

# 大米脉冲微波杀虫防霉工艺优化

曾淑薇 车丽 黄琪琳 赵思明

华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070

**摘要** 以大米为原料, 采用脉冲微波宽度、微波剂量、微波时间、脉冲间歇时间等单因素试验, 研究脉冲微波对大米害虫米象(*Sitophilus oryzae*)和寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)致死率、米温、大米的碎米率和爆腰率及其感官品质的影响。结果表明: 随着脉冲微波强度的增加, 米象和寄生曲霉致死率明显升高, 虫卵孵化率显著降低, 感官品质变化不大, 米温逐渐升高, 碎米率和爆腰率有所升高。通过正交试验确定大米杀虫防霉最优工艺为: 脉冲微波剂量 7.5 W/g, 脉冲宽度 300 ms, 间歇时间 50 ms, 脉冲微波总时间 30 s, 此时害虫和霉菌致死率分别可达 100.0%、83.2%, 米温 53.8 °C, 碎米率和爆腰率比未处理的样品增加 1.2% 和 1.5%, 感官评分 7.3 分。

**关键词** 大米; 米象; 寄生霉菌; 脉冲微波; 致死率; 防霉工艺

**中图分类号** TS 205.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)02-0106-07

水稻是全球种植范围最广的粮食作物之一, 联合国粮农组织(FAO)提出的“粮食安全”要求在保证粮食种植储备水平、绿色种植、安全生产的同时, 还应保证流通安全, 尽可能减少由虫害及霉变导致的粮食损失。中国每年稻谷在储藏过程中因虫害及霉变引起的损失约 7%~8%<sup>[1]</sup>, 造成了巨大的经济损失和资源浪费, 而常规的化学储藏方法会带来环境污染、有害物质残留及害虫的抗药性等问题, 难以满足人们对绿色健康食品的需求。

微波是指波长在 0.1~1.0 m 的电磁波, 频率范围为 300 MHz~300 GHz。微波产生热效应的同时, 还可以在较低的温度下发挥非热效应, 使生物体产生明显的变化, 如 DNA 蛋白质大分子变性降解、细胞膜不可逆通透增加、离子通道改变等, 进而达到很好的杀菌效果<sup>[2-3]</sup>。脉冲微波作为微波的一种特殊作用方式, 除具有高效、环保的优点外, 还比普通微波能耗更低, 杀菌时间更短, 且设备运行的稳定性更高, 是一种应用前景广阔的冷杀菌技术<sup>[4]</sup>。目前在水处理、液态食品、中成药及一些医疗器械的杀菌消毒中已有应用<sup>[4]</sup>, 但针对稻米的脉冲微波杀虫防霉的研究较少。

本试验选取脉冲微波宽度、微波剂量、微波时间、脉冲间歇时间 4 个单因素参数, 研究脉冲微波对

大米米象(*Sitophilus oryzae*)和寄生霉菌寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)致死率、虫卵孵化率及米温、大米的碎米率、爆腰率及其感官品质的影响。采用 4 因素 3 水平正交试验优化工艺参数, 确定最适宜的杀虫防霉保鲜工艺条件, 以期脉冲微波在大米储藏中的应用提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

大米, 新优 188, 湖北黄冈东坡粮油集团提供; 米象(*Sitophilus oryzae*), 国家粮食局科学研究院提供, 实验室培养数代; 寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*), 保藏在中国工业微生物菌种保藏管理中心, 菌种保藏号 CICC2310。QW-1HO 型脉冲微波炉, 广州科威微波能有限公司; MB-FZ40V 电饭煲, 美的生活电器有限公司; 82 II 型点温计, 恒盛仪表有限公司。

### 1.2 试验方法

1) 脉冲微波单因素试验。分别以固定间歇时间 100 ms, 总时间 40 s, 剂量 10 W/g, 脉冲宽度梯度 100、200、300、400、500 ms; 固定脉冲宽度 300 ms, 总时间 40 s, 剂量 10 W/g, 脉冲间歇时间梯度 50、100、150、200、250 ms; 固定脉冲宽度 300 ms, 间歇

收稿日期: 2014-02-21

基金项目: 湖北省科技厅重大专项(ZDN009)

