

射频场内孔分散结构对物料温度分布及其杀虫效果的影响

肖 逵¹, 唐亚丽^{1,2*}, 卢立新^{1,2}, 丘晓琳^{1,2}, 王 军^{1,2}

(¹江南大学机械工程学院 江苏无锡 214122

²江苏省食品先进制造装备技术重点实验室 江苏无锡 214122)

摘要 为解决射频杀虫时加热不均匀而导致杀虫不彻底的问题,从孔方向、空实心、孔数量、孔径和分布方式方面研究孔分散结构在提升射频加热速率和加热均匀性方面的作用以及在杀虫方面的应用。以大米为材料,试验发现在促进加热效果上竖向分散结构优于横向,空心优于实心。当孔径相同时,孔数量越多效果越好。当孔数量相同时,孔径越大效果越好。等距分布具有最高的加热速率,而冷区集中分布具有最好的加热均匀性。将 12 孔 22 mm 的分散结构用于射频杀虫,在加热 7 min 后,孔分散结构使样品中米象死亡率从对照组的 16.8%提至 100%。对于赤拟谷盗,射频加热 10 min 后,孔分散结构使样品中赤拟谷盗的死亡率从对照组的 8.7%提至 98.1%。

关键词 分散结构; 射频加热; 杀虫; 加热速率; 加热均匀性

文章编号 1009-7848(2022)01-0108-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.01.012

射频加热是一种利用射频能使物料升温的加热方法。在射频加热过程中,交变电磁场使得场中物料含有的极性分子高速旋转,进而与周围的物料分子摩擦、碰撞,释放出热量促使物料升温。射频加热具有整体加热,加热速率快,无接触加热等优势,在食品加工领域有很大应用前景^[1]。射频杀虫就是其一^[2-4]。传统化学熏蒸法的杀虫剂残留会危害环境和人体健康,若长期使用,害虫还会产生耐药性^[5],而经过射频杀虫的食品安全、无残留,不会对人体产生毒害作用。比如在 Yang 等^[6]的研究中,射频加热 180,300,420 s 后米蛾在卵、幼虫、成虫阶段的致死率达到 100%,储藏 45 d 后无米蛾出现,处理后的大米品质无显著变化。Hou 等^[7]使用射频来杀灭米中的谷蠹,发现射频加热到 54 °C 保持 11 min,可使谷蠹死亡率达到 100%。Jiao 等^[8]使用射频协同强制热风将被虫侵染的小扁豆加热至 60 °C 并保持 10 min,豇豆象鼻虫的死亡率达到 100%。Ling 等^[9]将开心果射频加热到温度超过 52 °C 并在 55 °C 热风下保持 2 min,可使五龄印度粉蛾的死亡率达到 100%。这些研究均说明射频杀虫

具有很好的应用前景。

然而,目前射频杀虫也还存在着一些问题,比如边角过热的问题,这使得边角区域的虫子可能先死亡,而中央冷区的虫子则需要更长时间才能死亡,且边角区域的高温会破坏食品品质。对此,国内外已提出许多关于改善射频加热均匀性的方法,如搅拌^[10],旋转^[11-12],间歇加热^[13],改变周围或者内部介质材料^[14-17],改变样品大小和放置位置^[18],热风辅助^[19],物料分隔^[20-21]等。然而,这些方法在改善加热均匀性的同时往往也降低射频加热速率。如果可以通过改善容器结构,使加热均匀性得到改善的同时提升加热速率,在提高射频杀虫效率的同时减少因边角过热而带来的食品品质下降问题,就有很好的实际应用价值。从 Zhang 等^[20]和 Song 等^[21]的研究中得知,将物料分隔后可以改善加热均匀性。刘嫣红等^[22]的研究提到射频可快速加热多孔物料,而吴雪梅^[23]在其专著中解释了含气泡的介质材料在交变电磁场下可能发生击穿,从介质材料在交变电磁场下的特性来说,多孔物料中空气间隙的存在,使物料内电磁场的分布发生变化。本文的研究目的是将多孔与分隔两种思路结合起来,探究孔分散结构对物料射频加热速率和加热均匀性的影响;探究孔分散结构在射频杀虫应用中的效果。

收稿日期: 2021-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671909)

