

^{60}Co γ 辐照对胡萝卜干燥特性的影响*

廖文艳¹ 王 俊¹ 于 勇¹ 傅俊杰²

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310029)

【摘要】 采用 ^{60}Co γ 射线对胡萝卜进行辐照预处理,研究了辐照剂量、干燥温度、切片厚度三因素对干燥和温度特性的影响。结果表明:干燥速率和表面温度随着辐照剂量的升高而升高。对胡萝卜显微结构以及水分活度进行研究,发现经 γ 射线辐照处理后的胡萝卜细胞壁变薄出现断裂,液泡破裂,水分活度也随辐照剂量的增大而升高。这些变化是导致失水速率加快和温度特性变化的主要原因。另外,热风温度和切片厚度对干燥特性也有影响。热风温度越高,切片越薄,辐照后胡萝卜失水速率越快。

关键词: 胡萝卜 辐照预处理 低温热风干燥

中图分类号: S375; O571.33 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)06-0123-05

Effect of ^{60}Co γ -irradiation Pre-treatment on Drying Characters of Carrot

Liao Wenyan¹ Wang Jun¹ Yu Yong¹ Fu Junjie²

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

(2. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract

The influence of different dosages of irradiation, temperatures of hot air, thicknesses of the slice carrot on the characters of dehydration and surface temperature for the irradiated carrot were studied. The results showed that three factors affected the characters of dehydration: irradiation dosage, temperature of hot air, and thickness of the slice carrot. With the increase of the dosage, both the rate of dehydration and the surface temperature for carrot increased. Then, the microstructure and water activity were also studied. The results showed that the membrane of the cell wall and vacuole of the irradiated samples were broken. The great dosage brought on the high water activity. These changes were the main cause for the characters of dehydration and surface temperature irradiated carrot.

Key words Carrot, Irradiation pre-treatment, Low temperature drying

引言

目前,胡萝卜脱水工艺有远红外干燥^[1]、微波干燥^[2-6]、真空冷冻干燥^[3]和热风干燥^[5-6]等。但是,微波干燥容易过度加热、局部温度过高^[6],导致产品品质下降,较适用于低含水率物料的干燥。远红外干燥和真空冷冻干燥虽干制品品质高,但其投资成本高,生产能力有限。热风干燥存在干燥时间长、

干燥效率低、干制品品质差和能耗高等问题,但因其设备简单,操作容易,较为广泛地用于农产品干燥。因此,缩短热风干燥时间、提高干燥效率、降低能耗,提高品质尤为重要。

农产品经一定剂量的 ^{60}Co γ 射线辐照后会致其内部组织结构发生变化并产生不同程度的损伤,这种变化有可能引起干燥特性的变化^[7-16],并最终影响干燥速率和干制品的品质。辐照热风干燥是辐

收稿日期: 2009-06-24 修回日期: 2009-08-27

* 国家自然科学基金资助项目(30471000)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20020335052)

作者简介: 廖文艳,硕士生,主要从事农产品加工研究, E-mail: wenyianliao123@gmail.com

通讯作者: 王俊,教授,博士生导师,主要从事农产品加工工程与装备研究, E-mail: jwang@zju.edu.cn

照预处理与热风干燥相结合的一种干燥技术。王俊等对辐照后苹果切片^[10]和土豆切片^[11]的干燥特性进行了研究。研究发现辐照对苹果、土豆切片的干燥速度、表面温度等都有较显著的影响。于勇等研究了辐照对稻谷^[15]和小麦^[16]干燥特性的影响,结果表明辐照对稻谷、小麦的干燥速率、表面温度等都有较显著的影响。然而,目前还没有将 γ 射线辐照技术运用于胡萝卜干燥的研究。本文采用⁶⁰Co γ 射线对胡萝卜辐照预处理再进行热风干燥。

