射频–热风联合杀菌对小包装胡萝卜丁品质的影响

孔 玲，张 慜*
（江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122）

摘要：比较了单独射频、单独热风和射频–热风联用对小包装胡萝卜丁的杀菌作用，研究了射频–热风联用在不同极板间距、不同杀菌时间的杀菌效果，以及射频–热风联用对胡萝卜丁脆度、硬度、色差、类胡萝卜素含量等品质，以及总体感官评价的影响。实验研究证实，射频–热风联用不但对胡萝卜丁具有显著的杀菌效果，而且有助于保持成品的品质。

关键词：射频；热风；杀菌；胡萝卜
中图分类号：TS 255.3　**文献标志码**：A　**文章编号**：1673—1689(2015)09—0943—06

Impacts of RF–Hot Air Sterilizing on the Quality of Carrots in a Small Package

KONG Ling，　*ZHANG Min**
（School of Food Science and Technology，Jangnan University，Wuxi 214122，China）

Abstract：The radio frequency （RF） combined with hot air has been referred to RF-hot air. The impacts of separate RF，hot and RF-hot air sterilization of carrots in a small package was studied. During the RF-hot air sterilization The effects of sterilization with different plate spacing and time，and the change of quality of carrots after been sterilized in different conditions，such as crispness，hardness，color，carotenoids and overall sensory evaluation.were evaluated by RF-hot air . The results showed that RF-hot air not only significantly influence the d bactericidal of carrots，but also maintain the good quality of the products.

Keywords：RF，hot air，sterilization，carrots

鲜切果蔬(fresh-cut fruits and vegetables)，又称最小加工果蔬、部分处理果蔬或轻度加工果蔬，是指新鲜的果蔬经过分级、整理、清洗、切分、去心(核)、修整、保鲜、包装等工序处理，提供给消费者的一种新鲜、营养、具有良好风味且方便的可食用产品[1]。随着人们生活节奏加快，鲜切果蔬因为其自然、新鲜、卫生、方便而逐渐成为城市果蔬消费的主流。然而消费者目前更关注食品品质和安全，同时，还要求产品具有天然风味、口感、新鲜的外观、方便食用，从而也推动了对鲜切果蔬的科学研究[2]。然而，由于完整性受到破坏，鲜切产品比未处理的样品更易变质且品质会下降[3]。胡萝卜由于其丰富的

收稿日期：2014-09-14
基金项目：国家自然科学基金项目(21176104)。
* **通信作者**：张　慜(1962—)，男，浙江平湖人，工学博士，教授，博士研究生导师，主要从事生鲜食品加工、贮藏保鲜机理和工程研究。
E-mail：min@jiangnan.edu.cn

营养价值且颜色和质地相对稳定等品质成为目前市场上鲜切产品的代表。然而,胡萝卜经过去皮、切分等加工后汁液流失,易侵染微生物,生理代谢反应加快,直接影响鲜切胡萝卜的品质以及货架期[4]。因此,寻找更合适的安全可靠的柔性灭菌方式具有非常重要的意义。

射频(radio frequency,RF)是一种高频交流电磁波,其频率范围为 3 kHz~300 MHz,目前国际上常用的射频频率是 13.56、27.12 MHz 和 40.68 MHz。射频工作原理与微波相同,它能穿透到物料内部,引起物料内部带电离子的振荡迁移,将电能转化为热能,从而达到加热的目的。然而同微波相比,射频具有更大的穿透深度、更好的加热均匀性、更稳定的温度控制和更高的产品品质等优点[5]。射频在食品和农产品方面的应用主要是干燥、解冻、烫漂、杀虫和杀菌等,射频的杀菌应用起始于 20 世纪 70 年代。1974 年,Demeczky 研究发现,密封包装的果汁通过射频杀菌有一定的效果,且杀菌后的品质比传统杀菌得到的果汁品质要好。20 世纪 90 年代以来,射频技术在农产品和食品杀菌领域的应用成为国际上的研究热点[6]。