作者简介: 肖逵(1997—),女,硕士生

通信作者: 唐亚丽 E-mail: tyl@jiangnan.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

大米(含水率 13.1%), 欧尚超市; 外径分别为 6, 10, 16, 22, 28 mm 的单侧壁厚 1 mm 的聚丙烯空心管, 直径 22 mm 的聚丙烯实心棒, 155 mm×107 mm×60 mm 的聚丙烯保鲜盒; 赤拟谷盗和米象, 从湖南湘乡农村地区的小粮仓获得。

平行极板射频系统, 无锡旭洲智能科技有限公司, 功率和极板间距均可调, 所有样品射频加热时均采用 5 700 V 的阳极电压和 85 mm 极板间距; 恒温恒湿箱, 上海一恒科学仪器有限公司; HT-9815 热电偶温度计, 东莞市鑫泰仪器仪表有限公司; Fluke Ti95 红外热像仪, 美国 Fluke 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 孔方向对射频加热速率和加热均匀性的影响 选择直径 22 mm 的 8 个竖向孔, 2 个横向孔来探究孔方向的影响, 孔的数量是根据二者排开的物料体积很接近来确定的, 即 2 个横向孔和 8 个竖向孔所排开的物料体积很接近。盒子上的孔是用电烙铁加工的, 摩擦力可将管固定, 竖向和横向分别按照图 2b 和 2g 排布, 横向的管直接贯穿盒身, 竖向的管则与盖相连, 物料高度均为 40

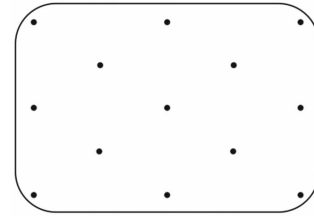


图 1 温度均匀性指数计算取样点

Fig.1 Sample points for temperature uniformity index calculation

mm, 置于下极板中心位置加热 10 min 后, 迅速取出并将盒盖打开, 用红外热像仪拍摄加热后物料的上表面温度分布, 并用热电偶温度计测定加热前、后几何中心和侧面中心的温度。加热速率取 10 min 内平均加热速率, 加热均匀性指数 λ 按照图 1 所示 13 点取样法获得 13 点的温度数据, 按照式(1)计算。

$$\lambda = \frac{\sqrt{\sigma^2 - \sigma_0^2}}{\mu - \mu_0} \quad (1)$$

式中, σ ——样品最终温度的标准差; σ_0 ——样品初始温度的标准差; μ ——样品的最终温度, $^{\circ}\text{C}$; μ_0 ——样品的初始温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

