

# 微波辐照抑制储粮虫卵孵化的研究

## Study on inhibiting effect on egg hatching in grain storage by using microwave irradiation

刘金光<sup>1,2</sup> 熊旭波<sup>3</sup> 王世清<sup>1,2</sup> 张岩<sup>1,2</sup> 姜文利<sup>1,2</sup>

LIU Jin-guang<sup>1,2</sup> XIONG Xu-bo<sup>3</sup> WANG Shi-qing<sup>1,2</sup> ZHANG Yan<sup>1,2</sup> JIANG Wen-li<sup>1,2</sup>

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 青岛市现代农业质量与安全工程重点实验室, 山东 青岛 266109; 3. 青岛澳维康生物科技工程有限公司, 山东 青岛 266109)

(1. Food Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Qingdao Key Lab of Modern Agricultural Quality and Safety Engineering, Qingdao, Shandong 266109, China; 3. Qingdao Aoweikang Biological Engineering Technology Co. Ltd, Qingdao, Shandong 266109, China)

**摘要:**为解决当前粮食储藏中普遍采用的化学熏蒸除虫存在的污染问题,研究了基于热物理方法的微波辐照对储粮籽粒中虫卵的抑制效果,通过改变微波功率和辐照时间,得到了微波性质、粮层温度、籽粒活力与虫卵孵化率的关系。结果表明:微波能够穿透的粮层深度为 7~10 cm,1 kW 微波源,90 s 为抑虫效果最佳的辐照时间,2 kW 微波源,60 s 抑虫效果最佳,籽粒外观未有改变,粮食籽粒内部以米象、麦蛾虫卵为主要虫卵的孵化率为 0%;该条件下辐照未影响籽粒活力,籽粒发芽率和相对电导率相比对照组没有显著变化,辐照仅使粮层表面籽粒含水量降低,其他粮层籽粒含水量不受影响。该研究为微波辐照抑制粮食籽粒中虫卵孵化技术在粮库中的应用提供了依据。

**关键词:**微波辐照;虫卵失活;籽粒活力;粮食品质;储粮

**Abstract:** In order to solve the pollution problems of chemical fumigation pest which commonly used in grain storage currently, based on the principle of thermal physics, microwave irradiation was used to inhibit egg hatching in grain. Through changing the microwave power and irradiation time, the relationship between the factors including microwave properties, grain temperature and grain vigor, and hatchability of eggs were found. The results showed that the effect depth of microwave was 7-10 cm, and the best time of irradiation was 90 s at 1 kW and 60 s at 2 kW, with no change on the grain appearance. Moreover, the hatchability of eggs, mainly *S. oryzae* and cerealella, inside the seed was 0%. Irradiation had a less effect on seed viability, and no obvious changes was observed in

germination percentage and relative electrical conductivity. The irradiation could significantly affect the moisture content of surface, but the others were less influenced. The results can provide some helpful information for the application of the irradiation in inhibiting the egg hatching in grain during storage.

**Keywords:** microwave irradiation; inactivation of egg; seed vigor; grain quality; grain storage

由于设施简陋、方法原始、工艺落后,中国粮食产后因霉变、虫害导致品质下降造成的损失超过产量的 8%,每年粮食损失高达  $2.50 \times 10^{10}$  kg<sup>[1]</sup>。目前国外主要采用烘干收获原粮、熏蒸储粮、热处理加工设施及运输箱内投药等方法控制粮食虫害<sup>[2]</sup>,中国主要依靠储粮中定期化学药物熏蒸除虫。化学除虫具有方便快捷、成本低及致死效果好的特点。但随着仓储害虫抗药性的提高,熏蒸剂用量逐次增加,化学药物的过量残留将会引发一系列的熏蒸剂污染问题<sup>[3]</sup>。