曾淑薇, 硕士研究生, 研究方向: 粮食加工及品质控制。E-mail: zsw\_hzau@126.com

通信作者: 黄琪琳, 博士, 副教授, 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

时间 100 ms, 剂量 10 W/g, 脉冲微波总时间梯度 10、20、30、40、50 s; 固定脉冲宽度 300 ms, 间歇时间 100 ms, 总时间 40 s, 脉冲微波剂量梯度 1.0、2.5、5.0、7.5、10.0、12.5、15.0、20.0 W/g 为 4 个单因素, 考察各因素对害虫霉菌致死率及大米品质的影响。

2) 米象的饲养及致死率和虫卵孵化率的测定。参考吕建华等<sup>[5]</sup>的方法, 取洗净烘干的培养瓶, 于瓶口均匀涂抹固形物含量为 20% 聚四氟乙烯液。取 80~100 g 恢复至室温的米象饲料于培养瓶中, 挑出 300~400 头米象装入饲养瓶中, 30 °C 恒温箱中培养, 控制培养箱内湿度在 60% 以上。

取培养的米象成虫 30 头于自封袋中, 转入待处理的大米中自然状态下培养 5 min, 然后将混有米象的大米置于微波炉中。按本文“1.2.1)”方法中的脉冲微波参数进行处理, 其中微波功率为 500 W, 处理的大米量为微波功率与微波剂量的比值。取处理后的米象于白瓷盘中, 用毛笔轻触其腹部, 无反应者视为死亡。米象致死率计算公式: 米象致死率=(死亡米象数/处理米象总数)×100%。

取成年健壮的米象约 400 头接种于冷冻恢复至室温的大米 1 kg 中, 产卵 4 d 后挑出成虫, 将含卵大米进行脉冲微波处理。处理后的含卵大米 80 g 放入广口瓶, 用洗净消毒的白布封口。30 °C 恒温培养, 控制培养箱内湿度在 60% 以上, 以未处理大米为对照。米象虫卵孵化率计算公式: 虫卵孵化率=(样品中米象头数/对照组米象头数)×100%。

3) 寄生曲霉的活化及致死率的测定。在无菌条件下将霉菌菌丝接种到马铃薯培养基中, 于 30 °C 培养 5 d, 4 °C 条件保存, 备用。取 500 g 大米于超净工作台中灭菌 30 min 后, 将配好的浓度为 10<sup>6</sup> cfu/mL 孢子悬浮液 5 mL 加入到已灭菌的大米中, 30 °C 恒温培养 48 h 后, 取出备用。采用本文“1.2 中 1)”方法中的脉冲微波参数处理含寄生曲霉的大米, 以未处理大米为空白对照, 采用标准平板菌落计数法进行计数。致死率用处理前后菌落数减少量来表示, 计算公式为: 致死率=[(N<sub>0</sub>-N)/N<sub>0</sub>]×100%, 式中: N<sub>0</sub> 为处理前的菌落数, cfu/mL; N 为处理后的菌落数, cfu/mL。

4) 大米温度的测定。将 100 g 大米置于圆柱形玻璃皿中(60 mm×30 mm), 采用本文“1.2 中 1)”方法中的脉冲微波参数处理大米后, 在水平方向分别选取距离大米中心约 2 cm 呈三角形分布的位置

点, 垂直插入 3 个 82 II 型点温计测定大米中心温度。每个位置点读 3 次温度数据, 取平均值作为该位置点的温度值, 然后取 3 个点温计温度平均值作为大米的最终温度。

5) 大米碎米率和爆腰率的测定。碎米率: 称取 30 g 微波处理后的大米样品, 挑出长度小于完整米粒平均长度 3/4 的米粒, 以碎米质量占总质量的百分比表示碎米率。爆腰率: 随机挑出 200 颗微波处理后的完整米, 挑出裂纹粒, 以裂纹粒数占总粒数的百分数表示爆腰率。

6) 米饭感官评定。称取 200 g 不同微波处理后的大米, 纯净水淘洗 3 次, 按质量比 1:1.38 加入纯净水, 于电饭煲中采用精煮模式进行蒸煮, 蒸煮后采用国标 GB/T15682-2008 方法进行感官测定。具体感官评价标准见表 1。

7) 脉冲微波参数条件的确定。考虑脉冲微波宽度、脉冲间歇时间、微波总时间和微波剂量对大米杀虫防霉工艺的影响, 对每个因素设立 3 个适当水平, 进行 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交试验以确定最佳杀虫防霉工艺, 最佳工艺条件的确定采用综合平衡法<sup>[6]</sup>。