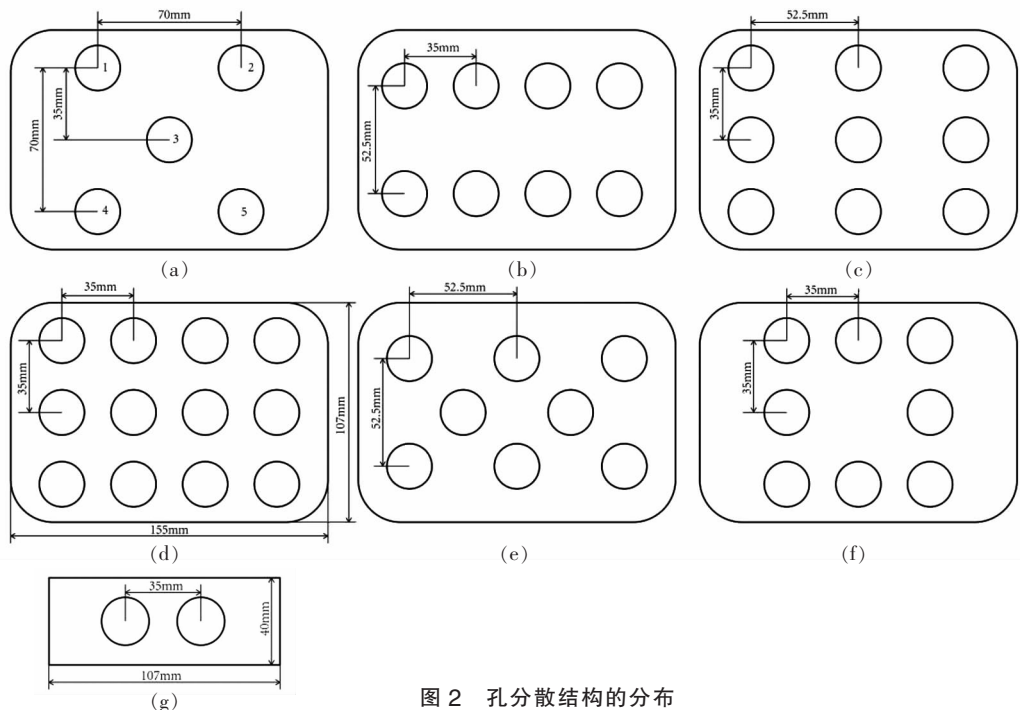


图 2 孔分散结构的分布

Fig.2 Distribution of pore dispersed structure

1.2.2 空实心对射频加热速率和加热均匀性的影响 为探究聚丙烯和空气这两种低介电介质形成的分散结构对于促进射频加热速率及均匀性的影响,将直径 22 mm 的聚丙烯空心管和聚丙烯实心棒分别构成如图 2b 所示的竖向 8 孔分散结构,按照 1.2.1 节的步骤加热,测定加热速率并计算加热均匀性指数。

1.2.3 孔数量对射频加热速率和加热均匀性的影响 按照图 2a~2d 所示,探究当直径为 22 mm 时,孔数量为 1,4,5,8,9,12 时,射频加热速率和均匀性的变化。其中,1 孔时对应图 2a 的位置 3;4 孔

时对应位置 1,2,4,5;5 孔时对应位置 1,2,3,4,5。所有均为空心孔。根据中心位置是否设置孔分成两个小组:表 1 中 C1、C2、C3 为一小组,即孔数为 1,5,9 的样品;C4、A4、B4 为另一小组,即孔数为 4,8,12 的样品。按照 1.2.1 节的步骤加热,测定加热速率并计算加热均匀性指数。

1.2.4 孔径对射频加热速率和加热均匀性的影响 将直径为 6,10,16,22,28 mm 的聚丙烯空心管按照图 2d 所示的 12 孔排布,按照 1.2.1 节中的步骤加热,测定加热速率并计算加热均匀性指数。

表 1 组别编号与组别对应情况

Table 1 Group number and corresponding samples

编号	组别	编号	组别
A0	对照	B3	12 孔 ($d=16$ mm)
A1	8 个竖孔-冷区集中分布	B4	12 孔 ($d=22$ mm)
A2	8 个竖孔-交错分布	B5	12 孔 ($d=28$ mm)
A3	2 个横孔	C1	1 孔
A4	8 个竖孔-等距分布	C2	5 孔
A5	8 个竖实心柱-等距分布	C3	9 孔
B1	12 孔 ($d=6$ mm)	C4	4 孔
B2	12 孔 ($d=10$ mm)		

1.2.5 分布方式对射频加热速率和加热均匀性的影响 按照图 2b,2e,2f 的方式为 3 种不同的分布方式,即等距分布、交错分布和冷区集中分布。按照 1.2.1 中的步骤加热,测定加热速率并计算加热均匀性指数。以上所有试验均重复 3 次。

1.2.6 孔分散包装结构在射频杀虫上的应用 以无孔作为对照,将 12 孔 22 mm 的分散结构应用于大米的射频杀虫,12 孔结构不再用摩擦力固定,而是将孔结构通过双面胶固定在盒内底部,固定好后将裸露在外的双面胶用保鲜膜包好,同时封好顶部的孔,防止粘上虫子或虫子掉进孔中,粘贴固定好所有分散孔结构后,将称量好的相应质量的大米装进保鲜盒中,使物料高度为 40 mm,再将 115 ± 3 只虫子放进盒内,快速盖好盖子以防虫子跑出,然后在恒温恒湿箱中放置 1 d 待虫子分散于盒内各处后,对于赤拟谷盗的杀虫试验,将样品置于下极板中心位置分别加热 7,8,9,10 min;对于米象的杀虫试验,无孔样品分别加热 6,7,8,9,

