0.71a	0.62 ± 0.01a
脉冲微波 Pulsed microwave	53.33 ± 1.30b	13.36 ± 0.13a	14.09 ± 0.33b	10.00 ± 0.01a	0.73 ± 0.01b
普通连续微波 Ordinary continuous microwave	66.13 ± 1.82c	13.64 ± 0.01a	14.31 ± 0.43b	24.00 ± 1.41b	0.72 ± 0.01b

注: 不同字母表示同列差异显著 ($P < 0.05$) Note: Mean values with different letters in each column differ significantly ($P < 0.05$). 下同 The same as follow Table.

上存在显著性差异 ($P < 0.05$), 而脉冲微波与普通连续微波处理后的大米在碘蓝值上无显著性差异 ($P > 0.05$), 大米经微波处理后碘蓝值会升高。

2.2 脉冲微波处理对大米流变特性的影响

1) 稳态剪切模式下大米糊剪切应力与剪切速率的关系。流变特性是淀粉质食品的主要物化特性之一。采用动态流变仪的稳态剪切模式, 测得大米糊剪切应力与剪切速率的关系曲线 (图 1), 并运用幂律定律拟合, 描述大米糊的流变特性:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

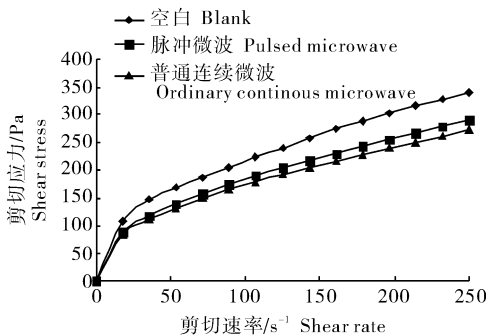


图 1 脉冲微波和普通连续微波处理后的大米糊流变曲线

Fig.1 Rheological curve of rice paste treated by pulsed microwave and ordinary continuous microwave

式中, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, s^{-1} ; τ 为剪切应力, Pa; K 为稠度系数, $Pa \cdot s^n$; n 为流变指数。稠度系数和流变指数是反映物料流变学特性的重要参数。稠度系数反映样品的黏稠性, 流变指数反映样品的流体类

大米温度为 55.33 °C, 显著低于普通连续微波处理的温度 (66.13 °C), 含水量与其接近。脉冲微波与普通连续微波处理后的大米在碎米率上无显著性差异 ($P > 0.05$), 在爆腰率上有显著性差异 ($P < 0.05$), 大米经微波处理后碎米率和爆腰率增大, 但脉冲微波处理后的大米爆腰率为 10.00%, 显著低于普通连续微波的爆腰率 (24.00%), 接近于未处理的爆腰率 (8.50%)。微波处理后大米与未处理大米在碘蓝值

型, 即流体偏离牛顿流体的程度。经脉冲微波和普通连续微波处理后大米的流变学特性参数如表 3 所示。由图 1 和表 3 可知, 采用幂律定律描述大米的流变学特性相关性 (R^2) 均在 0.999~1.000 之间, 表明该方程拟合精度高。大米糊的流动指数均小于 1, 表明大米糊偏离牛顿流体, 呈现假塑性流体的特征^[18]。脉冲微波和普通连续微波处理后, 大米糊的剪切应力、稠度系数下降, 流变指数上升, 更接近牛顿流体。

表 3 脉冲微波和普通连续微波处理后的大米糊流变特性参数

Table 3 Rheological parameters of rice paste treated by pulsed microwave and ordinary continuous microwave

处理方式 Treating mode	稠度系数 K / ($Pa \cdot s^n$) Viscosity coefficient	流变指数 n Rheology index	R^2
空白 Blank	29.905 7	0.434 2	0.999 3
脉冲微波 Pulsed microwave	20.788 0	0.477 0	0.999 6
普通连续微波 Ordinary continuous microwave	21.130 8	0.459 6	0.999 9