1 材料与方法

1.1 材料

胡萝卜为菜场采购的同一批次同一品种(天红一号),4℃环境储藏。按照国标 GB/T 8858—88 测定其初始干基含水率为 764%。

1.2 辐照

将待测样品分 3 批从 4℃ 环境下取出恢复至室温,采用⁶⁰Co γ 射线对样品进行辐照预处理。辐照实验在浙江大学农业与生物技术学院原子核农学研究所进行,辐照剂量分别为 0、2、5、8、10 kGy。辐照处理后立即进行热风干燥。

1.3 干燥

使用热风干燥箱进行干燥,温度分别为 40、44、50、56、60℃,热风风速恒为 0.8 m/s。所有样品均干燥至胡萝卜安全干基含水率 15% 以下低温储藏。用电子天平(精度为 ± 0.01 g)测定质量。用 MTF5 食品专用型红外线测温仪测定胡萝卜表面温度。

1.4 水分活度测定与显微观察

采用 AW-1 型智能水份活度仪(精度 ± 0.001)测量辐照后实验样品的水分活度。采用 JEM-123(型号 JEOL)透射电镜对胡萝卜样品显微观察。

2 实验结果与分析

2.1 辐照剂量对含水率及干燥速率的影响

当热风干燥温度为 50℃,切片厚度为 0.7 cm 条件下,不同辐照剂量对含水率和干燥速率的影响如图 1、2 所示。从图 1 可知,在相同的时间内实验样品的失水率随着辐照剂量增加而增加,达到安全储藏含水率所需的干燥时间越短。例如:经 10 kGy 辐照后的样品所需的时间为 375 min,而未经辐照的样品其所需时间为 540 min。从图 2 可知,在同一含水率下,辐照剂量越大其失水速率越大,尤其表现在干燥初期,干燥速率迅速增大,最大干燥速率基本都在干燥的前 20 min 增加到最大,辐照剂量为 0、2、5、8、10 kGy 时干燥速率分别为 361.5、402.4、416.1、

504.7、576.7%/min。干燥后期不同辐照剂量的胡萝卜干燥速率趋于平衡。

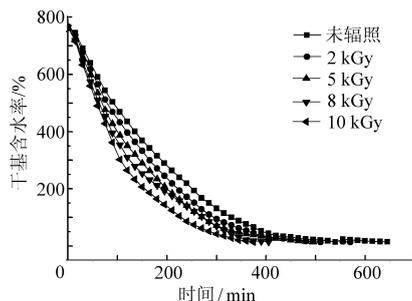


图 1 不同辐照剂量下含水率随时间的变化曲线

Fig. 1 Curves of moisture content against time under different irradiation dose

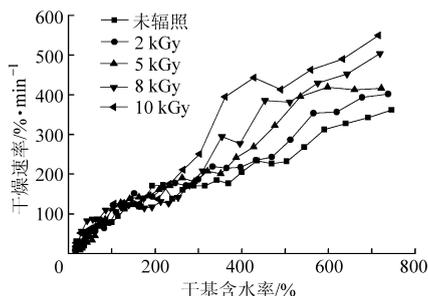


图 2 不同辐照剂量下干燥速率随含水率的变化曲线

Fig. 2 Curves of drying rate against moisture content under different irradiation dose

2.2 切片厚度对辐照样品含水率及干燥速率的影响

当热风干燥温度为 50℃,辐照剂量为 5 kGy 条件下,不同切片厚度对含水率和干燥速率的影响如图 3、4 所示。从图 3 可知,干燥到安全储藏含水率时厚度为 0.2 cm 的样品需要 360 min,而厚度为 1.2 cm 的样品需要 615 min。切片厚度越大达到安全储藏含水率所需干燥时间越长。从图 4 可知,在同一含水率下,辐照样品的切片厚度越小,失水速率越大,尤其表现在干燥初期,干燥速率迅速增大,最大干燥速率基本都在干燥 20 min 时增加到最大,切片厚度为 0.2、0.4、0.7、1.0、1.2 cm 的样品最大的干燥速率分别为 589.9、514.2、416.1、312.9、275.3%/min。干燥后期各切片厚度的胡萝卜干燥