10 min,12 孔的样品分别加热 6 min 和 7 min。加热时间是根据虫子的耐受温度区间以及在之前试验中 12 孔升温情况确定的。加热完成后统计盒内虫子总数及虫子死亡数并计算虫子死亡率。为排除盖上盖子这个因素对虫子生命力造成的影响,试验前已经将含有同样体积物料和相同数量虫子的合盖状态样品在室温下放置 3 d,无虫子死亡,说明短时间内室温下合盖并不能造成虫子死亡,因此可以忽略合上盖子对于虫子死亡的影响。

2 结果与分析

2.1 孔方向对射频加热速率和加热均匀性的影响

结合图 3(a,d,e)和表 2 中 A0、A3、A4 的加热速率与加热均匀性可以看出,横向孔由于水平贯穿了物料,导致孔的正上方物料厚度低于周围,从而使得该区域的温度明显低于周围,加热均匀性比对照组差,而等距分布的竖向 8 孔的加热均匀

性就相对比对照组好很多,且在促进加热上效果显著。这与 Song 等^[21]的研究结果有相似之处:在将物料沿垂直方向分层后,发现在加热均匀性上,8层的优于4层的,4层优于不分层的,而在加热速率上则正好相反,即不分层方案的加热速率最大,4层次之,8层最小,这说明从垂直方向上分散物

料后,相当于减小了单层物料的厚度,而已有研究规律表明,物料厚度越大则加热速率越大^[24]。因此,如果想要在改善加热均匀性的同时保证加热速率不受影响甚至进一步提高加热速率,那么从垂直方向上进行分隔是很难实现的。

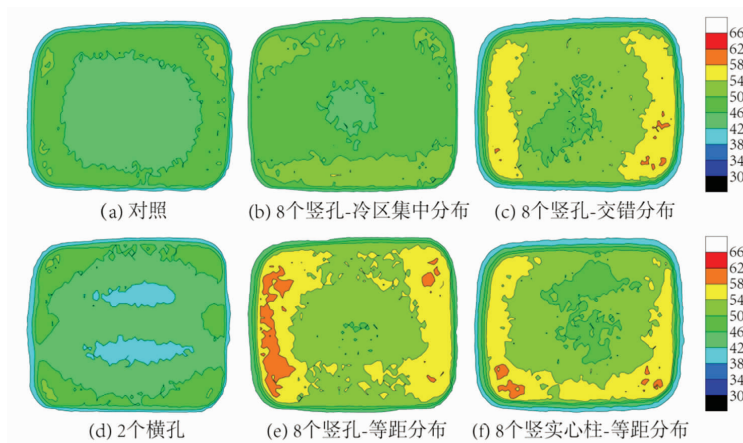


图 3 不同孔方向、分布方式和空实心的大米温度分布(°C)

Fig.3 Temperature distribution of different pore directions, distribution modes and hollow solid of rice (°C)

表 2 各组加热速率及加热均匀性

Table 2 Heating rate and heating uniformity of different samples

编号	侧面中心加热 速率/°C·min ⁻¹	几何中心加热 速率/°C·min ⁻¹	加热均匀性 指数 λ	编号	侧面中心加热 速率/°C·min ⁻¹	几何中心加热 速率/°C·min ⁻¹	加热均匀性 指数 λ
A0	2.28 ± 0.049	2.04 ± 0.148	0.115 ± 0.005	B3	2.48 ± 0.176	2.57 ± 0.092	0.091 ± 0.003
A1	2.77 ± 0.209	2.55 ± 0.194	0.079 ± 0.011	B4	2.90 ± 0.106	3.25 ± 0.191	0.090 ± 0.004
A2	2.50 ± 0.147	2.77 ± 0.191	0.098 ± 0.018	B5	3.25 ± 0.177	3.34 ± 0.064	0.081 ± 0.009
A3	2.28 ± 0.021	2.97 ± 0.014	0.157 ± 0.007	C1	2.06 ± 0.049	2.41 ± 0.191	0.105 ± 0.012
A4	2.81 ± 0.035	3.07 ± 0.148	0.085 ± 0.005	C2	2.36 ± 0.078	2.68 ± 0.192	0.087 ± 0.014
A5	2.77 ± 0.021	2.65 ± 0.233	0.116 ± 0.008	C3	2.75 ± 0.070	2.72 ± 0.240	0.099 ± 0.006
B1	2.60 ± 0.155	2.56 ± 0.169	0.145 ± 0.013	C4	2.41 ± 0.049	2.35 ± 0.148	0.102 ± 0.005
B2	2.77 ± 0.119	2.79 ± 0.113	0.124 ± 0.010				