2) 动态振荡模式下大米糊的储能模量、损耗模量与温度的关系。储能模量 (G') 表征体系的弹性, G' 越大说明体系形成的凝胶弹性与强度越高。损耗模量 (G'') 表征体系的黏性, 反映了体系的黏度和流动性。脉冲微波和普通连续微波处理后, 大米糊在温度扫描过程中 G' 、 G'' 值的变化曲线如图 2 所

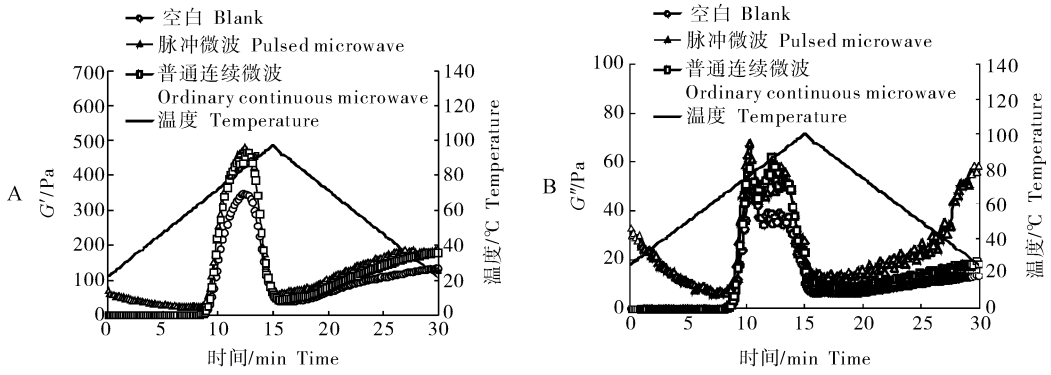


图 2 温度扫描过程中脉冲微波和普通连续微波处理后的大米糊 G' (A) 和 G'' (B) 变化曲线

Fig.2 G' (A) and G'' (B) change curve of rice paste treated by pulsed microwave and ordinary continuous microwave during temperature scanning process

示,对应的流变参数见表 4。随温度升到 66 °C 左右时, G' 和 G'' 都开始迅速升高,表明大米淀粉开始糊化,直链淀粉分子从淀粉颗粒中析出,形成网络结构,将淀粉颗粒包裹在内部,体系强度和弹性显著增加,导致 G' 剧增^[19-20]。同时,糊化过程中淀粉颗粒充分吸水溶胀,并像蜂窝一样紧密地相互挤压,膨胀的淀粉颗粒流动受阻,使糊产生高的黏稠性,导致 G'' 上升。未处理、脉冲微波和普通连续微波处理后

的大米糊化温度在 68 °C 左右,差异不显著,说明微波处理不会改变大米的糊化温度。随着温度继续升高, G' 和 G'' 继续上升,未处理、脉冲微波和普通连续微波处理后的大米糊 G' 和 G'' 分别在约 87 °C 和 76 °C 达到峰值,且经脉冲微波和普通连续微波处理过的大米糊 G' 和 G'' 比未处理的大。随温度进一步升高, G' 和 G'' 开始降低;在降温过程中, G' 和 G'' 都有所上升。

表 4 脉冲微波和普通连续微波处理大米糊温度扫描过程中的流变参数(均值±标准偏差)

Table 4 Rheological parameters of rice paste treated by pulsed microwave and ordinary continuous microwave during temperature scanning process (Mean±SD)

指标 Index	空白 Blank	脉冲微波 Pulsed microwave	普通连续微波 Ordinary continuous microwave
G' 峰值/Pa Peak of G'	346.23±0.97a	475.80±4.85c	461.50±7.91c
G' 峰值温度/°C Peak temperature of G'	86.30±0.90a	87.20±0.90a	87.97±0.85a
G'' 峰值/Pa Peak of G''	47.67±0.64a	64.07±2.05c	56.10±0.75c
G'' 峰值温度/°C Peak temperature of G''	77.30±0.90a	76.40±0.90a	76.40±0.90a