微波是指频率在 300 MHz~300 GHz 的电磁波。目前中国用于工业和食品加热的常用频率为 915,2 450 MHz<sup>[4]</sup>。微波自身不会产生热量,微波辐照的热量来源于被辐照物体内部分子间的猛烈磨擦和相互碰撞,使物体内部产生大量热量,温度急剧升高,达到加热干燥、杀菌、煮熟食物的目的<sup>[5-6]</sup>。近年来,微波辐照技术发展迅速,已被应用于去除档案中虫害<sup>[7]</sup>及食品杀菌、烘焙和保鲜<sup>[8-9]</sup>,具有升温快、无残留和优化工艺的特点。但是,辐照加热受被辐照物体厚薄和组成差异的影响容易出现受热不均,同时,辐照过度会导致粮食失水严重、籽粒活力减弱(电导率升高、发芽率降低),甚至出现籽粒爆腰的现象<sup>[10]</sup>,因此,需要探究合适的微波源功率和辐照时间。

粮食储藏中,已有微波辐照致死粮食中的储粮害虫<sup>[11]</sup>及粮食籽粒表面菌群<sup>[12]</sup>的研究,但受辐照功率的影响,对于

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:31271963)

**作者简介:**刘金光,男,青岛农业大学在读硕士研究生。

**通讯作者:**王世清(1961—),男,青岛农业大学教授,博士。

E-mail: wangshiqing@126.com

**收稿日期:**2016-01-29

较大深度粮层辐照除虫、抑制粮食籽粒内部虫卵的研究较少。用微波辐照产热抑制粮食籽粒中虫卵的孵化,能够从根本上解决储粮中的虫害问题。本研究拟基于青岛农业大学拥有的发明专利技术<sup>[13]</sup>,对深层粮食籽粒中虫卵的微波辐照致死效果及辐照后籽粒品质变化进行研究,以期微波辐照抑制粮食籽粒中虫卵孵化的技术应用提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料

2015 年收获的小麦(济麦 22 号),由青岛市第二粮库提供,参照 GB 5491—1985《粮食、油料检验 抽样、分样法》。粮仓(长×宽×高:60 m×24 m×12 m)分为上下 4 层,各层 5 个扦样点:中间 1 个,四周距仓壁 50 cm 处各 1 个,将取得样品充分混匀,去除其中虫蛀粒和表面成虫、杂质等晾干,控制含水量≤12.5%。

#### 1.1.2 仪器

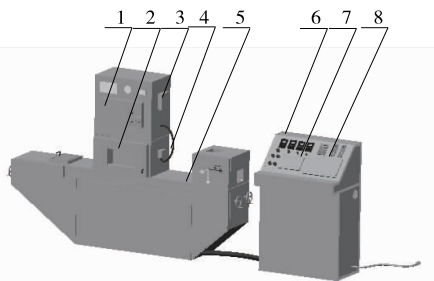
隧道式微波辐照机(见图 1):FLT-Y-X4 型,微波源辐照频率 2 450 MHz,青岛科朗特公司;

恒温恒湿培养箱:HSP-350 型,北京莱凯博公司;

电子水分测定仪:MA-35 型,德国赛多利斯公司;

电导率仪:SG-3 型,瑞士梅特勒—托利多公司;

多路温度记录仪(Temp Curve 软件):TP-1000 型,深圳拓扑瑞仪器有限公司。



1. 1 kW 处理仓 2. 2 kW 处理仓 3. 1 kW 微波源 4. 2 kW 微波源 5. 输送带 6. 仪表盘 7. 触控面板 8. 仓内视频显示器

图 1 隧道式微波辐照机

Figure 1 Tunnel type microwave irradiation machine

隧道式微波辐照机输送带长×宽为 3.0 m×1.5 m,输送速度为 0.05 m/s,辐射粮层深度为 10 cm,功率为 1 kW 和 2 kW 时,工作效率分别为 6 m<sup>3</sup>/h 和 9 m<sup>3</sup>/h。