2.2 空实心的影响

结合图 3 (e,f) 和表 2 中 A0、A4、A5 可以看出,二者均可以促进加热,这是因为在交变射频场中,因为空气($\epsilon'=1$; $\epsilon''=0$)和聚丙烯($\epsilon'=2.0$; $\epsilon''=0.0023$)^[15]的介电损耗因子和大米($\epsilon'=4.68$; $\epsilon''=0.42$)相比很小,所以它们所承受的电场强度会比周围固体物料的要高^[23],因此能够提高其周围物料的加热速率。然而,空心管组成的分散结构效果不论是在加热速率上还是在加热均匀性上都优于实心棒,这是因为空气的介电损耗因子要比聚丙

烯小,所以受电压作用时,虽然二者同为低介电性能介质,但是气孔承受的电场强度较高,因此促进气孔周围物料加热的效果更好。

2.3 孔数量对射频加热速率和加热均匀性的影响

从图 4 可以看出,孔径相同的情况下,整体上温度随孔数量的增加而升高,然而在 9 孔时,促进作用不如 8 孔,这可能是因为 9 孔在容器长度方向上的排布数量只有 3 排,而 8 孔在长度方向上有 4 排,因此 9 孔的长度方向上间距相对于 8 孔

的反而更大，稀疏的排布导致9孔的升温速率不如8孔快。再结合表2中A0、C1、C2、C3和C4、A4、B4可以看出，不论中心是否设置了孔，两组的加热速率都随着孔数量增加而上升，而加热均匀性指数则呈先降低后升高的趋势，这可能是因为

当孔数适中时，使得冷区温度提升，同时边角区域过热情况也不太严重，这时候具有最佳的加热均匀性，当加热速率过快时，边角过热程度也增加，导致加热均匀性下降。

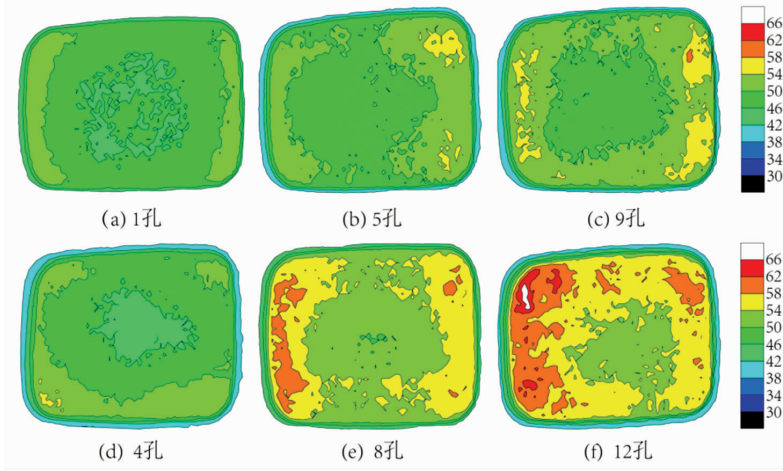


图4 不同孔数量的大米温度分布(°C)

Fig.4 Temperature distribution with different pore numbers of rice (°C)

2.4 孔径对射频加热速率和加热均匀性的影响

图5是当孔数量为12保持不变时，由不同孔径下物料上表面的温度分布，可以发现，射频加热后随着孔径的增大，中央温度较低区域的面积逐渐缩小，且边角温度较高区域的面积相应增大，与对照组相比，即使只是孔径为6mm的孔分散结构也使得温度明显提升。再结合表2中A0、B1、B2、B3、B4、B5对应的加热速率和加热均匀性指数情

况可得出结论：当孔径在一定范围内逐渐增大时，加热速率总体呈上升趋势；而加热均匀性指数则随着孔径的增加而减小，表明随孔径增大，加热均匀性越来越好。当孔径较小时，加热均匀性比对照组差，然而，当孔径大于16mm后，均匀性比对照组有明显改善。这可能是因为随着孔径增大，孔与物料接触面积增大，促进加热的作用范围扩大。