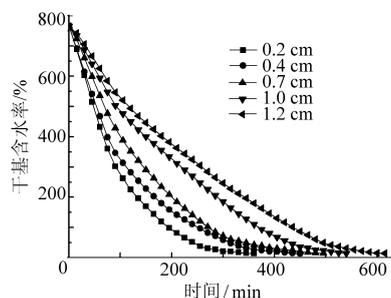


图 3 不同切片厚度下含水率随时间的变化曲线

Fig. 3 Curves of moisture content against time under different thickness of the slice

速率趋于平衡。

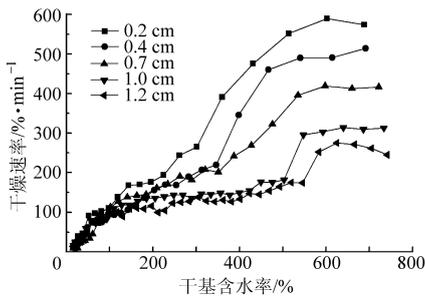


图4 不同切片厚度下干燥速率随含水率的变化曲线

Fig. 4 Curves of drying rate against moisture content under different thickness of the slice

2.3 热风温度对辐照样品含水率及干燥速率的影响

当切片厚度为 0.7 cm, 辐照剂量为 5 kGy 条件下, 不同热风温度对含水率和干燥速率的影响如图 5、6 所示。从图 5 可知, 热风温度对辐照胡萝卜的失水特性有影响, 干燥到安全储藏含水率时热风温度为 60℃ 的样品需要 360 min, 而热风温度为 40℃ 的样品需要 645 min。热风温度增加越高达到安全储藏含水率所需干燥时间越少。从图 6 可知, 同一含水率下, 热风温度越高, 失水速率越大。干燥速率迅速增大, 最大干燥速率基本都在干燥的前 20 min 增加到最大, 热风温度为 40、44、50、56、60℃ 时最大的干燥速率分别为 288.2、333.6、416.1、558.6、621.9 %/min。干燥后期不同热风温度的胡萝卜干燥速率趋于平衡。

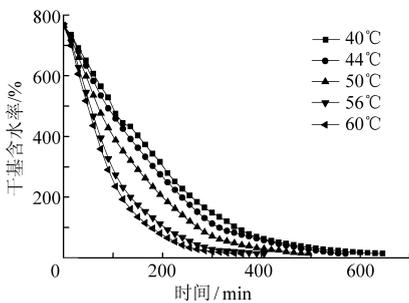


图5 不同热风温度下含水率随时间的变化曲线

Fig. 5 Curves of moisture content against time under different temperature

2.4 辐照剂量对表面温度的影响

在切片厚度为 0.7 cm, 热风温度为 50℃ 条件下, 不同辐照剂量样品的表面温度随含水率以及时间的变化如图 7、8 所示。从图 7 可知, 在同一含水率下辐照剂量越高, 其表面温度越低。而在同一时刻, 辐照剂量越大, 表面温度越高。由图 8 可知, 表面温度在干燥初期和干燥箱内热风温度相差较大。随着干燥时间的延长, 样品含水率越低, 用于干燥的能量越来越少, 而用于表面升温的能量越大, 样品表面温度也越来越接近热风温度。

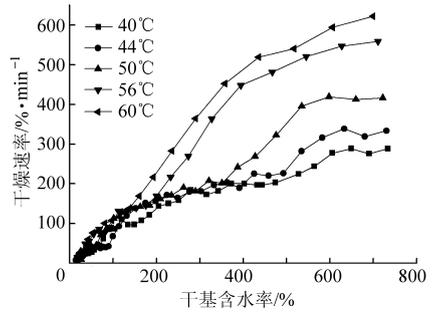


图6 不同热风温度下干燥速率随含水率的变化曲线

Fig. 6 Curves of drying rate against moisture content under different temperature