### 1.2 试验原理

微波辐照致死虫卵是使虫卵受热效应和非热效应的共同作用,因急速升温 and 生物效应紊乱而死亡。热效应是指在微波作用下生物组织分子发生极化并伴随高频振荡,分子热运动和相邻分子的摩擦导致热量产生,温度的快速升高使蛋白质等分子的空间结构改变或破坏导致生物体死亡<sup>[14]</sup>;非热效应是指微波改变了生物体生命活动中带电粒子的排列组合方式和运动规律,致使生理活性物质的性质改变<sup>[15]</sup>;此外,微波破坏了细胞 DNA、RNA 的分子结构,使细胞的正常生长、繁殖能力中断<sup>[16]</sup>。由极性分子组成的物质能够较好地吸收微波,含水量越高的物质对微波作用越敏感<sup>[17]</sup>,仓储

小麦的水分含量低于 12.5%,米象等储粮害虫的含水量大约为 60%~70%,虫卵的含水量高于 70%,因此,相同深度的粮层经微波辐照后虫卵的升温最快;高温能够致使虫卵失活,但也会导致籽粒活力的降低,表现为发芽率降低、电导率值升高<sup>[18-19]</sup>。

本试验用短时间、大功率微波源(频率为 2 450 MHz,发散式微波磁控管头)由粮层表面向内部辐照,通过对粮食温度进行测量和采集,检测虫害抑制效果及籽粒活力(电导率、发芽率)变化,作为分析评价微波辐照抑制深层粮食籽粒中虫卵孵化效果及对籽粒活力影响的依据。根据辐照除虫应用于大型粮库的要求,微波源只能由粮层表面辐照,因此试验中盛放粮食的容器选择四周皆反射微波的金属材料。

### 1.3 试验方法

取边长为 15 cm 的方形无盖铁桶,标注 3,5,7,10,12,15 cm 深度刻度,将试验小麦装入样品袋,厚度为 1 cm,放于铁桶标注深度处,其它深度范围用小麦填充,微波源由铁桶正上方垂直向下辐照,功率预设为 1,2 kW,辐照时间梯度设置为 30,60,90,120,150,180 s。同条件下平行 3 次,数据取平均值。

1.3.1 取样 参照 GB 5491—1985《粮食、油料检验 抽样、分样法》,将处理后的样品平摊于桌面,采用四分法取样。用两块分样板将样品摊成正方形,从左右两侧铲起样品约 10 cm 高,同时对准中心倒落,换方向重复操作 5 次;平摊样品成正方形,画出对角线,取出两个对顶三角形的样品,剩余样品重复上述分取操作,直至剩余对顶三角形的样品接近所需试样质量为止。

1.3.2 微波辐照对虫卵孵化的抑制 根据马自军<sup>[20]</sup>的方法,修改如下:取辐照后各粮层深度的小麦样品 1 kg,于恒温恒湿培养箱中(T=25 °C,RH=75 %)培养 90 d,通风间隔为 6 h,光照间隔为 8 h,记录孵化完成的仓储害虫(包括幼虫和成虫)个数,统计间隔为 15 d。

### 1.4 评价指标

1.4.1 粮层温度 将温度检测器探头埋于各测温粮层,每层 5 个测温点(见图 2),记录辐照后各粮层深度的粮食实时温度,粮食的初始温度为 20 °C。

1.4.2 虫卵孵化率 受精卵的成功孵化不仅受温度、湿度等外界环境影响,还与卵自身健康程度密切相关,过量辐照能够使虫卵高温失活,因此可以用来反映辐照对粮食籽粒中虫卵孵化的抑制效果<sup>[21]</sup>。孵化率指受精卵的孵化比率,即:

$$\phi = \frac{A_1}{A} \times 100\%, \quad (1)$$

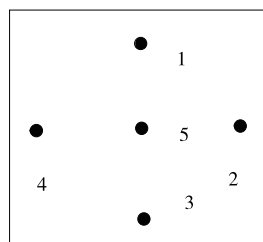


图 2 粮层测温点布置

Figure 2 The temperature measuring point layout in Grain layer

式中:

$\Phi$ ——虫卵孵化率, %;

$A_1$ ——孵化出成虫的数量(本文中包括幼虫), 个;

$A$ ——测试所用虫卵的数量(本文用对照组  $A_1$  代替), 个。

1.4.3 小麦含水量 含水量测定参照 GB/T 24898—2010《粮油检测 小麦水分含量测定》的近红外法。取辐照后各粮层深度小麦样品 50 g, 粉碎后过 80 目筛, 含水量测定由 MA-35 型电子水分测定仪完成, 温度设定为 130 °C, 时间为 10 min。

#### 1.4.4 小麦籽粒活力

(1) 电导率: 电导率值测定根据王若兰等<sup>[22]</sup>的方法(浸出液电导率测定法), 修改如下: 取辐照后各粮层深度小麦样品 50 粒, 平行样称重质量差  $\leq 0.01$  g, 冲洗后用滤纸吸干籽粒表面水, 放入 100 mL 去离子水中, 20 °C 恒温浸泡 24 h, 测定浸出液电导率为  $B$ ; 测出 100 mL 去离子水的电导率为  $A$ , 则小麦浸出液电导率为  $\gamma_0 = B - A$ <sup>[23]</sup>。籽粒遭受不良环境(高温、振荡或病原菌感染)胁迫时, 细胞膜完整性会受到损伤, 出现膜透性增加和电解质外渗, 引起浸提液电导率增加。通过测定组织浸提液电导率可以反映籽粒的受损程度, 用相对电导率( $\gamma_e$ )表示<sup>[24]</sup>。

相对电导率为测试材料活组织浸提液电导率(辐照前的浸提液电导率)与被杀死后浸提液电导率的百分比, 即:

$$\gamma_e = \frac{\gamma_1}{\gamma_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$\gamma_e$ ——相对电导率, %;

$\gamma_0$ ——籽粒组织被杀死后浸提液电导率,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

$\gamma_1$ ——测试材料组织浸提液电导率,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

(2) 发芽率: 种子活力通常指种子发芽力, 指种子在适宜条件下发芽并长出正常幼苗的能力, 极端环境(如高温)会破坏籽粒的胚组织, 影响籽粒萌发, 通过测试籽粒发芽情况, 可以反映籽粒胚组织的受损程度, 用发芽率  $\eta$  表示<sup>[25]</sup>。发芽率测定参照 GB/T 5520—1985《粮食、油料检验 种子发芽试验》。取辐照后各粮层深度小麦样品 100 粒, 以籽粒长 1~2 倍间距摆放于铺有 1 cm 厚、湿细砂的培养皿中, 20 °C 恒温培养 7 d, 保持通风, 记录正常出芽个数。正常发

芽种子: 幼根达种子长, 幼芽至少达 1/2 粒长, 且侧根发育正常; 非正常发育种子: 幼根或幼芽残缺、畸形或腐烂, 幼根显著萎缩或中间呈纤维状, 幼芽水肿状。

发芽率指在规定时间内全部正常发芽的种子粒数占供检种子粒数的百分率, 用  $\eta$  表示:

$$\eta = \frac{M_1}{M} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

$\eta$ ——发芽率, %;

$M_1$ ——规定天数内正常发芽的种子粒数, 个;