### 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 Excel 2003 处理和分析数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 脉冲微波对大米霉菌和米象致死率以及米象虫卵孵化率的影响

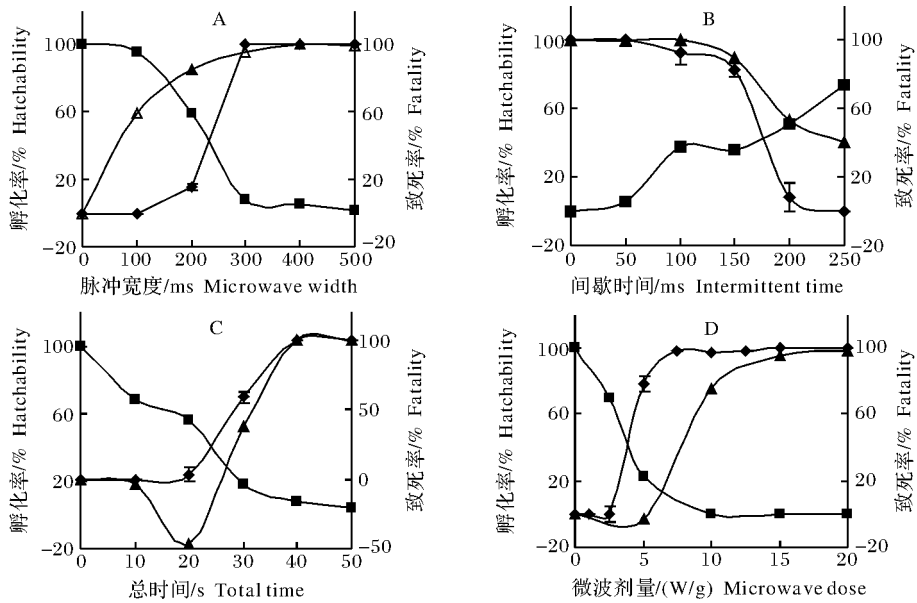
由图 1 可知, 当脉冲宽度增加到 300 ms 时, 米象的致死率从 15.2% 急剧增大到 100.0%, 且随间歇时间的延长呈下降趋势, 250 ms 时无致死现象。当脉冲微波剂量大于 5 W/g 或微波总时间大于 40 s 时, 米象致死率为 100.0%。电磁脉冲具有穿透性, 可以穿透米粒内部, 杀死潜藏在米粒内部的虫卵。脉冲宽度大于 300 ms、微波总时间超过 40 s、微波剂量高于 7.5 W/g 后孵化率降低到 1% 左右, 即虫卵的致死率达到了 99% 以上。

霉菌的致死率随脉冲宽度的增加而均匀增大, 300 ms 时接近 100.0%, 随间歇时间的延长而减小, 当间歇时间为 250 ms 时, 霉菌致死率为 40.4%。当微波剂量小于 5 W/g 或总时间在 10~20 s 之间时, 霉菌致死率为负值, 可能在该条件下激活了细胞生长代谢所需要的酶类, 使休眠孢子萌发<sup>[7]</sup>。之后随着脉冲微波剂量和处理总时间的增加, 霉菌致死

表 1 米饭感官评分标准

Table 1 Grading standards sensory qualities of rice

分数 Scores	气味 Flavor	外观结构 Shape	适口性 Palatability	滋味 Taste
9~10	浓郁	洁白均匀,完整饱满,有光泽	细腻有嚼劲,粘弹性好	甜味足,回味长
7~8	较浓郁	颜色正常,大部分完整,稍有光泽	较细腻,粘弹性较好	有甜味,回味较长
4~6	不浓,无异味	颜色不均,有糜烂状,光泽暗	较粗糙,过硬或过软	稍有甜味,回味短
0~3	无米饭香,有异味	米饭发黄,出现爆花,无光泽	夹生或太软烂,粘弹性差	甜味不足,有异味



▲: 大米霉菌 *Aspergillus parasiticus*; ◆: 米象 Rice weevil; ■: 虫卵孵化率 Weevil hatchability; A: 固定间歇时间 100 ms, 总时间 40 s, 剂量 10 W/g Fixed intermittent time 100 s, total time 40 s, dose 10 W/g; B: 固定脉冲宽度 300 ms, 总时间 40 s, 剂量 10 W/g Fixed width 300 ms, total time 40 s, dose 10 W/g; C: 固定脉冲宽度 300 ms, 间歇时间 100 ms, 剂量 10 W/g Fixed width 300 ms, intermittent time 100 s, dose 10 W/g; D: 固定脉冲宽度 300 ms, 间歇时间 100 ms, 总时间 40 s Fixed width 300 ms, intermittent time 100 s, total time 40 s; 下图表同 The follows are as same.