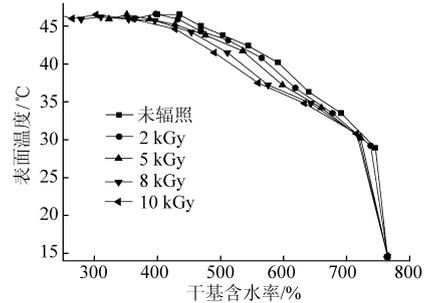


图7 不同辐照剂量下表面温度随含水率的变化曲线

Fig. 7 Curves of surface temperature against the moisture content under different irradiation dose

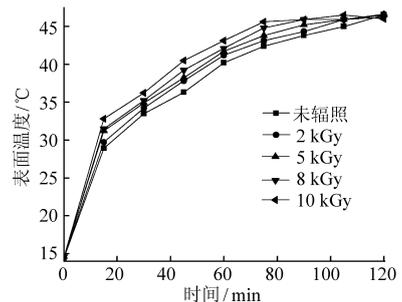


图8 不同辐照剂量下表面温度随时间的变化曲线

Fig. 8 Curves of surface temperature against time under different irradiation dose

3 讨论

3.1 辐照剂量对干燥速率的效果分析

图 9 为样品表层细胞的显微图, 图中(1)、(2)为细胞壁、(3)、(4)为细胞质。从图 9a 可见, 未辐照样品细胞壁厚实, 线粒体结构完整, 一些小液泡以及大量细胞基质受大液泡挤压紧贴在细胞壁内壁上。从图 9b 可看出, 其细胞壁变薄并开始出现断裂, 线粒体肿胀部分破裂, 很少见小液泡, 且紧贴细胞壁内壁处的细胞基质很稀少。从图 9c 可以看出, 细胞的结构改变更明显, 细胞壁变得更薄、更稀松, 某些部位破裂, 线粒体膜破裂, 且细胞内的细胞基质更稀松地分布在细胞内而不是紧贴细胞壁上。图 9d 与 9e 中显示的细胞结构破坏更严重。在成熟

