

资源化利用鸭粪制备活性炭的研究

曹伟¹, 王晓雪², 贾斌¹, 陈龙³, 钟成华^{3*}

(1. 重庆市垫江县环境监测站, 重庆 408300; 2. 重庆市南岸区环境监测站, 重庆 400060; 3. 重庆工商大学环境与生物工程学院, 重庆 400067)

摘要 [目的] 探讨鸭粪作为活性炭制备原料的资源化利用可行性。[方法] 以鸭粪为原料, 采用氢氧化钾为活化剂制备活性炭, 以碘吸附值和亚甲基蓝吸附值为评价指标, 研究鸭粪活性炭制备过程中固液比、活化剂浓度、活化时间、活化温度等因素对活性炭产率和吸附性能的影响。[结果] 鸭粪活性炭最佳制备工艺条件: 固液比为 1:2.5、KOH 浓度为 40%、活化时间为 45 min、活化温度为 800 °C, 其活性炭产率、碘吸附值和亚甲基蓝吸附值分别为 32.3%、388 mg/g 和 53 ml/g。在最佳制备工艺条件下添加 25% 的锯木屑, 能明显提高活性炭的吸附性能。[结论] 该研究结果为鸭粪的资源化利用提供了一种新型环保的技术。

关键词 资源化; 鸭粪; 活性炭; 制备

中图分类号 S181.3; X713 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)27-09495-04

Study on the Preparation of Activated Carbon from Duck Manure

CAO Wei¹, WANG Xiao-xue², JIA Bin¹, ZHONG Cheng-hua^{3*} et al (1. Environment Monitoring Station of Dianjiang County, Chongqing 408300; 2. Nanan District Environmental Monitoring Station of Chongqing, Chongqing 400060; 3. School of Environmental and Biological Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067)

Abstract [Objective] The research aimed to study the feasibility of activated carbon preparation using duck manure in a resource utilization way. [Method] Activated carbon was prepared from duck manure using KOH as the activator. The performance of the samples was evaluated by adsorption of iodine and methylene blue. The effects of different preparation conditions on the yield and adsorption performance of the samples were studied, including the impregnation ratio, concentration of activators, activation time and activation temperature. [Result] The results showed that the best preparation conditions of impregnation ratio, KOH mass fraction, activation time and activation temperature were 1:2.5, 40%, 45 min and 800 °C, respectively. The corresponding yield, iodine and methylene blue adsorption value were 32.3%, 388 mg/g and 53 ml/g, respectively. In addition, the adsorption performance could be improved by adding 25% wood sawdust. [Conclusion] This study could provide new technology for resource utilization of duck manure.

Key words Resource; Duck manure; Activated carbon; Preparation

随着我国农业经济重心从种植业向畜牧业转移, 畜牧业逐渐成为农村经济新的增长点和重要的支柱产业^[1-2]。但是, 由于普遍存在规划不合理以及“农牧脱节”的现状, 大量的畜禽粪便不能实现资源化综合利用, 造成严重的水体、土壤和大气污染, 危害人类身体健康, 带来一系列的环境和社会问题。畜禽养殖业已经成为一个不可忽视的污染源, 同时也制约着农村经济的可持续发展。因此, 为了实现畜禽养殖业的可持续健康发展, 必须要对畜禽粪便实现资源化利用和合理处理^[3-4]。

研究表明, 鸭粪中含有较为丰富的有机质和其他营养物质, 这使得资源化利用鸭粪来制备活性炭成为可能。并且, 鸭粪的资源化利用不再仅仅局限于制作肥料、饲料和燃料, 用来制作活性炭将成为一种新的资源化途径。为此, 该研究选用 KOH 作为活化剂, 主要研究了固液比、活化时间、活化剂浓度、活化温度对鸭粪活性炭产率和吸附性能的影响。

1 材料与与方法

1.1 原料、试剂与仪器 鸭粪, 取自重庆市九龙坡区梁滩河段某规模化畜禽养殖场。氢氧化钾、硫代硫酸钠、亚甲基蓝和硫酸铜均为分析纯。

仪器: AL104 电子天平(瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司), MFL-2000 马弗炉(天津市华北实验仪器有限公司),

DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司), UV-3100PC 紫外-可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司), SHZ-88A 往复式水浴恒温振荡器(江苏汉康电子有限公司)。