图 1 脉冲微波处理对大米霉菌和米象致死率及虫卵孵化率的影响

Fig. 1 The effects of pulsed microwave on the fatality of *Aspergillus parasiticus* and rice weevil and weevil hatchability

率急剧增加,这表明低强度脉冲微波对霉菌的生长有一定的促进作用,但高强度或长时间的脉冲微波则具有抑制霉菌的效果。微波通过降解 DNA 分子,改变 DNA 和关键酶的高级结构,破坏细胞膜,使其通透性发生不可逆变化,从而干扰或破坏细胞的正常新陈代谢功能,导致霉菌死亡,且高强度微波处理会使大米温度接近微波对霉菌的致死温度 70 °C。此时微波的热效应和非热效应共同作用有可能使霉菌致死率达到 100%<sup>[3,8]</sup>。

## 2.2 脉冲微波对大米温度的影响

由图 2 可知,大米的温度随着脉冲宽度、脉冲微波总时间和微波剂量的延长而逐渐增加,随间歇时间的延长而下降。由于大米内部分子无规律热运

动,使其极性基团随微波的电磁场的变化而产生的转动受到干扰,通过“摩擦效应”使一部分动能转化成分子的热能,米温逐渐升高<sup>[9]</sup>。微波对米象的致死率随介质温度的升高而升高<sup>[10]</sup>。当脉冲宽度超过 300 ms、总时间超过 40 s、微波剂量高于 7.5 W/g、间歇时间低于 150 s 时,米温超过 60 °C,此时米象致死率为 100.0%。

## 2.3 脉冲微波对大米碎米率和爆腰率的影响

由图 3 可知,随脉冲宽度、脉冲总时间、脉冲微波剂量的增加,大米碎米率及爆腰率呈升高趋势。随脉冲微波间歇时间的延长,大米爆腰率逐渐降低,但碎米率变化不大。大米的爆腰率及碎米率不仅会影响产率,还会影响所烹制米饭的食味品质及市场

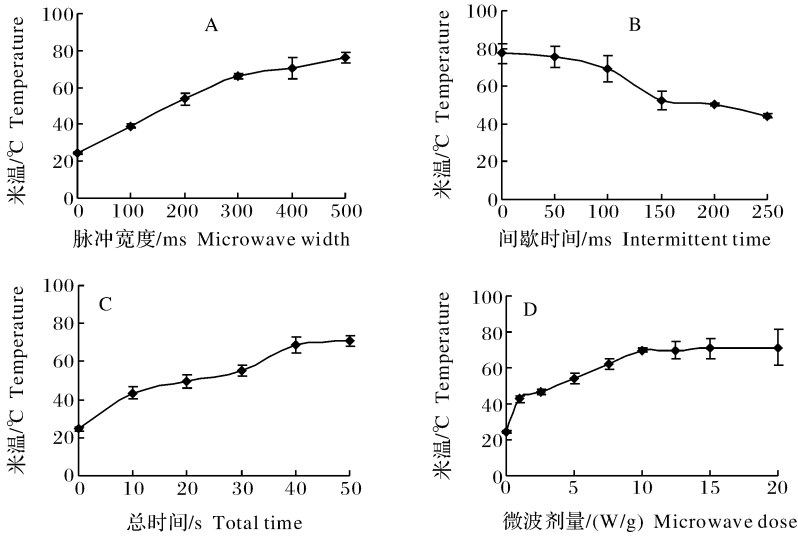
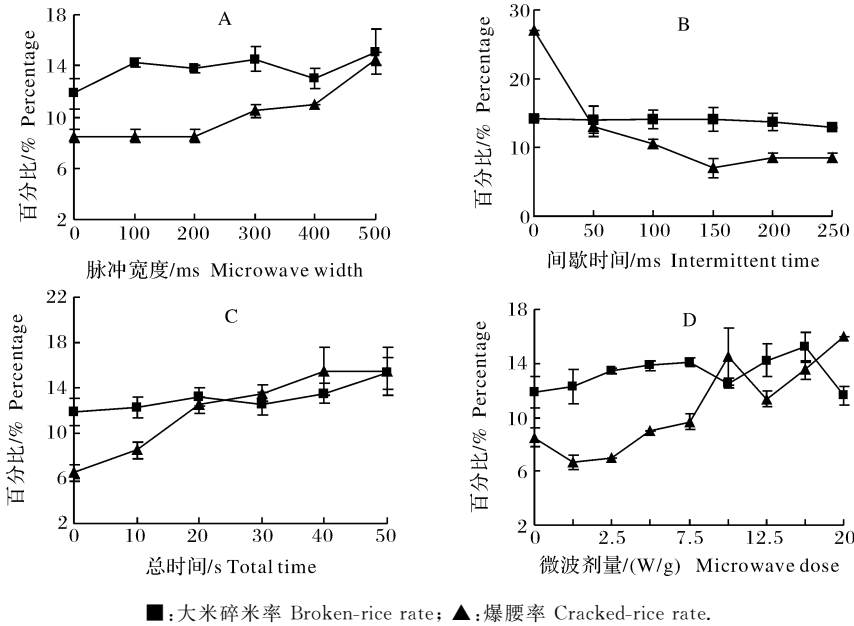