2.3 脉冲微波处理对米饭感官品质的影响

脉冲微波和普通连续微波处理后的大米经蒸煮后的米饭的感官评定结果见表 5。由表 5 可知,脉冲微波处理后的大米和未处理大米经蒸煮后的米饭在形态得分上无显著性差异 ($P > 0.05$),和普通连

续微波存在显著性差异 ($P < 0.05$),三者色泽、香气、口感、滋味和总评上均无显著性差异 ($P > 0.05$)。脉冲微波处理后的大米经蒸煮后的米饭在形态得分上更接近于未处理,而显著高于普通连续微波 ($P < 0.05$)。

表 5 脉冲微波和普通连续微波处理后的大米经蒸煮后的米饭的感官品质(均值±标准偏差)

Table 5 Sensory quality of rice treated by pulsed microwave and ordinary continuous microwave (Mean±SD)

处理方式 Treating mode	形态 Shape	色泽 Color and lustre	香气 Aroma	口感 Mouth feeling	滋味 Taste	总评 Total scores
空白 Blank	8.15±0.54a	7.83±0.61a	7.33±0.52a	7.18±0.66a	7.25±0.73a	7.66±0.60a
脉冲微波 Pulsed microwave	7.85±0.42a	7.76±0.59a	7.58±0.45a	7.47±0.55a	7.43±0.58a	7.66±0.50a
普通连续微波 Ordinary continuous microwave	6.43±0.45b	7.42±0.46a	7.03±0.55a	6.94±0.48a	6.89±0.62a	6.79±0.49a

3 讨论

脉冲微波处理后的大米温度和爆腰率均显著低于普通连续微波,接近于未处理,表明脉冲微波优于

普通连续微波。脉冲微波采用间歇式的作用方式,使大米可在间歇时间释放一部分吸收的能量,因此,脉冲微波处理后的大米温度会低于普通连续微波。脉冲微波存在一定的间歇时间,使其大米升温速率

降低,而普通连续微波没有间歇时间,大米升温速率高于脉冲微波,导致大米颗粒内外具有较大的温度梯度,因而具有较高的爆腰率^[21]。微波处理后的碘蓝值均高于未处理,含水量低于未处理。大米经微波处理后碘蓝值会升高。碘蓝值反映大米中直链淀粉的含量,碘蓝值较大者直链淀粉含量较高^[22]。微波处理后大米的碘蓝值升高的原因有两个方面:一方面是淀粉分子链中极性基团(-OH)和糖苷键等弱极性基团在电磁场的作用下会产生高频取向运动,导致淀粉分子结构趋于分散,使直链淀粉的析出率增大;另一方面是微波会激活大米中的蛋白酶、淀粉酶、脱支酶等,使得支链淀粉含量下降,直链淀粉含量上升^[16,21,23-24]。水是大米体系中主要的极性分子,对微波效应具有较强的吸收作用,水分子吸收微波能量后将有一部分转化为蒸汽导致微波作用后大米的含水量有所降低。