1.2 鸭粪活性炭的制备 采用鸭粪制备活性炭主要包括以下几个步骤(如图 1): ①将新鲜鸭粪在 105 °C 条件下烘干, 将干燥的鸭粪研磨且过 40 目筛备用; ②取一定质量的干燥鸭粪与不同浓度的氢氧化钾活化剂按不同的固液比混合均匀, 浸渍一段时间; ③将浸渍均匀的试验样品放入马弗炉中, 在 400 °C 下碳化 60 min, 继续升温到一定温度活化, 并保持一定时间; ④将活化后产物先用稀盐酸清洗, 促使其中的氧化物和杂质充分溶解, 再用 80 °C 左右的蒸馏水反复洗涤至中性, 过滤, 然后在 105 °C 下干燥 24 h, 最后经研磨、过筛后备用。

1.3 碘吸附值的测定 按照 GB/T12496.8-1999 进行测定。称取干燥试样 0.5 g, 放入 100 ml 碘量瓶中, 加入(1+9)盐酸 10.0 ml, 在电炉上加热至沸, 微沸(30±2) s, 冷却至室温后, 加入 50.0 ml 的 0.1 mol/L 碘标准溶液, 在振荡机上振荡 15 min, 过滤到干燥烧杯中。用移液管吸取 10.0 ml 滤液, 放入 250 ml 碘量瓶中, 加入 100 ml 水, 用 0.1 mol/L 硫代硫酸钠标准溶液进行滴定, 在溶液呈淡黄色时, 加 2 ml 淀粉指示液, 继续滴定使溶液变成无色, 记录下使用的硫代硫酸钠体积。

$$A = \frac{5(10c_1 - 1.2c_2V_2) \times 127}{m} \cdot D \quad (1)$$

式中: A 为试样的碘吸附值, mg/g; c_1 为碘标准溶液的浓度, mol/L; c_2 为硫代硫酸钠溶液的浓度, mol/L; V_2 为硫代硫酸钠溶液消耗的量, ml; m 为试样质量, g; 127 为碘(1/2I₂) 摩尔质

基金项目 重庆市可持续发展建设示范(CSTC2010AA0020)。

作者简介 曹伟(1969-), 男, 重庆人, 高级工程师, 从事环境污染监测与控制研究。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事环境污染治理与技术研究。

收稿日期 2014-08-11

量, g/mol; D 为校正系数, 根据剩余浓度 c_3 查表得出。

$$c_3 = c_2 \cdot V_2 / 10$$

(2)



图1 鸭粪活性炭制备过程

1.4 亚甲基蓝吸附值的测定 按照 GB/T12496.10-1999 进行测定。称取 0.1 g 干燥试样置于 100 ml 具磨口塞的锥形烧瓶中, 用滴定管加入适量的亚甲基蓝试验液, 置于电动振荡机上振荡 20 min, 环境温度 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$, 用直径 12.5 cm 的中速定性滤纸进行过滤。将滤液置于光径为 1 cm 的比色皿中, 用分光光度计在波长 665 nm 下测定吸光度, 与硫酸铜标准滤色液称取 4.000 g 结晶硫酸铜 ($\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 溶于 1 000 ml 水中的吸光度相对照, 所耗用的亚甲基蓝试验液的毫升数即为试样的亚甲基蓝吸附值。

亚甲基蓝吸附值的单位可用 ml/0.1g 或 mg/g 表示。

$$A = B \times 5 \quad (3)$$

式中, A 为亚甲基蓝吸附值, mg/g; B 为亚甲基蓝吸附值, ml/0.1 g。

2 结果与分析

2.1 固液比的影响 固定 KOH 浓度为 40%、活化温度为 800°C 和活化时间为 45 min, 在固液比为 1:1.0 ~ 1:4.0 的范围内研究其对所制备活性炭的产率和吸附性能的影响。图 2 表明, 随着鸭粪中 KOH 含量的增加, 其产率明显提高 (图 2a), 碘吸附值 (图 2b) 和亚甲基蓝 (图 2c) 的吸附能力明显增强, 当固液比达到 1:2.5 时, 产率和吸附能力达到最佳, 分析原因可能是适量的 KOH 产生的刻蚀作用可以制备出大量的微孔和中孔, 从而提升活性炭对碘和亚甲基蓝的吸附能力, 同时 KOH 含量的增加还可以抑制焦油、酚和醛等物质的形成, 提高活性炭的产率; 当固液比超过 1:2.5 后, 过多的 KOH 可能会破坏已生成的微孔和中孔, 导致产率和吸附能力明显下降^[5-6]。