图 2 脉冲微波处理对大米温度的影响

Fig. 2 The effects of pulsed microwave on rice temperature



■: 大米碎米率 Broken-rice rate; ▲: 爆腰率 Cracked-rice rate.

图 3 脉冲微波处理对大米碎米率和爆腰率的影响

Fig. 3 The effects of pulsed microwave on the ratio of broken-rice rate and cracked-rice rate

价值。因此,在运用脉冲微波进行谷物杀虫防霉过程时应控制大米的温度在适当范围内(55~60℃)<sup>[11]</sup>,以保证大米具有较低的爆腰率及碎米率。

### 2.4 脉冲微波对大米感官品质的影响

由表 2 可知,脉冲宽度在 100~300 ms 之间时米饭各感官指标均较好。脉冲间歇时间和总时间的延长对大米的气味、外观结构、适口性、滋味均无显著性影响,较长间歇时间处理后米饭外观结构得分

升高,总时间 30 s 时感官评分最高。随脉冲微波处理剂量的增大,米饭的形态得分显著降低,气味、适口性无显著性差异,米饭的滋味以 5 W/g 时最高。

### 2.5 脉冲微波杀虫防霉工艺优化

试验考察了脉冲微波 4 个条件对米象和霉菌的致死率及大米爆腰率和碎米率及感官品质的影响。其中对感官品质影响不大,为了全面考虑脉冲微波的最佳杀虫防霉工艺,设计了 4 因素 3 水平正交试