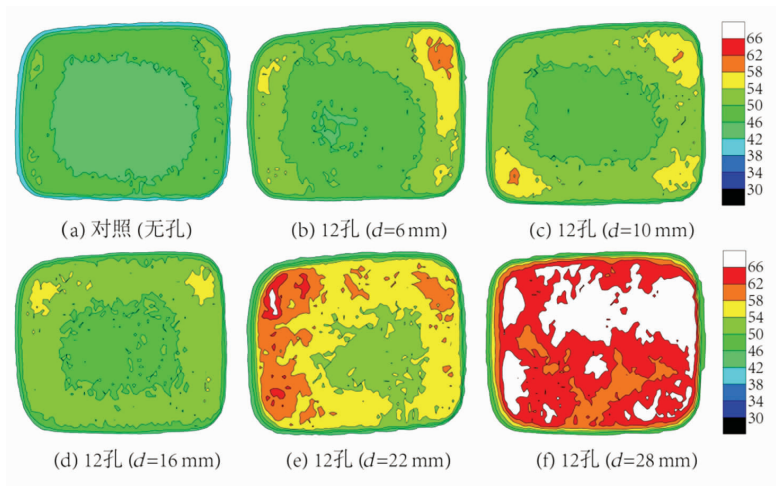


图5 不同孔径下的大米温度分布(°C)

Fig.5 Temperature distribution with different pore diameters of rice (°C)

2.5 分布方式的影响

结合图 3(b,c,e)和表 2 中 A1、A2、A4 几项的相应数据可以看出,侧面中心和几何中心的加热速率最快的均为等距分布,几何中心加热速率最慢的为冷区集中分布;在加热均匀性上,最佳的分布方式为冷区集中分布,等距分布次之,交错分布最差。综合考虑加热速率和加热均匀性,等距分布为最佳的分布方式,因此,在后续试验中均选择使用等距分布方式。

2.6 孔分散结构在射频杀虫上的应用

由于孔分散结构能够在提升加热速率的同时改善加热均匀性,这使得它在射频杀虫应用中有

很大潜力。由于射频杀虫过程中物料存在边角热效应,由此在中央形成的相对温度较低的区域会导致虫子死亡率无法达到 100%。图 6 展示了将这种分散结构应用于射频杀虫后的效果,可以发现其它条件相同时,射频加热相同时间后,有 12 孔分散结构的组别虫子死亡率均超过无分散结构的组别。在米象的杀虫试验中,12 孔加热 7 min 后死亡率就已经达到 100%,而对照组需要加热 10 min 才达到相同的死亡率。在赤拟谷盗的杀虫试验中,虽然 12 孔分散结构组别在加热 10 min 后也没有达到 100%的死亡率,但是与对照组相比,加热相同时间后,死亡率已经远远高出对照组。