美国华盛顿州立大学唐炬明教授所在团队对射频研究比较深入,主要集中在干燥、杀虫和杀菌以及机理方面。另外,刘嫣红利用射频-热风联合对袋装切片面包进行杀菌,发现加热速率约为传统热风处理的 30 倍。传统加热方式,青霉的热致死条件为 68~70 ℃下加热 20 min,而在她的研究中当面包冷点温度高于 58 ℃时,面包中的桔青霉孢子数可以降低 4 个数量级[7]。Wang Y 对通心粉和乳酪进行射频杀菌处理,获得的口感优于传统杀菌方法的,且达到满意杀菌效果的时间缩短了 1 h[8]。Luechapattanaporn 对炒鸡蛋进行射频杀菌处理[9],Orsat 对火腿射频杀菌均表明射频能有效杀灭样品中的微生物孢子,从而延长了货架期[10]。射频也有很多问题,比如:会存在尖角效应,使得射频加热过程中物料的边角处出现热集中的现象,从而影响产品的品质;有关射频加热过程的灭菌效应以及对于产品品质和保质期影响的资料很少见,因此无法与传统加热方式形成鲜明的对比;缺乏对物料介电特性的全面数据记载及理论分析,从而无法深入了解射频加热过程中的能量转换机理等[11]。

本文中首先比较了真空包装的鲜切胡萝卜丁在 3 种方式下的杀菌效果,得知射频与热风联用对样品杀菌效果比较明显。进而研究了射频-热风联用在不同条件下的杀菌效果,以及此种杀菌方式对样品品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

胡萝卜,购于无锡市滨湖区雪浪菜市场;营养琼脂、灭菌生理盐水、乙醇等,实验室自备。

1.2 仪器和设备

SO6B 型射频仪,6 kW,27.12 MHz,印度 Monga Strayfield 公司制造;型号 Nomad 便携式光纤测温仪,加拿大 NEOPTIX 公司制造;型号 DZQ 真空包装机,上海尤溪机械设备有限公司制造;UV2600 型紫外分光光度计,上海天美科学仪器有限公司制造;TA-XT2i 型物性测试仪,英国 STab. MICROSYSTEMS 公司制造;CR-400 型全自动色差计,日本 KONICA-MINOLTA 公司制造;另有切片刀、超净工作台、高压灭菌锅、恒温培养箱、烘箱等实验室常规设备。

1.3 实验方法

1.3.1 流程图 如图 1 所示。

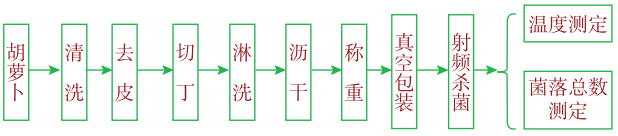


图 1 工艺流程

Fig. 1 Technological process

1.3.2 切丁、称质量 将清洗并去皮的新鲜胡萝卜用切片刀切成 0.8 cm×0.8 cm×0.8 cm 的丁状,经淋洗沥干后称质量装袋,每袋 25 g。

1.3.3 真空包装 真空包装袋是用 PA 复合 CPP 制作的可耐 121 ℃的蒸煮袋,尺寸为 13 cm×19 cm,经真空包装机抽真空 14 s,中温封口 2.5 s。

1.3.4 射频杀菌 单独射频即只开射频不开热风,单独热风即只开热风不开射频,射频-热风联用即射频和热风均打开。本设备只能通过调节极板间距和作用时间控制射频作用效果,热风的作用效果只能通过作用时间来控制,温度无法设定。

1.3.5 温度测定 使用便携式光纤测温仪测量样品在杀菌处理过程中的温度,将已真空包装好的胡萝卜丁包装袋扎一小洞,将光纤测温仪的探针插进

袋里中心的胡萝卜丁中,实验中在线测量温度并设置每隔 1 min 自动保存一次温度。另外,用于测量温度的胡萝卜丁不得再用于测量菌落总数(因为密封性已被破坏)。

1.3.6 菌落总数检测 参见 GB/T 4789.2-2010。

1.3.7 品质检测

1)色泽测定:采用全自动色差计测定胡萝卜丁的色泽。其中 L^* 值代表亮度(白—黑),其值越大表明越亮;a^* 值代表红—绿程度,其正值越大则越偏向红色,负值越大则越偏向绿色;b^* 值代表黄—蓝程度,其正值越大则越偏向黄色,负值越大则越偏向蓝色。

2)质构测定:测脆度使用 P/2 探头,测硬度使用 P/2N 探头,将样品置于测试平板上,测试参数如下:测前速度 2.0 mm/s,测试速度 1.5 mm/s,测后速度为 10.0 mm/s,压缩比例 60%,压力 5 g(1 g=9.8 mN)。每组样品测 12 次,为了减少误差,去除最大值和最小值,求出剩余 10 组数据的平均值。