$M$ ——供试种子粒数, 个。

## 2 结果与分析

### 2.1 粮层温度变化

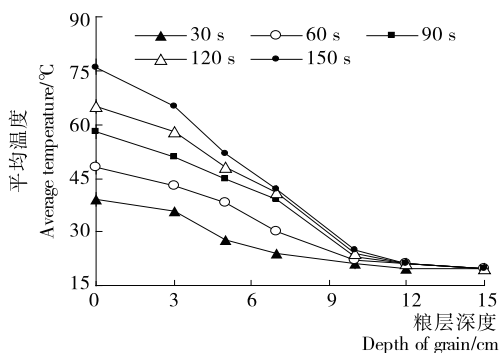
由图 3 可知, 微波能够透过的粮层深度为 7~10 cm, 受小麦导热系数的影响, 超过微波透过深度, 粮食温度降低明显; 1 kW 功率, 辐照 90 s 内, 粮食温度低于 60 °C, 籽粒外观没有变化, 辐照 150 s 时粮层表面籽粒出现异味。2 kW 功率, 辐照 60 s 内, 粮食温度低于 60 °C, 粮层表面籽粒开始出现异味的辐照时间为 120 s。因保持粮食品质的温度要求<sup>[26]</sup>为  $\leq 60$  °C, 故本试验的可行条件为: 1 kW 功率、辐照时间少于 90 s, 2 kW 功率、辐照时间少于 60 s。

### 2.2 虫害抑制效果

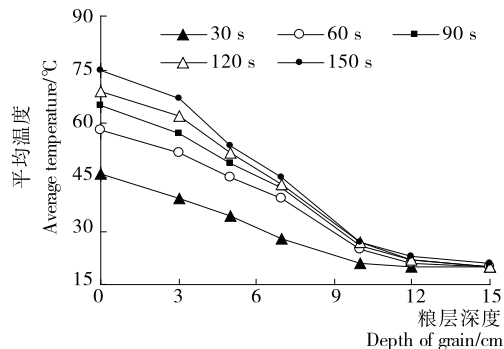
由图 4 可知, 1 kW 功率, 辐照 90 s 以上对虫卵孵化抑制效果显著( $P < 0.05$ ), 根据 2.1 中结论和式(1), 辐照 90 s, 粮层深度 7 cm 内虫卵 0 孵化; 2 kW 功率, 辐照 60 s 以上对虫卵孵化抑制效果显著( $P < 0.05$ ), 辐照 60 s, 粮层深度 7 cm 内虫卵 0 孵化。试验中孵化出的成虫主要是米象和麦蛾, 极少量赤拟谷盗, 因此推断: 1 kW 功率辐照 90 s, 2 kW 功率辐照 60 s 的辐照条件可以抑制粮食籽粒中以米象、麦蛾虫卵为主要虫卵的孵化。相比王殿轩等<sup>[14-15]</sup>辐照致死粮层表面虫害的方法, 本处理方法能够同时处理 7 cm 深度粮层, 处理更高效。

### 2.3 小麦含水量变化

由图 5 可知, 粮层深度小于 3 cm, 籽粒含水量低于对照组, 表面粮层籽粒含水量最低。1 kW 功率, 表面粮层经辐照后籽粒含水量显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 且不同处理时间差异显著( $P < 0.05$ ); 粮层深度 3 cm 处, 辐照时间少于 90 s