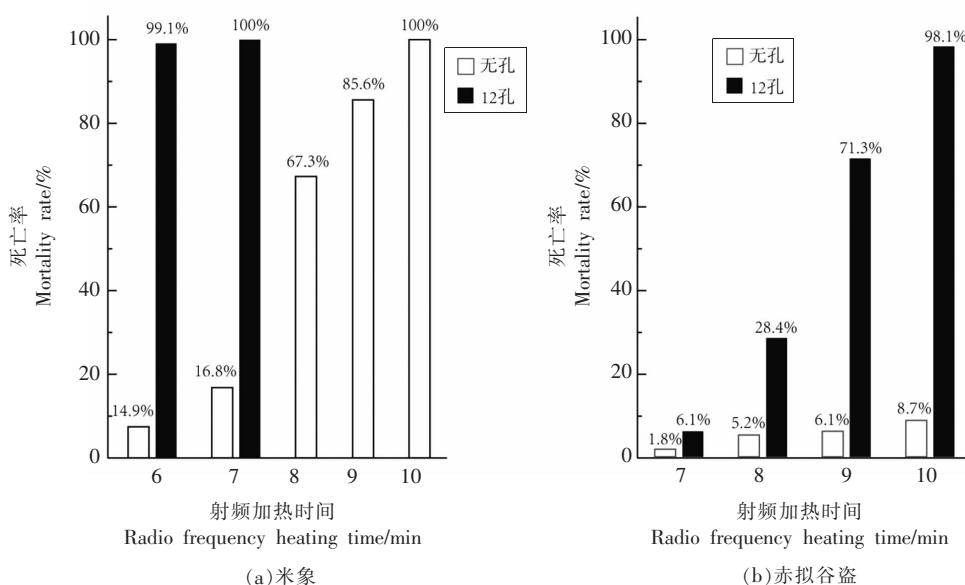


图 6 射频加热后米象(a)与赤拟谷盗(b)的死亡率

Fig.6 Mortality rates of adult rice weevils (a) and the red flour beetles (b) after radio frequency heating

3 结论

本文围绕孔分散结构探究了孔方向、空实心、孔数量、孔径、分布方式和含水率对射频加热速率的影响,发现孔分散结构能够提升大米的射频加热速率。具体效果体现为:竖向孔优于横向孔;空心优于实心;相同的孔径下,射频加热速率随孔数量的增加而增大;孔数量相同时,射频加热速率随孔径的增大而总体呈增大趋势,然而直径 10 mm 高于直径 16 mm 的加热速率。孔数量为 8 孔时,在冷区集中分布、交错分布和等距分布 3 种分布方式中,等距分布具有最佳的加热速率和较好的加

热均匀性。将 12 孔 22 mm 的分散结构应用于射频杀虫中,用于解决中央冷区虫子不易死亡的问题,结果表明,在相同的射频加热处理时间下,含有孔分散结构的样品中,虫子的死亡率显著高于无分散结构的组别。

参 考 文 献

- [1] 李玉林, 焦阳, 王易芬. 射频加热技术在食品工业中的应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 197-202.
LI Y L, JIAO Y, WANG Y F. Application of radio

- frequency heating in food industry[J]. Food & Machinery, 2017, 33(12): 197-202.
- [2] 杨莉玲, 李忠新, 马文强, 等. 射频杀虫技术在果品处理中的研究现状及展望[J]. 新疆农机化, 2013(6): 5-8.
- YANG L L, LI Z X, MA W Q, et al. Research status and prospect of radio frequency insecticidal technology in fruit treatment[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2013(6): 5-8.
- [3] 杨莉玲, 张绍英, 崔宽波, 等. 射频技术在核桃贮藏虫害处理中的研究进展[J]. 新疆农机化, 2017(6): 21-24.
- YANG L L, ZHANG S Y, CUI K B, et al. Research progress of radio frequency technology in walnut storage pest control[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2017(6): 21-24.
- [4] 孙为伟, 曹阳, 刘璐, 等. 射频加热防治5种储粮害虫的初步研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(5): 95-100.
- SUN W W, CAO Y, LIU L, et al. Control of five stored grain pests by radio frequency heating[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Society, 2019, 34(5): 95-100.
- [5] 周业平, 周忠祥, 张栋, 等. 硫酰氟在重庆地区粮仓熏蒸杀虫中的应用[J]. 粮食储藏, 2018, 47(3): 21-23, 27.
- ZHOU Y P, ZHOU Z X, ZHANG D, et al. Application of sulfuryl fluoride in fumigation and insecticide control in granary in Chongqing[J]. Grain Storage, 2018, 47(3): 21-23, 27.
- [6] YANG C, ZHAO Y, TANG Y, et al. Radio frequency heating as a disinfestation method against *Corcyra cephalonica* and its effect on properties of milled rice[J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 77: 112-121.
- [7] HOU L, LIU Q, WANG S. Efficiency of industrial-scale radio frequency treatments to control *Rhizopertha dominica* (Fabricius) in rough, brown, and milled rice[J]. Biosystems Engineering, 2019, 186: 246-258.
- [8] JIAO S, JOHNSON J A, TANG J, et al. Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in lentils[J]. Journal of Stored Products Research, 2012, 48: 143-148.
- [9] LING B, HOU L, LI R, et al. Storage stability of pistachios as influenced by radio frequency treatments for postharvest disinfestations[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33: 357-364.
- [10] WANG S, YUE J, TANG J, et al. Mathematical modelling of heating uniformity for in-shell walnuts subjected to radio frequency treatments with intermittent stirrings[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(1): 97-107.
- [11] PALAZOĞLU T K, MIRAN W. Computational investigation of the effect of orientation and rotation of shell egg on radio frequency heating rate and uniformity[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 58: 102238.
- [12] PALAZOĞLU T K, MIRAN W. Experimental investigation of the combined translational and rotational movement on an inclined conveyor on radio frequency heating uniformity[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 47: 16-23.
- [13] WU L, TAO J, LACOUT J, et al. Thermal analysis of RF intermittently heating porous media with coaxial cell[J]. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 2017, 53(1): 1-15.
- [14] OZTURK S, KONG F, SINGH R K, et al. Radio frequency heating of corn flour: Heating rate and uniformity[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 44: 191-201.
- [15] ZHANG S, HUANG Z, WANG S. Improvement of radio frequency (RF) heating uniformity for peanuts with a new strategy using computational modeling[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 41: 79-89.
- [16] HANKUN Z, DONG L, JIWEI M, et al. Radio frequency heating uniformity evaluation for mid-high moisture food treated with cylindrical electromagnetic wave conductors[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018, 47: 56-70.
- [17] HUANG Z, MARRA F, WANG S. A novel strategy for improving radio frequency heating uniformity of dry food products using computational modeling[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 34: 100-111.
- [18] JIAO S, DENG Y, ZHONG Y, et al. Investigation of radio frequency heating uniformity of wheat kernels by using the developed computer simulation