3)水分含量测定:参见 GB/T 8858-1988。

4)类胡萝卜素测定[12]:称取胡萝卜样品 0.2 g 放入研钵中,加入少量石英砂和碳酸钙粉及体积分数 95%乙醇 2~3 mL,研磨成匀浆,再加体积分数 95%乙醇 10 mL,继续研磨至组织变白,静置 3~5 min。将提取液过滤到 25 mL 容量棕色瓶中并用少量体积分数 95%乙醇反复冲洗至滤纸和残渣中无色为止,最后用体积分数 95%乙醇定容至 25 mL,摇匀。以体积分数 95%乙醇为空白,在波长 665、649、470 nm 下测定吸光度。

叶绿体 a 质量浓度(mg/L)

$$C_a=13.95A_{665}-6.88A_{649} \quad (1)$$

叶绿体 b 质量浓度(mg/L)

$$C_b=24.96A_{649}-7.32A_{665} \quad (2)$$

类胡萝卜素质量浓度(mg/L)

$$C=\frac{1\,000A_{470}-2.05C_a-114.8C_b}{245} \quad (3)$$

5)感官评价:参见《Minimal Processing and Edible Coating Effects on Composition and Sensory Quality of Mini-peeled Carrots》并有所修改。

2 结果与讨论

2.1 3 种杀菌方式杀菌效果对比

将真空包装好的胡萝卜丁放于射频腔中,实验组为仅开射频关闭热风和仅开热风关闭射频两种,对照组为射频-热风联用,单独射频和射频-热风联用时极板间距均设定为 20 mm,每组杀菌时间分别为 10、20、30、40、50 min,测得单独射频杀菌、单独热风杀菌和射频-热风联合杀菌后每组袋装胡萝卜丁的中心温度,见表 1,杀菌后菌落总数如下图 2 所示,并且测得未杀菌的样品中菌落总数为 6.31 lg(CFU/g)。由于测温度时需将包装袋扎一个小洞,当胡萝卜丁受热时会有部分水蒸气逸出,所以所测的温度会略低于实际的温度,所以该数值只能作为实验结果分析的参考。

表 1 3 种杀菌方式不同杀菌时间的中心温度值

Table 1 Central temperature after three different sterilization ways for different times ℃

杀菌方式	未杀菌	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
射频杀菌	27.15	30.80	35.62	37.58	38.73	39.95
热风杀菌	27.15	38.64	46.82	49.56	51.35	52.24
射频-热风联用	27.15	46.94	58.01	59.12	61.25	63.48

由表 1 看出,随着作用时间的延长,中心温度逐渐上升;由图 2 看出,单独射频、单独热风杀菌效果均远远低于射频-热风联用;与未杀菌的样品菌落总数相比发现,单独射频和单独热风对胡萝卜丁基本没有杀菌效果,分析个别组中杀菌后的菌落总数高于未经处理的样品,可能是因为在单独射频或者单独热风杀菌处理过程中样品的温度会高于置于室温中未作任何处理的胡萝卜丁,在此温度下微生物可能生长更快,所以单独射频或单独热风杀菌后个别组中的微生物总数会高于未杀菌的胡萝卜丁中的微生物总数。

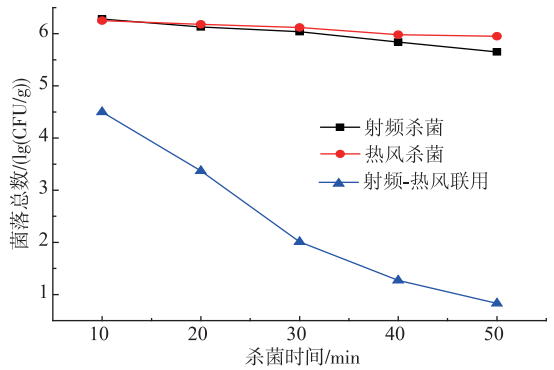


图 2 3 种杀菌方式不同时间的杀菌效果

Fig. 2 Effects of three different sterilization ways for different times

目前对食品的射频杀菌研究比较多的是液体样品,比如果蔬汁,很多直接使用单独射频杀菌,且效果明显。作者在实验中发现,将 500 mL 蒸馏水经过射频-热风联用处理仅 3 min 即可沸腾,而胡萝卜丁处理 50 min 温度只有 60 ℃左右,一方面可能是因为液体对射频更敏感,另一方面可能是因为液体传热比固体快。