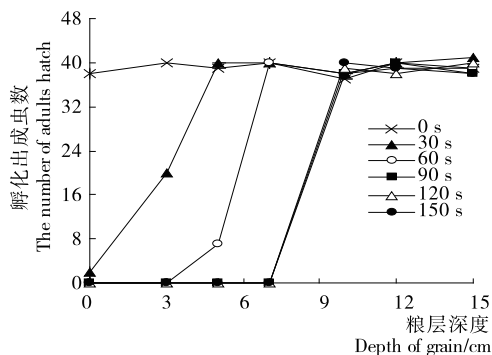
(a) 1 kW微波源辐照



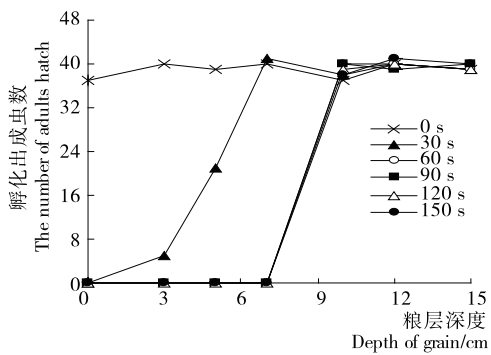
(b) 2 kW微波源辐照

图 3 不同时间辐照后粮层温度变化

Figure 3 The grain temperature change at different irradiation time



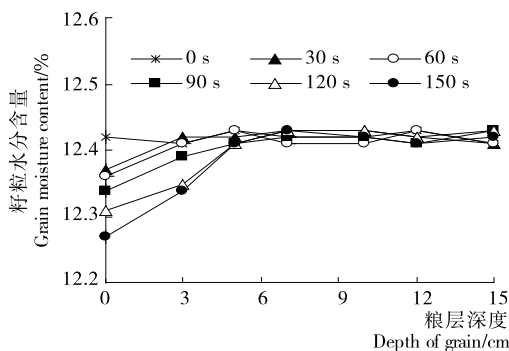
(a) 1 kW微波源辐照



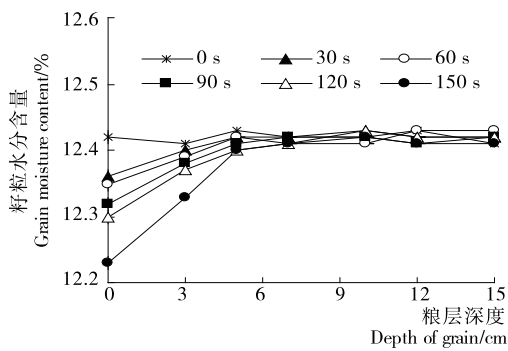
(b) 2 kW微波源辐照

图4 不同时间辐照后虫害抑制效果

Figure 4 The effect of Pest suppression at different irradiation time



(a) 1 kW微波源辐照



(b) 2 kW微波源辐照

图5 不同时间辐照后籽粒含水量变化

Figure 5 The change of water content in Wheat at different irradiation time

籽粒含水量值相比对照组差异不显著。2 kW 功率, 表面粮层经辐照后籽粒含水量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 且不同处理时间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 粮层深度 3 cm 处, 辐照时间少于 60 s 籽粒含水量值相比对照组差异不显著。表明 1 kW 功率辐照 90 s, 2 kW 功率辐照 60 s 的辐照条件对表面粮层以外的籽粒含水量不产生显著性影响。

#### 2.4 电导率值变化

由图 6 可知, 辐照后粮层深度 5 cm 内籽粒的相对电导率值高于对照组, 且粮层表面相对电导率值最高。1 kW 功率, 辐照时间少于 90 s, 粮层表面籽粒相对电导率值相比对照组差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 说明籽粒组织细胞未出现显著性破坏; 2 kW 功率, 辐照时间小于 60 s, 粮层表面籽粒相对电导率值相比对照组差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 籽粒组织细胞

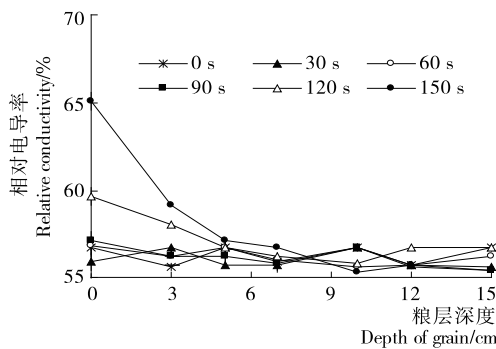
也未出现显著性破坏。说明 1 kW 功率辐照 90 s, 2 kW 功率辐照 60 s 的辐照条件对籽粒组织细胞没有显著破坏。