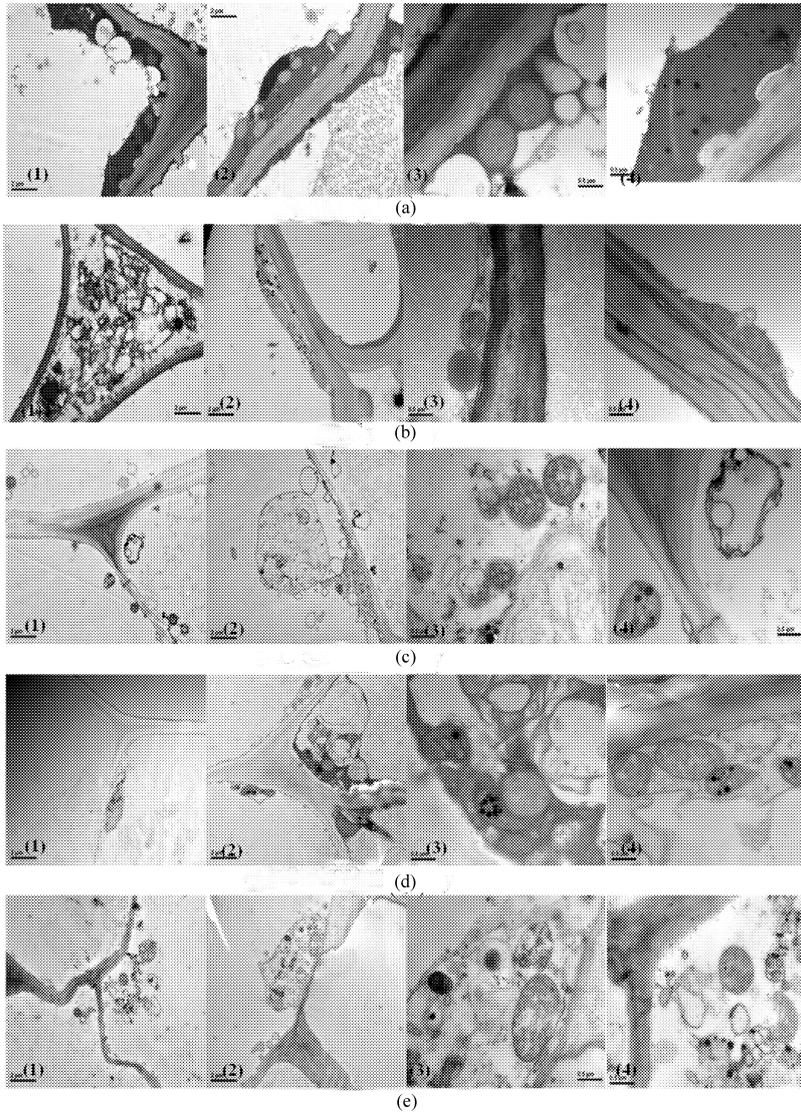


图9 不同辐照剂量下辐照对细胞内部组织结构的影响

Fig.9 Cell structure of carrot under different irradiation doses

(a) 未辐照 (b) 2 kGy (c) 5 kGy (d) 8 kGy (e) 10 kGy

的细胞中,液泡占据的空间达细胞体积的90%^[12],这是图9a中大量细胞基质紧贴在细胞壁内壁上面的原因。超微结构中液泡对辐照敏感性最强^[13-14],核仁和线粒体最抗辐照^[13]。图9b~9e中,线粒体都有明显的膨胀和破裂,且各图中细胞基质不再紧贴在细胞壁上而较疏松地分布在细胞内部以及小液泡减少甚至没有,这是因为受辐照的影响,液泡破裂,内容物流出,体积变小,细胞基质不受其挤压,可以自由地在胞内分散。⁶⁰Co γ 射线辐照预处理使得细胞壁变薄、破裂,液泡膜结构破裂,细胞组织分散,水分从内部到表层的迁移变得容易,增强了水分扩散的能力。且这种能力随着辐照剂量的增加而增大。因此,干燥初期,在相同时间内辐照剂量高的样品,含水率下降幅度也越大。同时从图2中也可以看出,干燥后期各辐照剂量的样品干燥速率趋于平衡,这是因为辐照过的样品在干燥过程中,随着细胞

内的水分不断向外迁移,一些干物质(如淀粉)由于细胞的破坏也随着水分不断向表层迁移^[15-16]。这使得表层变得越来越致密,阻碍了水分的散失,抵消了内部由于细胞被破坏对水分散失的促进,这种阻碍表现得很明显,且在干燥后期样品中含水率较低,其水分扩散系数也越来越低,这二者的共同影响使得样品在干燥后期的水分扩散能力降低。因此,在干燥中、后期,不同辐照剂量样品失水速率都很低且相差不大,失水特性曲线基本保持相同的走势。

与此同时采用AW-1型水分活度(精度0.001)仪分别测量未辐照、2、5、8、10 kGy剂量预处理的样品的水分活度,如表1所示。从表1可知,随着辐照剂量的增加,水分活度也增加即自由水增加。因此,特别是表现在干燥初期,辐照剂量越大失水速率越大;相同时间内,辐照剂量高的样品,水分下降幅度也大。

表1 经不同辐照剂量照射的胡萝卜的水分活度
(初始干基含水率764%)

Tab.1 Water activity of carrot with different irradiation doses (initial moisture content: 764%)

辐照剂量/kGy	未辐照	2	5	8	10
水分活度	0.955	0.967	0.979	0.987	0.991

3.2 辐照剂量对表面温度影响

辐照破坏了胡萝卜细胞结构,使水分活度变大,自由水增多,水分的迁移能力大大增强,因而在失去相同量水分时用于水分迁移蒸发消耗的能量相对减少,而用于升温的能量增多。导致干燥初期,在相同干燥条件下经过相同的干燥时间,高剂量处理的样品表面温度要高于未经处理的样品,而且辐照剂量越高其表面温度越高。而在相同的含水率条件下,剂量越高失水速率越大,用于水分迁移蒸发的能量越多,用于表面升温的能量越少,以致辐照剂量越高