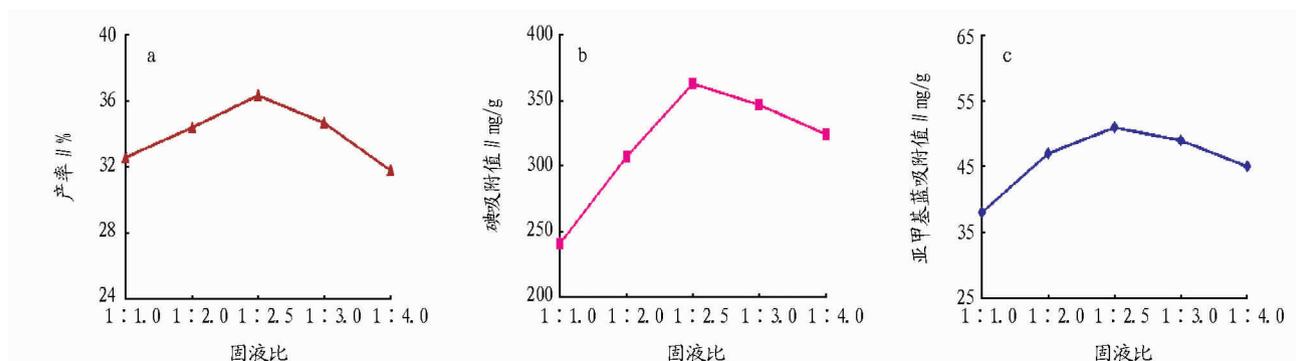


图2 固液比对鸭粪活性炭产率(a)和吸附性能(b,c)的影响

2.2 活化时间的影响 保持固液比为 1:2.5、KOH 浓度为 40% 和活化温度为 800°C , 在活化时间为 20 ~ 70 min 的范围

内研究其对所制备活性炭的产率和吸附性能的影响。由图 3 可以看出, 随着活化时间的延长, 活性炭的产率 (图 3a) 一直

都在降低,然而活性炭的吸附能力逐渐增大,在 45 min 时,碘吸附值(图 3b)和亚甲基蓝吸附值(图 3c)达到最高。分析其原因可能是在活化时间小于 45 min 时,活化反应充分进行,

大量微孔逐渐形成,同时也有一定的微孔扩展成中孔;当活化时间超过 45 min 后,由于活化时间太长,导致活性炭过度烧蚀和部分孔结构坍塌,影响了活性炭的吸附性能^[6-7]。随

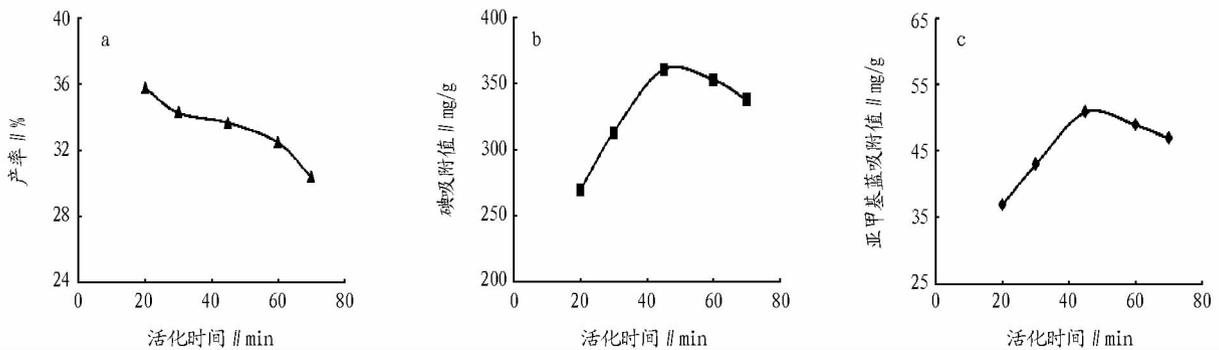


图 3 活化时间对鸭粪活性炭产率(a)和吸附性能(b,c)的影响

着活化时间的延长,活性炭的产率在逐渐下降。

2.3 KOH 浓度的影响 保持固液比为 1:2.5、活化温度为 800 °C 和活化时间为 45 min,在 KOH 浓度为 20%~60% 的范围内研究其所制备活性炭的产率和吸附性能的影响。由图 4a 可知,活性炭的产率随着 KOH 的浓度增加先逐渐增加,在浓度超过 40% 后,产率开始降低。随着 KOH 浓度的升高,碘吸附值(图 4b)和亚甲基蓝吸附值(图 4c)都明显增强,

当 KOH 浓度为 40% 时,吸附性能最佳,当 KOH 浓度超过 40% 后,吸附性能逐渐降低。KOH 作为活化剂主要有助于分子发生交联和缩聚反应,在低浓度时,不足以完全活化原料中的碳,因此吸附性能不高;随着浓度的增加,原料得到充分的活化,生成大量发达的孔隙和孔结构,吸附能力得到明显提高;但浓度过高,又造成过度活化,使微孔向中孔和大孔转化,从而降低了活性炭的吸附性能^[8-10]。