#### 2.5 发芽率变化

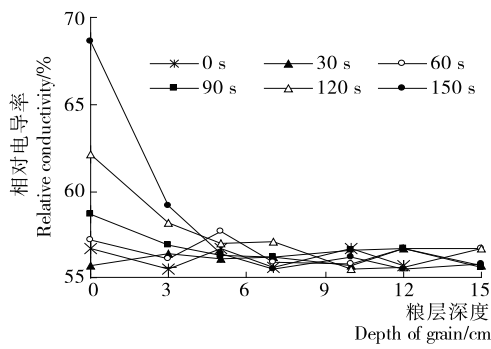
由图 7 可知, 辐照后粮层深度 3 cm 内籽粒发芽率低于对照组, 粮层表面发芽率最低。1 kW 功率, 辐照时间少于 90 s, 粮层表面籽粒发芽率相比对照组未出现显著降低 ( $P > 0.05$ ); 2 kW 功率, 辐照时间少于 60 s, 粮层表面籽粒发芽率相比对照组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。说明 1 kW 功率辐照 90 s, 2 kW 功率辐照 60 s 的辐照条件对籽粒发芽率没有影响。

### 3 结论

微波能够透过的粮层深度为 7~10 cm, 1 kW 微波源, 90 s 为抑虫效果最佳的辐照时间, 2 kW 微波源, 辐照 60 s 抑虫效果最佳, 此条件下, 微波透过粮层粮食温度低于 60 °C,



(a) 1 kW微波源辐照



(b) 2 kW微波源辐照

图6 不同时间辐照后相对电导率值变化

Figure 6 The relative conductivity value changes at different irradiation time

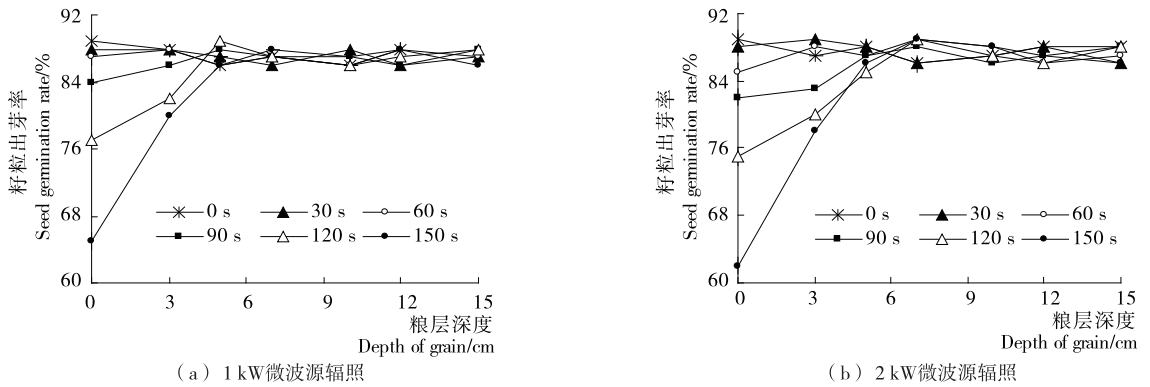


图 7 不同时间辐照后发芽率变化

Figure 7 The change of seed germination rate at different irradiation time

籽粒外观没有变化,籽粒内部以米象、麦蛾虫卵为主要虫卵的孵化率为 0;辐照并未影响籽粒活力,籽粒发芽率和相对电导率相比对照组没有显著变化,仅使粮层表面籽粒含水量降低。辐照除虫替代药物熏蒸除虫,使除虫更环保,储粮更安全,具有良好的推广应用前景。

本试验所用方法的工作效率较王殿轩等<sup>[14]</sup>辐照除虫方式(640 W、20 s)分别提高 2.5 倍和 3.5 倍。若将本试验装置的输送带宽度提高到 1.5 m,则用于实际生产中的工作效率可提高 11.3 倍。本试验所用方法经隧道式微波辐照机辐照后表层籽粒含水量会有降低,因此,今后研究需改进进料方式或辐照机结构以减少籽粒辐照失水。