脉冲微波和普通连续微波对大米流变特性影响无显著性差异,但与未处理大米存在差异性。在稳态流变测试中,未处理和微波处理后大米糊的流变特性均呈现假塑性流体的特征,但经微波处理后大米糊的剪切应力、稠度指数下降,流变指数上升,更接近牛顿流体。源于微波处理后大米直链淀粉含量升高,直链淀粉分子易发生取向排列,使得大米淀粉糊剪切应力降低。而且,微波促进了淀粉分子链的运动,减少了链的缠结,破坏淀粉分子链之间形成的网络结构,使大米糊的黏稠度降低,流动性增强^[25-26]。动态流变测试可观察到未处理和微波处理后的大米在糊化和降温阶段都呈现相似的趋势,即糊化阶段 G' 和 G'' 皆迅速升高直至达到峰值。未处理、脉冲微波和普通连续微波处理后的大米糊 G' 和 G'' 分别在约 87 °C 和 76 °C 达到峰值,且经脉冲微波和普通连续微波处理过的大米糊 G' 和 G'' 比未处理的大,可能源于大米经过微波处理后,氢键发生断裂,分子间的缔合状态被破坏,支链淀粉双螺旋伸直形成分离状态,破坏了其微晶体结构,使较小的支链淀粉从颗粒中渗漏出来,与析出的直链淀粉发生缠结,进一步加强了网络结构的强度,使凝胶的黏弹性增加^[10,27]。随后开始急剧下降,主要因为直链链间的迁移力增强,膨胀的淀粉粒间的碰撞加剧,部分大的淀粉颗粒破裂成小颗粒,而且凝胶网络中的部分氢键断裂,凝胶结构遭到破坏,导致大米糊的强度下降^[28]。降温阶段 G' 和 G'' 都有所上升,可能是随着温度的降低,直链淀粉分子相互缠绕并趋于有

序化,链间的氢键逐步形成,同时淀粉粒之间的碰撞减缓,使大米糊的强度逐步增大^[29]。脉冲微波和普通连续微波处理对大米糊化温度影响不大,但它们的 G' 和 G'' 峰值显著高于未处理的大米,表明微波处理能增强大米糊的凝胶网络。

脉冲微波处理和未处理大米经蒸煮后的米饭在感官品质上无显著性差异,而普通连续微波处理对蒸煮后的米饭的形态有显著性影响,得分明显低于脉冲微波处理和未处理大米。其原因在于普通连续微波处理后的大米的爆腰率显著增高,使得米饭在蒸煮过程中易发生断裂,导致米饭形态得分有所下降,表明脉冲微波处理对米饭的感官品质无显著影响。因此,在 2 种微波处理方式中,脉冲微波技术在粮食加工储藏中更有应用潜力。

参 考 文 献

- [1] 阳仲秋,林亲录,程小续,等.大米贮藏的研究进展[J].食品科技,2010,35(1):164-167.
- [2] 张习军,熊善柏,赵思明.微波处理对稻谷品质的影响[J].中国农业科学,2009,42(1):224-229.
- [3] 朱德泉,王继先,朱德文,等.小麦微波干燥特性及其对品质的影响[J].农业工程学报,2006,22(4):182-185.
- [4] 樊伟伟,黄惠华.微波杀菌技术在食品工业中的应用[J].食品与机械,2007,23(1):143-147.
- [5] FANG Y P, HU J, XIONG S B, et al. Effect of low-dose microwave radiation on *Aspergillus parasiticus* [J]. Food control, 2011, 22(7): 1078-1084.
- [6] LU H H, ZHOU J C, XIONG S B, et al. Effects of low-intensity microwave radiation on *Tribolium castaneum* physiological and biochemical characteristics and survival [J]. Journal of insect physiology, 2010, 56(9): 1356-1361.
- [7] 张黎骅,张文,吕珍珍,等.响应面优化酒精微波间歇干燥工艺[J].农业工程学报,2011,27(3):369-374.
- [8] 曾淑薇,车丽,黄琪琳,等.大米脉冲微波杀虫防霉工艺优化[J].华中农业大学学报,2015,34(2):106-112.
- [9] 潘巨忠,曹鹏,薛旭初,等.不同含水量大米储藏效果研究[J].烟台大学学报,2006,19(1):36-40.
- [10] 杨超,赵娜,田斌强,等.阴米淀粉糊的流变特性[J].食品科学,2010,31(11):5-10.
- [11] KIM H S, PATEL B, BEMILLER J N. Effects of the amylase-amylopectin ratio on starch-hydrocolloid interactions [J]. Carbohydrate polymers, 2013, 98(2): 1438-1448.
- [12] 车丽,谢静,吴考,等.大米的真空冷却研究[J].中国粮油学报,2012,27(5):1-4.
- [13] 中华人民共和国商业部. GB/T 5497—1985 粮食、油料检验水分测定法[S]. 北京:中国标准出版社,1985.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 21719—2008 稻谷整精米率检验法[S]. 北