在相同的含水率下表面温度越低。

4 结论

(1) 辐照对样品的显微结构和水分活度都有影响,随着辐照剂量的增加,样品的细胞结构破坏越严重,水分活度也随着辐照剂量的增加而变大,即自由水增多,使得在相同的干燥条件下,辐照剂量越大,干燥速率越快,达到安全储藏含水率所需要的时间也就变短。

(2) 切片厚度越大,干燥速率越低,达到安全储藏含水率所需要的时间也就越长。随着热风温度的升高,干燥速率升高,达到安全储藏含水率所需要的时间也就变短。

(3) 随着辐照剂量的增加,在同一时刻,辐照剂量越高表面温度越高。而在相同的含水率条件下,辐照剂量越高的样品表面温度越低。

参 考 文 献

- 胡洁,崔政伟. 胡萝卜远红外真空干燥试验参数的研究[J]. 食品科技, 2008(2):36~40.
Hu Jie, Cui Zhengwei. The research of far-infrared drying of carrot under vacuum conditions [J]. Food Science and Technology, 2008(2): 36~40. (in Chinese)
- 李招娣,赵海霞,邓红,等. 胡萝卜片的微波干燥工艺条件优化[J]. 食品工程, 2007, 4(12):24~37.
Li Zhaodi, Zhao Haixia, Deng Hong, et al. Optimization of the microwave drying processing condition of carrot slices [J]. Food Engineering, 2007, 4(12):24~37. (in Chinese)
- 宋芸,崔政伟. 微波真空干燥胡萝卜片过程中收缩变形的数学模型研究[J]. 食品科技, 2008(1):62~65.
Song Yun, Cui Zhengwei. Mathematically modeling shrinkage during vacuum microwave drying of carrot slices [J]. Food Science and Technology, 2008(1): 62~65. (in Chinese)
- 熊永森,王俊,王金双. 微波干燥胡萝卜片工艺试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 291~294.
Xiong Yongsen, Wang Jun, Wang Jinshuang. Experimental study on the technology for microwave drying of carrot slice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(6): 291~294. (in Chinese)
- 马先英,赵世明,林艾光. 不同干燥方式对胡萝卜干燥特性的影响[J]. 大连轻工业学院学报, 2006, 26(2):155~156.
Ma Xianying, Zhao Shiming, Lin Aiguang. The effect of different drying methods on drying characters of carrot [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2006, 26(2):155~156. (in Chinese)
- 杨薇,欧又成,张付杰. 蘑菇热风、微波对流和微波真空干燥的对比试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 102~104.
Yang Wei, Ou Youcheng, Zhang Fujie. Comparative experiment on hot-air, microwave convective and microwave vacuum drying of mushroom [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 102~104. (in Chinese)
- 徐冠仁. 核农学导论[M]. 北京:原子能出版社, 1995: 241~261.
- FAO/IAEA/WHO ICGFI. Regulations in the field of food irradiation[M]. IAEA-TECDOC-585, 1991.
- FAO/IAEA/WHO ICGFI. Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings[M]. IAEA-TECDOC-639, 1992.
- 王俊,成芳,巢炎,等. 辐照土豆片热风干燥工艺的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(3): 61~63.
Wang Jun, Cheng Fang, Chao Yan, et al. Influence of γ -irradiation on drying of potato slices [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(3): 61~63. (in Chinese)
- Wang J, Chao Y. Drying characteristics of irradiated apple slices [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52(1):83~88.
- Buchanan. Biochemistry and molecular biology of plants[M]. American Society of Plant Physiologists, 2000.
- 华粉妹. 辐照大蒜生长点细胞超微结构及抑制发芽效果的研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 1994, 12(1):44~46.
Hua Fenmei. The effect of irradiation on the cell ultrastructure of the shoot apical meristem in garlic [J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 1994, 12(1):44~46.