表2 脉冲微波处理后的米饭感官评分<sup>1)</sup>

Table 2 Grading sensory qualities of rice after pulsed microwave treatment

因素 Factors		气味 Flavor	外观结构 Shape	适口性 Palatability	滋味 Taste	总评 Total scores
A 脉冲宽度/ms Microwave width	0	7.3±0.9 b	8.1±0.7 ab	7.1±0.8 a	7.2±0.4 b	7.2±0.4 b
	100	7.4±1.1 ab	8.6±0.5 a	7.1±0.8 a	7.8±0.7 a	7.6±0.8 ab
	200	8.3±1.2 a	7.8±0.6 ab	7.3±1.4 a	7.7±1.2 ab	8.0±0.6 a
	300	8.0±0.7 a	8.4±0.5 a	7.6±1.0 a	7.7±0.9 ab	8.1±0.5 a
	400	7.9±0.6 ab	7.7±1.2 ab	8.1±0.8 a	7.6±0.7 ab	8.0±0.5 a
B 间歇时间/ms Intermittent time	0	6.7±0.8 b	7.1±0.9 b	7.1±0.5 a	6.8±1.1 a	7.1±0.5 b
	50	7.3±0.8 ab	7.0±0.7 b	7.0±1.3 a	6.6±1.3 a	7.0±0.5 b
	100	7.2±0.6 ab	7.8±0.7 a	6.9±1.1 a	6.7±1.2 a	7.2±0.7 ab
	150	8.0±0.5 a	8.2±0.4 a	7.3±1.0 a	6.9±1.5 a	7.7±0.5 a
	200	7.5±0.8 ab	8.2±0.4 a	6.9±0.9 a	6.6±1.3 a	7.6±0.3 a
C 总时间/s Total time	0	6.7±1.4 a	8.1±0.7 a	7.1±0.8 a	6.7±1.1 a	7.5±0.4 a
	10	7.2±1.1 a	7.6±0.7 a	7.3±1.2 a	6.9±1.0 a	7.4±0.5 a
	20	7.7±0.8 a	7.6±1.0 a	7.2±1.4 a	7.0±1.5 a	7.4±0.7 a
	30	7.3±0.7 a	8.1±0.8 a	7.3±0.7 a	6.9±1.0 a	7.7±0.4 a
	40	7.2±0.8 a	8.1±0.4 a	7.2±1.1 a	6.7±1.0 a	7.5±0.5 a
D 微波剂量/(W/g) Microwave dose	0	7.3±1.0 a	8.1±0.7 ab	7.1±0.8 a	6.9±0.9 b	7.2±0.4 b
	2.5	8.0±0.8 a	8.2±0.4 ab	8.0±0.5 a	7.7±0.8 ab	7.8±0.3 a
	5.0	7.9±0.7 a	8.0±0.6 ab	8.1±0.2 a	8.0±0.6 a	7.8±0.7 a
	7.5	7.5±1.0 a	7.7±0.4 ab	7.8±0.7 a	7.5±0.8 ab	7.7±0.4 a
	10.0	7.7±0.5 a	6.9±0.3 b	6.3±1.0 a	7.5±0.8 ab	6.6±0.5 b

1)不同小写字母表示同行之间的差异性( $P<0.05$ )。Lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ )。A:固定间歇时间100 ms,总时间40 s,剂量10 W/g Fixed intermittent time 100 s,total time 40 s,dose 10 W/g; B:固定脉冲宽度300 ms,总时间40 s,剂量10 W/g Fixed width 300 ms,total time 40 s,dose 10 W/g; C:固定脉冲宽度300 ms,间歇时间100 ms,剂量10 W/g Fixed width 300 ms,intermittent time 100 s,dose 10 W/g; D:固定脉冲宽度300 ms,间歇时间100 ms,总时间40 s Fixed width 300 ms,intermittent time 100 s,total time 40 s.

表3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验因素水平表Table 3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) factors of the orthogonal experiment

序号 Code	A 微波剂量/(W/g) Microwave dose	B 脉冲宽度/ms Microwave width	C 间歇时间/ms Intermittent time	D 总时间/s Total time
1	7.5	300	50	30
2	10.0	400	100	40
3	5.0	500	150	50

验,因素水平表见表3,正交结果见表4。

由表4中的微波4个参数因素主次和较优组合可知,微波剂量是害虫致死率和碎米率的最主要影响因素,但两者的最优水平分别为1和2,考虑到微波剂量对霉菌致死率中的最优水平也为1,于是选择A<sub>1</sub>作为微波剂量的最优水平。而脉冲宽度对碎米率是较主要的影响因素,并且水平1作为最优水平出现2次,因此,选B<sub>1</sub>作为脉冲宽度的较优水平。间歇时间对于霉菌致死率是主要影响因素,并且水

平1作为最优水平出现3次,应选C<sub>1</sub>作为间歇时间的较优水平。总时间对于爆腰率是主要的影响因素,应选D<sub>1</sub>作为总时间的较优水平。由上可知,综合平衡因素水平确定脉冲微波杀虫防霉工艺的最佳因素组合为A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>,对应的条件为:脉冲微波剂量7.5 W/g,脉冲宽度300 ms、间歇时间50 ms、总时间30 s。采用此条件,大米经脉冲微波杀虫防霉处理后,大米温度为53.8℃,害虫和霉菌致死率分别可达100.0%、83.2%,碎米率和爆腰率分别为

表 4 正交试验结果 ( $n=3, \bar{x} \pm SD$ )