- model[J]. *Food Research International*, 2015, 71: 41–49.
- [19] WANG S, TIWARI G, JIAO S, et al. Developing postharvest disinfestation treatments for legumes using radio frequency energy[J]. *Biosystems Engineering*, 2010, 105(3): 341–349.
- [20] ZHANG S, RAMASWAMY H, WANG S. Computer simulation modelling, evaluation and optimisation of radio frequency (RF) heating uniformity for peanut pasteurisation process [J]. *Biosystems Engineering*, 2019, 184: 101–110.
- [21] SONG X, MA B, KOU X, et al. Developing radio frequency heating treatments to control insects in mung beans[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2020, 88: 101651.
- [22] 刘嫣红, 杨宝玲, 毛志怀. 射频技术在农产品和食品加工中的应用[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(8): 115–120.
- LIU Y H, YANG B L, MAO Z H. Radio frequency technology and its application in agro-product and food processing [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(8): 115–120.
- [23] 吴雪梅. 材料物理性能与检测[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 260–281.
- WU X M. *Physical properties and detection of materials*[M]. Beijing: Science Press, 2012: 260–281.
- [24] ZHANG P, ZHU H, WANG S. Experimental evaluations of radio frequency heating in low-moisture agricultural products[J]. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2015, 27(9): 662.

Effects of Pore Dispersed Structure on the Material's Temperature Distribution and Deinsectization in Radio Frequency Treatment

Xiao Kui¹, Tang Yali^{1,2*}, Lu Lixin^{1,2}, Qiu Xiaolin^{1,2}, Wang Jun^{1,2}

¹*School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu*

²*Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment Technology, Wuxi 214122, Jiangsu*

Abstract In order to solve the problem of incomplete deinsectization caused by uneven heating of radio frequency, this paper studied the role of pore dispersion structure in improving the radio frequency heating rate and the heating uniformity and its application in insecticidal application from the aspects of pore direction, hollow solid, pore number, pore diameter and distribution mode. Taking rice as an example, it was found that the vertical dispersed structure was superior to the horizontal structure and the hollow structure was superior to the solid core in promoting the heating rate. With the same pore size, the more holes, the better the effect. With the same number of holes, the larger the diameter, the better the effect. The equidistant distribution has the highest heating rate, but the concentrated distribution of the cold area has the best heating uniformity. After using the 12-pore 22 mm dispersed structure for radio frequency deinsectization, the death rate of adult rice weevils in the samples increased from 16.8% in the control group to 100% after heating for 7 min. For the red flour beetle, the death rate increased from 8.7% in the control group to 98.1% after radio frequency heating for 10 min.

Keywords pore dispersed structure; radio frequency heating; deinsectization; heating rate; heating uniformity