- 京:中国标准出版社,2008.
- [15] 国家标准局.GB/T 5496—1985 粮食、油料检验黄粒米及裂纹粒检验法[S].北京:中国标准出版社,1985.
- [16] 程学勋.大米淀粉微波效应研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 15682—2008 粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [18] VITURAWONG Y, ACHAYUTHAKAN P, SUPHANTHARIKA M. Gelatinization and rheological properties of rice starch/xanthan mixtures: effects of molecular weight of xanthan and different salts[J]. Food chemistry, 2008, 111(1): 106-114.
- [19] 谭洪卓, 谭斌, 刘明, 等. 淀粉流变学特性的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(4): 215-220.
- [20] CHEN J J, LAI V M F, LI C Y. Composition dependence of rheological properties of rice starch blends[J]. Cereal chemistry, 2004, 81(2): 267-274.
- [21] 刘冬梅, 刘立意, 辜松. 稻谷干燥爆腰的试验研究[J]. 农机化研究, 2005(4): 167-168.
- [22] 李云波, 许金东, 涂丽华, 等. 不同品种糙米的特性研究[J]. 粮食与饲料工业, 2007(11): 4-6.
- [23] 周继成, 张习军, 王莲, 等. 微波处理对几种粮食品质影响的比较研究[J]. 粮食与饲料工业, 2008(9): 5-7.
- [24] ZHAO S M, XIONG S B, QIU C G, et al. Effect of microwaves on rice quality[J]. Journal of stored products research, 2007, 43(4): 496-502.
- [25] 许永亮, 程科, 邱承光, 等. 不同品种大米淀粉的流变学特性研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 16-20.
- [26] 穆燕, 程玲, 李琳, 等. 微波对蜡玉米淀粉糊流变特性的影响[J]. 现代食品科技, 2008, 24(1): 8-10.
- [27] WANG L, XIE B J, SHI J, et al. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars [J]. Food hydrocolloids, 2010, 24(2): 208-216.
- [28] 朱帆, 徐广文, 丁文平, 等. 表观直链淀粉含量对小麦淀粉凝胶流变特性影响的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 43-47.
- [29] 丁文平, 丁霄霖. 大米品种对其淀粉凝胶特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(3): 17-20.

Effects of pulsed microwave on physicochemical and rheological properties of rice

HU Ting FAN Mingcong CHE Li ZHAO Siming HUANG Qilin

College of Food Science and Technology/MOE Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The effects of pulsed microwave on physicochemical, rheological properties and sensory quality of rice were studied using ordinary continuous microwave as control. The results showed that the temperature, broken rice rate, percent cracked rice and blue value of microwave-treated rice were higher than that of untreated rice, except for the moisture content. The percent cracked rice after pulsed microwave treatment (10%) was significantly lower than that of ordinary continuous microwave (24%), close to untreated rice (8.5%), indicating that the effect of pulsed microwave was better than that of ordinary continuous microwave. In steady shear mode, all rice pastes were typical non-Newtonian fluid with pseudoplastic behavior. Compared with untreated rice paste, the viscosity of rice paste treated with microwave decreased and the mobility increased, close to a Newtonian fluid. In dynamic oscillation mode, the pasting temperature of both untreated and microwave-treated rice were at ~ 68 °C. The storage modulus (G') and loss modulus (G'') of microwave-treated rice paste was higher than that of the untreated rice paste, indicating that the three dimensional gel network in the rice paste could be enhanced by microwave. There was no significant changes in the sensory qualities of rice treated by pulsed microwave. The shape score of cooked rice treated by pulsed microwave was significantly higher than that of ordinary continuous microwave. The pulsed microwave will have a potential application in the processing and storage of food.

Keywords rice; pulsed microwave; grain storage; broken rice rate; percent cracked rice; blue value; rheological properties

(责任编辑:陆文昌)