Table 4 Results and analysis of the orthogonal experiment

序号 Code	A	B	C	D	MF	AF	BR	CR
1	7.5	300	50	30	100.0	83.2	12.8	13.5
2	7.5	400	100	40	100.0	86.3	12.8	14.5
3	7.5	500	150	50	100.0	100.0	13.8	19.5
4	10.0	300	100	50	100.0	91.6	13.7	18.0
5	10.0	400	150	30	83.3	22.2	15.2	10.5
6	10.0	500	50	40	100.0	100.0	15.2	16.0
7	5.0	300	150	40	6.7	60.0	12.9	8.5
8	5.0	400	50	50	100.0	100.0	11.8	15.5
9	5.0	500	100	30	46.7	89.5	14.5	8.0
MF	K <sub>1</sub>	97.8 a	65.6 c	97.8 a	69.4 b	主次 Order A>C>D>B 较优组合 Priority A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>3</sub>		
	K <sub>2</sub>	91.7 b	91.7 a	80.0 b	67.8 b			
	K <sub>3</sub>	47.8 c	80.0 b	59.4 c	100.0 a			
	R	355.6	81.8	175.9	157.3			
AF	K <sub>1</sub>	88.3 a	76.7 b	94.2 a	63.3 c	主次 Order C>D>B>A 较优组合 Priority A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> D <sub>3</sub>		
	K <sub>2</sub>	69.7 c	67.0 c	86.8 b	79.8 b			
	K <sub>3</sub>	81.7 b	96.0 a	58.7 c	96.7 a			
	R	177.2	438.41	704.1	563.8			
BR	K <sub>1</sub>	14.7 a	13.1 b	13.3 a	14.2 a	主次 Order A>B>D>C 较优组合 Priority A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>		
	K <sub>2</sub>	13.1 b	13.2 b	13.6 a	13.5 b			
	K <sub>3</sub>	13.1 b	14.5 a	13.9 a	13.1 b			
	R	7.5	5.4	0.9	2.7			
CR	K <sub>1</sub>	15.8 a	13.3 b	15.0 a	10.7 c	主次 Order D>A>C>B 较优组合 Priority A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>		
	K <sub>2</sub>	14.8 b	13.5 b	13.5 b	13.0 b			
	K <sub>3</sub>	10.7 c	14.5 a	12.8 c	17.7 a			
	R	173.8	9.2	28.5	294.0			

1)显著水平  $P<0.05$  Significant level  $P<0.05$ ; MF: 害虫致死率/% Weevil fatality; AF: 霉菌致死率/% Mold fatality; BR: 碎米率/% Broken-rice rate; CR: 爆腰率/% Cracked-rice rate.

12.8%、13.5%，相比对照增加了 1.2%和 1.5%，感官评分 7.3 分。

### 3 讨论

本试验通过考察脉冲微波处理对大米中主要有害生物致死率及大米品质的影响,确定了大米脉冲微波杀虫防霉工艺参数,为脉冲微波在大米的储藏中的应用提供了参考依据。随着脉冲微波作用强度的增大,微波的热效应和生物效应共同作用对米象和霉菌有明显的致死作用<sup>[2-3]</sup>,虫卵孵化率显著降低,且致死率随脉冲宽度、总时间及剂量的增大而增大,随间歇时间的延长降低。低强度脉冲微波激活了细胞生长代谢所需要的酶类,使休眠孢子萌发,对霉菌的生长有一定的促进作用。而高强度或长时间的脉冲微波则不仅会使米温接近霉菌的致死温度(70℃),还能通过降解 DNA 分子,改变 DNA 和关键酶的高级结构,破坏细胞膜,使其通透性发生不可逆变化,从而干扰或破坏细胞的正常新陈代谢功能,导致

霉菌死亡。微波对米象的致死率随介质温度的升高而升高,米温超过 60℃时,米象致死率为 100.0%。

此外,脉冲微波对大米碎米率、爆腰率和感官品质等也有一定的影响。随着微波作用强度的增大,大米温度始终保持在可控水平,大米中含有水、羧基等极性分子和极性基团,这些分子和基团会随微波的电磁场方向和大小的变化而发生不同程度的运动取向,产生转动。由于大米内部原有的分子无规律热运动和相邻分子间的作用,极性分子的转动受到干扰和限制,产生“摩擦效应”使一部分动能转化成分子的热能,从而使大米升温<sup>[9]</sup>。而米温升高后,大米表面水分低于内部,形成了由外而内较大的水分梯度,导致大米表面干燥产生收缩拉力<sup>[12]</sup>,使得大米表面产生裂纹,形成爆腰粒,在受到外界的压力作用下会进一步形成碎米。微波处理后米饭的感官品质有所改善,主要是由于微波作用可激活大米中的淀粉酶、蛋白酶,使得支链淀粉含量下降,直链淀粉含量上升,蛋白质降解等<sup>[13]</sup>,在蒸煮过程中微波处