2.2 不同极板间距和不同时间对射频-热风联合杀菌效果的影响

分别调节极板间距为 20、40、60 mm,打开热风开关,在不同极板间距下控制杀菌时间分别为 10、20、30、40、50 min,测得每个杀菌工艺杀菌后的样品中的菌落总数,如下表 2 所示,不同极板间距不同杀菌时间的菌落致死率结果如下图 3 所示,对照组为 6.23 lg(CFU/g)。由表 2 和图 3 可以看出,同一极板间距下杀菌时间越长杀菌效果越好,极板间距为 20 mm 时杀菌 20 min 后菌落总数下降 2.86 个对数级,剩余菌落为 3.37 lg(CFU/g),即可达到国标要求 5 000 CFU/g 即 3.70 lg(CFU/g)。从节约时间和资源考虑选择杀菌时间越短越好,杀菌时间定为 30 min 时更能保证杀菌效果,此时样品中菌落总数只有 2.01 lg(CFU/g),远远小于国标要求。同时也可从表 2 和图 3 看出,当杀菌时间相同时极板间距越小杀菌效果越好。所用设备说明书明确说明,射频腔内场强与极板间距成反比。因此,极板间距越小杀菌速率越快。王云阳深入研究了极板间距对干燥效果的影响及机理,该实验结果显示,增大极板间距会减小电场强度[13]。考虑到所用设备能设定的极板间距最小值为 20 mm,因此从节约能源和时间以及保证杀菌效果等几个角度综合考虑,选择极板间距 20 mm、杀菌时间 30 min 为最佳杀菌工艺。

表 2 不同极板间距不同杀菌时间的菌落总数

Table 2 Total number of microbiologicals after been sterilized with different plate spacing and time

lg(CFU/g)

极板间距/mm	杀菌时间/min				
	10	20	30	40	50
20	4.50	3.37	2.01	1.27	0.83
40	5.15	4.45	2.78	1.81	1.33
60	6.20	5.80	4.75	4.20	3.95

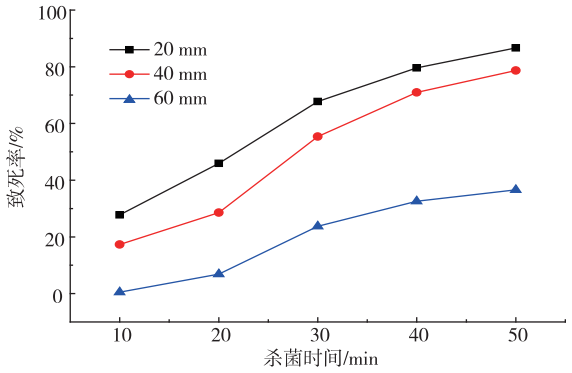


图 3 不同极板间距不同杀菌时间的菌落致死率

Fig. 3 Death rate of microbiologicals after been sterilized with different plate spacing and time

2.3 射频-热风联合杀菌对胡萝卜丁品质的影响

2.3.1 *对质构、色泽的影响* 设定极板间距为 20 mm,控制杀菌时间为 10、20、30、40、50 min,测得每袋小包装胡萝卜丁的色差值如表 3 所示,经过不同时间杀菌处理的样品的脆度和硬度如下图 4 所示。由结果可以看出,随着杀菌时间的延长,样品的温度会升高,水分蒸发变快,脆度值变大脆性降低,硬度降低组织变软,L^* 值降低,a^* 值减小,b^* 值增加,即亮度减小,红色变弱,黄色变强。但是脆度、硬度、色差变化均比较小,这是因为胡萝卜本身比较稳定,更重要的是因为射频-热风联用温度较低且较稳定,保持在 60 ℃左右。由于色差测量系统本身误差比较大且所测数值变化幅度比较小,因此可总结出射频-热风联用在 50 min 内对色差没有影响,对脆度和硬度略有影响,但在 30 min 内几乎无影响,因此极板间距 20 mm、杀菌时间 30 min 对鲜切胡萝卜丁品质影响比较小,可认定为最佳杀菌工艺。

表 3 不同杀菌时间的样品的色差值

Table 3 Color values of samples after been sterilized for different times

杀菌时间/min	L^*	a^*	b^*
0	51.29	21.96	40.38
10	51.29	21.52	40.94
20	51.02	21.51	41.24
30	50.85	21.44	41.71
40	50.03	21.34	41.79
50	49.40	20.87	41.87