3 结束语

采用PVDF压电薄膜制作了阵列式传感器,并设计了相应的信号调理电路,将其应用于谷物损失

测量中,并对传感器性能进行了室内测试。测试结果表明该传感器具有较高的测量精度和响应速度,重复性较好,并能获取籽粒的空间分布信息。

参 考 文 献

- 李俊峰,介战.联合收割机谷物损失测试研究探讨[J].农机化研究,2007,29(12):248~250.
Li Junfeng, Jie Zhan. Analyses of combine harvester grain loss measurement[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007,29(12):248~250. (in Chinese)
- JB/T5672—1991 谷物联合收割机损失监视仪[S].
- Osselaere, Guy H J. Offset grain loss sensor for combine harvesters: US, 4540003[P]. 1985-09-10.
- Kotyk W M, Kirk T G, Wilson R J, et al. Unthreshed head grain loss monitor:US,4825146[P]. 1989-04-25.
- Byungjune Choi, Hyouk Ryeol Choi. Development of tactile sensor for detecting contact force and slip[C]//IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, Canada, 2005: 2 638~2 643.
- Gonzalez Moran, Gonzalez Ballesteros co, Gomez R S. Polivinylidene difluoride (PVDF) pressure sensor for biomedical application[C]//Proceedings of 1st International Conference on Electrical and Electronics Engineering (2004 ICEEE), 2004: 473~475.
- Gu Hua, Zhao Yang, Wang Ming L. A wireless smart PVDF sensor for structural health monitoring[J]. Structural Control and Health Monitoring, 2005,12(3~4): 329~343.
- 舒方法,姜寿山,张欣,等. PVDF压电薄膜在足底压力测量中的应用[J].压电与声光,2008,30(4):514~516.
Shu Fangfa, Jiang Shoushan, Zhang Xin, et al. Application of PVDF piezoelectric-film to foot-pressure measurement[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2008,30(4):514~516. (in Chinese)
- Andrzej odon. Probe with PVDF sensor for energy measurements of optical radiation[J]. Measurement Science Review, 2003(3):111~114.
- 王国力,赵子婴,白金星. PVDF压电薄膜脉搏传感器的研制[J].传感技术学报,2004,12(4):688~692.
Wang Guoli, Zhao Ziyang, Bai Jinxing. Design and implementation of the three point PVDF piezo-film sphygmo-transducer [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2004,12(4):688~692. (in Chinese)
- 刘昭博,彭光正.基于PVDF压电薄膜灵巧手触觉传感器的研究[J].传感器世界,2007(11):11~14.
Liu Zhaobo, Peng Guangzheng. The study of tactile sensor of dexterous hand based on PVDF piezo-film[J]. Sensor World, 2007(11):11~14. (in Chinese)
- 具典淑,周智,欧进萍. PVDF压电薄膜的应变传感特性研究[J].功能材料,2004,35(4):450~452.
Ju Dianshu, Zhou Zhi, Ou Jinping. Study on strain sensing of pvdffilms [J]. Functional Materials, 2004,35(4): 450~452. (in Chinese)

(上接第127页)

- Mitsuhiko Sato, Sumie Yokoyam, Tomokazu Koshiba, et al. γ -irradiation damage to leaf vacuole membranes of *chelidonium majus*[J]. Environmental and Experimental Botany, 1995,35(1):71~81.
- 于勇,王俊,王爱华,等. ^{60}Co γ 射线辐照处理对晚粳稻低温干燥特性的影响[J].核农学报,2005,19(1):41~45.
Yu Yong, Wang Jun, Wang Aihua, et al. Influence of γ -irradiation on low temperature drying of *Japonica* rice [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2005, 19(1): 41~45. (in Chinese)
- 于勇,王俊,王爱华,等. ^{60}Co γ 射线辐照预处理对小麦干燥特性的影响[J].农业工程学报,2005,21(5):145~149.
Yu Yong, Wang Jun, Wang Aihua, et al. Effect of ^{60}Co -gamma irradiation pre-treatment on drying characteristic of wheat [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(5): 145~149. (in Chinese)
- 宋洪波,安凤平.胡萝卜过热蒸汽膨化干燥工艺优化[J].农业机械学报,2010,41(2):127~131.
Song Hongbo, An Fengping. Optimization of super heated steam puffing drying technology for carrot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(2):127~131. (in Chinese)