理后的大米淀粉更易糊化,蛋白质和脂肪会进一步发生降解,从而产生更多的风味氨基酸和短链脂肪酸<sup>[14]</sup>,米饭的香气和滋味会有所提高。在单因素试验基础上,通过正交试验可得最优脉冲微波杀虫防霉工艺为脉冲微波剂量 7.5 W/g,脉冲宽度 300 ms,间歇时间 50 ms,脉冲微波总时间 30 s,此时,米象和霉菌致死率分别可达 100.0%、83.2%,碎米率和爆腰率略有增加(分别为 1.2%和 1.5%),感官评分 7.3 分。

### 参 考 文 献

- [1] 程学勋. 大米淀粉微波效应研究[D]. 武汉:华中农业大学图书馆,2007.
- [2] BELYAEV I. Non-thermal biological effects of microwaves; current knowledge, further perspective, and urgent needs[J]. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2005, 24(3):375-403.
- [3] FANG Y P, HU J, XIONG S B, et al. Effect of low-dose microwave radiation on *Aspergillus parasiticus* [J]. *Food Control*, 2011, 22:1078-1084.
- [4] 周蔚红, 张钧. 电磁脉冲灭菌研究[J]. *微波学报*, 2000, 16(3): 318-321.
- [5] 吕建华, 鲁玉杰, 王殿轩, 等. 大蒜挥发油对米象成虫的控制作用[J]. *粮食储藏*, 2006, 35(1):18-21.
- [6] 钟华, 孙保平. 多指标综合分析法在保水剂合成与评价中的应用[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(13):67-73.
- [7] 黄欣. 脉冲微波对细胞增殖影响的研究[D]. 上海:华东师范大学图书馆, 2010.
- [8] 胡坚. 寄生霉菌的微波效应研究[D]. 武汉:华中农业大学图书馆, 2009.
- [9] 王春霞, 周国燕. 微波加热对冷冻馒头品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(3):11-15.
- [10] 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.
- [11] 车丽, 谢静, 赵思明, 等. 大米的真空冷却研究[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(5):1-4.
- [12] 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.
- [13] 程学勋, 全文琴, 赵思明, 等. 不同加热方法对大米主要化学成分及食味的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2006(8):1-3.
- [14] 许金东. 微波蒸煮对米饭品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学图书馆, 2008.

## Optimal technology of preventing rice storage pests and mildew by pulsed microwave

ZENG Shu-wei CHE Li HUANG Qi-lin ZHAO Si-ming

Department of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** Effects of pulsed microwave on fatality rate of rice weevil and *Aspergillus parasiticus* and rice quality (rice temperature, the ratio of broken-rice and cracked-rice, and sensory quality) were investigated to provide a suitable microwave processing technology for rice storage. Based on the single factor experiments of width, dose, total time and intermittent time of microwave, the fatality rate of rice weevil and *Aspergillus parasiticus* increased dramatically with the increase of irradiation intensity. Meanwhile, the rice temperature increased gradually, weevil hatchability declined dramatically, the ratio of broken-rice and cracked-rice increased slightly with no obvious changes in overall sensory. By orthogonal test, the optimal pulsed microwave condition was found to be pulsed microwave dose of 7.5 W/g, pulse width of 300 ms, interval time of 50 ms, the total processing time of 30 s. Under the optimal condition, the fatality rate of rice weevil and *Aspergillus parasiticus* was 100.0% and 83.2%, respectively. The rice temperature was 53.8 °C. The ratio of broken-rice and cracked-rice increased by 1.2% and 1.5%, respectively. The sensory score was 7.3.

**Key words** rice; rice weevil; *Aspergillus parasiticus*; pulsed microwave; fatality rate; mildew proof technology