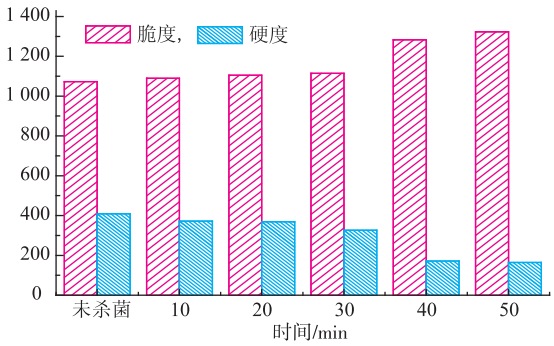


图 4　不同杀菌时间的脆度和硬度

Fig. 4　Crispness and hardness of samples after been sterilized for different times

Ha Jae-Won 等对花生酱进行研究发现，射频对花生酱中的沙门氏菌和大肠杆菌具有显著的杀灭效果，但对色差影响非常小，杀菌终点与未杀菌的样品的L^*、a^*、b^*值的误差均在 1 范围内，且对质构、味道和整体可接受性等方面无显著性影响[14]。所以可以得出结论：射频对产品品质影响较小，属于柔性杀菌，这也是射频杀菌优于其他杀菌方式的最大的优势所在。

2.3.2　对类胡萝卜素的影响　类胡萝卜素是一类天然产物的总称，迄今为止人类已经在自然界中发现超过 600 种天然类胡萝卜素，如番茄红素、叶黄素、玉米黄素、α-和 β-胡萝卜素等[15]。胡萝卜中最主要的营养就是胡萝卜素，且 β-胡萝卜素含量比较多，质量分数约为 1.35~17.25 mg/g。样品中的胡萝卜素含量可以按照 1.3.7 中所述方法粗略测出，实验测得极板间距为 20 mm、杀菌时间为 30 min 后的样品中类胡萝卜素的质量分数为 0.111 8 mg/g，对照组为 0.119 5 mg/g；根据 GB/T 8858—1988 测得产品中水分质量分数为 88.5%，对照组水分质量分数为 89.9%。经计算产品中类胡萝卜素质量浓度为 0.97 mg/L，对照组为质量浓度 1.18 mg/L。结果显示，经过射频-热风联用后类胡萝卜素会有所损失，但损失较少，在可接受的范围内，因此射频-热风联用对胡萝卜品质影响比较小。

2.3.3　对总体感官评价的影响　选择 7 名学生组成感官评价小组，对经过极板间距 20 mm、射频-热风联合杀菌时间分别为 10、20、30、40、50 min 的每一袋样品进行感官评价，样品的每项得分均为小组成员所打分数的平均值[16]。感官评价标准如下表 4 所示，感官评价结果如下表 5 所示。从结果可以看出，随着射频-热风联用时间的延长，胡萝卜丁的感官品质呈下降趋势，但从整体结果上看经过射频-热风联合杀菌的胡萝卜丁品质变化微小，可以较好地保存胡萝卜丁原有的品质。

表 4　感官评价标准

Table 4　Standard of sensory evaluation

评价项目	10.0~8.0 分	7.9~5.0 分	<5.0 分
色泽	具有胡萝卜特有的橙红色，颜色鲜艳，色泽光亮	颜色稍暗淡，稍有光泽	颜色暗淡无光泽
气味	有胡萝卜特有的香气，香气醇厚，无异味	稍有香气，基本无异味	气味不正常，有异味
口感	质地硬脆，口感好	质地比较硬脆	质地松软，口感不好
外观	形状规则，表面光滑平整	略有萎蔫现象，表面不光滑平整	萎蔫现象严重，表面很不光滑平整
多汁度	非常多汁爽口	比较多汁爽口	失水现象严重
滋味	具有胡萝卜特有的清甜，无苦味，无蒸煮味	甜味很淡，略有苦味和蒸煮味	无甜味，苦味和蒸煮味很重

表 5　感官评价得分

Table 5　Results of sensory evaluation

评价项目	联合杀菌时间/min					
	0	10	20	30	40	50
色泽	10	10	10	10	9.8	9.8
气味	10	9.5	9.4	9.4	9.2	9.2
口感	10	9.3	9.2	9.0	9.0	9.1
外观	10	9.6	9.2	9.3	9.2	9.1
多汁度	10	10	9.8	9.6	9.5	9.3
滋味	10	10	9.8	9.6	9.5	9.3
整体喜好性	60	58.4	57.4	56.9	56.2	55.8