### 参考文献

- [1] 冯雅可. 储粮不当致年损 500 亿斤粮食[J]. 四川党的建设, 2012(8): 4.
- [2] 朱邦雄, 邓树华, 周剑宇, 等. 稻米加工过程的害虫发生与控制[J]. 粮食储藏, 2010, 39(5): 7-11.
- [3] 张志明, 兰波, 刘建荣, 等. 数字化技术在粮食熏蒸磷化氢浓度远程检测中的应用[J]. 粮食储藏, 2015, 44(2): 27-29.
- [4] VADIVAMBAL R, JAYAS D S. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials: a review[J]. Food Bioprocess Technol, 2010(3): 161-171.
- [5] 李静, 宋飞虎, 浦宏杰, 等. 苹果微波干燥的变温控制方法研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 218-224.
- [6] 肖南, 何建妹, 李婷, 等. 三华李果糕的微波杀菌工艺研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1 093-1 095.
- [7] 荆秀昆. 微波杀灭档案害虫的利与弊[J]. 中国档案, 2015(4): 60-61.
- [8] 叶文强. 微波杀菌技术在食品工业中的应用[J]. 农产食品科技, 2011, 5(4): 37-40.
- [9] WARCHALEWSKI J R, PRADZYNSKA A, GRALIK J, et al. The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests[J]. Die Nahrung, 2000, 44(6): 411-414.
- [10] 杨淮, 夏晶晖. 微波及保鲜剂对碧桃切枝保鲜效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2013(27): 11 119-11 120, 11 168.
- [11] DENG Yun, PADILLA-ZAKOUR O, ZHAO Yun-yun, et al. Influences of high hydrostatic pressure, microwave heating, and boiling on chemical compositions, antinutritional factors, fatty acids, in vitro protein digestibility, and microstructure of buckwheat[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(11): 2 235-2 245.
- [12] 杨国峰, 周建新. 食品微波杀菌有关问题的探讨[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 593-596.
- [13] 王世清, 张岩, 王虎峰, 等. 自走式微波储粮除菌、除虫及虫卵装置: 中国, 201310031387.2[P]. 2013-11-27.
- [14] 王殿轩, 刘炎, 荆纪东, 等. 微波对锯谷盗不同虫态的致死效应研究[J]. 粮食储藏, 2011, 40(3): 3-7, 30.
- [15] 王殿轩, 刘炎, 曹阳, 等. 微波处理对米象致死效果及小麦发芽率的影响[J]. 核能学报, 2011, 25(1): 105-107.
- [16] YADAV D N, ANAND T, SHARMA M, et al. Microwave technology for disinfection of cereals and pulses: An overview[J]. J. Food Sci. Technol, 2014, 51(12): 3 568-3 576.
- [17] 周健, 刘粤华, 周剑宇, 等. 绿色储粮技术防治储粮害虫的研究[J]. 粮食储藏, 2013, 42(3): 20-25.
- [18] REN Yong-lin, DESMARCHELIER J M. Release of fumigant residues from grain by microwave irradiation[J]. Journal of AOAC International, 1998, 81(3): 673-678.
- [19] EMAMI S, PERERA A, MEDA V, et al. Effect of microwave treatment on starch digestibility and physico-chemical properties of three barley types[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(6): 2 266-2 274.
- [20] 马字军. 超声波处理对粘虫卵孵化率的影响[J]. 现代农业科技, 2012(21): 151, 153.
- [21] DING F, JONES C L, WECKLER P. RF/microwave technology application for identification of stored-grain insects under electric fields[J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2009, 3(4): 227-238.
- [22] 王若兰, 夏晨丰. 高筋小麦储藏品质变化的研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(3): 456-458.
- [23] 李新宇, 熊旭波, 张岩, 等. 热管低温储粮技术对小麦品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 107-111.
- [24] 朱银, 颜伟, 杨欣, 等. 电导法测定小麦种子活力[J]. 江苏农业科学, 2014(9): 78-80.
- [25] 李法德, 张宪刚, 李秀芝, 等. 电场处理与介电分选对棉种发芽率和幼苗质量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 128-132.
- [26] 罗志刚, 于淑娟, 杨连生. 微波场对小麦淀粉性质的影响[J]. 化工学报, 2007, 58(11): 2 871-2 875.