3　结　语

实验证明，单独射频杀菌和单独热风杀菌对袋装胡萝卜丁几乎无效果，射频-热风联用对小包装胡萝卜丁进行杀菌具有显著的效果，同一极板间距下杀菌效果随着作用时间的延长更加显著，极板间距越小杀菌效率越高。当极板间距为 20 mm 时杀菌 20 min 即可达到国标要求；极板间距 20 mm、杀菌时间 30 min 为最佳杀菌工艺。射频-热风联用对胡萝卜丁的脆性、硬度、色差等物理品质和总体感官评价方面影响均比较小，对类胡萝卜素有一定影

响，但在最佳杀菌工艺时质量浓度也仅下降0.21 mg/L,在可接受的范围内。总之,射频-热风联用对鲜切小包装胡萝卜丁杀菌具有显著的效果,且能很好地保持产品的原有品质。

参考文献:

[1] 潘裔,茅林春,阚斐,等. 鲜切果品保鲜技术及其生物学原理研究进展[J]. 农业工程学报,2005,21(6):172-175.
PAN Yi,MAO Linchun,KAN Fei,et al. Research advance in preservation technologies and biological principles for fresh cut fruits[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**,2005,21(6):172-175.(in Chinese)

[2] 张向阳,王丹,马悦,等. 清理方式对鲜切胡萝卜处理效果的影响[J]. 食品与机械,2012,28(5):189- 196.
ZHANG Xiangyang,WANG Dan,MA Yue,et al. Effects of different washing methods on fresh-cut carrots [J]. **Food and Machinary**,2012,28(5):189- 196.(in Chinese)

[3] 张红敏. 超高压处理对鲜切胡萝卜质地和颜色品质影响的研究[D]. 杭州:浙江大学 食品学院,2013.

[4] 王成. 鲜切胡萝卜加工关键技术研究[D]. 湘潭:湘潭大学 化工学院,2012.

[5] 张丽. 红枣的射频热风联合干制技术研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学 野生动植物保护与利用学院,2010.

[6] Francesco Marra,Lu Zhang,James G Lyng. Radio frequency treatment of foods:Review of recent advances[J]. **Journal of Food Engineering**,2009,91:497-508.

[7] 刘嫣红,唐炬明,毛志怀. 射频 - 热风处理与热风处理保鲜白面包的比较[J]. 农业工程学报,2009,25(9):323-328.
LIU Yanhong,TANG Juming,MAO Zhihuai. Comparison between combined radio frequency and hot air treatment and hot airtreatment on bread fresh-keeping [J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**,2009,25(9):323-328.(in Chinese)

[8] Wang Y,Wig T D,Tang J,et al. Sterilization of foodstuffs using radio frequency heating [J]. **Journal of Food Science**,2003,68(2):539-544.

[9] Kunchalee Luechapattanaporn,WANG Yifen,WANG Jian,et al. Sterilization of scrambled eggs in military polymeric trays by radio frequency energy[J]. **Journal of Food Science**,2005,70(4):288-294.

[10] Orsat V,Bai L,Raghavan G S V,et al. Radio-frequency heating of ham to enhance Shelf-Life in vacuum packaging [J]. **Journal of Food Process Engineering**,2004,27:267-283.

[11] 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 Yanhong,YANG Baoling,MAO Zhihuai. Radio Frequency technology and its application in agro-product and food processing[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinary**,2010,41(8):115-120.(in Chinese)

[12] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 第 2 版. 北京:高等教育出版社,2006:134-136.

[13] 王云阳. 澳洲坚果射频干燥技术研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学 果树学院,2012.

[14] Ha Jae-Won,Kim Sung-Youn,Ryu Sang-Ryeol,et al. Inactivation of salmonella enterica serovar typhimurium and *Escherichia coli* O157:H7 in peanut butter cracker sandwiches by radio-frequency heating[J]. **Food Microbiology**,2013,34:145-150.

[15] 惠伯棣. 类胡萝卜素化学及生物化学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2005.

[16] Howard L R,Dewi T. Minimal processing and edible coating effects on composition and sensory quality of mini-peeled carrots[J]. **Journal of Food Science**,1996,61(3):643-651.