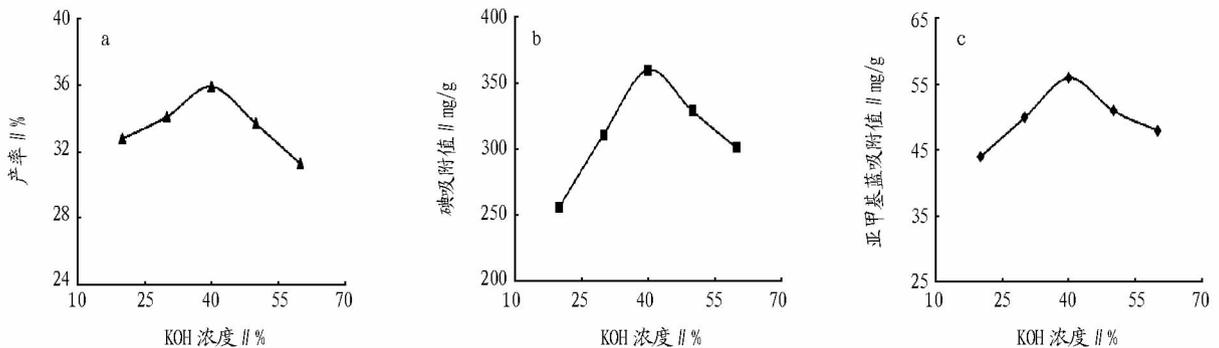


图 4 KOH 浓度对鸭粪活性炭产率(a)和吸附性能(b,c)的影响

2.4 活化温度的影响 保持固液比为 1:2.5、KOH 浓度为 40% 和活化时间为 45 min,在活化温度为 500~900 °C 的范围内研究其所制备活性炭的产率和吸附性能的影响。由图 5a 可知,活性炭的产率随着温度的升高而逐渐降低。随着活化温度的升高,活性炭的碘吸附值(图 5b)和亚甲基蓝吸附值(图 5c)都明显增加。其原因是在活化过程中,一方面随

着挥发性物质的逸出,KOH 与原料中碳的反应速率加快,生成大量的孔隙结构;另一方面,当活化温度超过金属钾的沸点(762 °C)时,钾蒸气会扩散进入不同的碳层,形成新的多孔结构。当活化温度超过 800 °C 后,吸附性能开始逐渐下降,可能是由于温度过高,导致生成的微孔或中孔发生坍塌或形成大孔,降低了吸附性能^[11-15]。

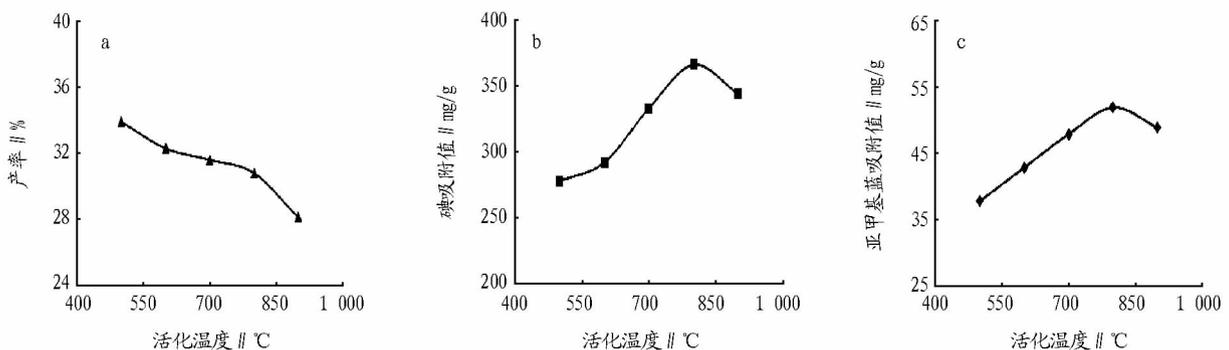


图 5 活化温度对鸭粪活性炭产率(a)和吸附性能(b,c)的影响

2.5 正交优化试验 根据单因素试验结果,为了探索 KOH 作为活化剂制备活性炭的最佳试验条件,该研究选取了 4 因素 3 水平做正交优化试验(表 1)。

表 1 正交试验因素水平

水平	因素			
	A 固液比	B KOH 浓度//%	C 活化时间 min	D 活化温度 ℃
1	1:2.0	30	30	700
2	1:2.5	40	45	800
3	1:3.0	50	60	900

由表 2 可以看出,在 $A_2B_2C_3D_1$ 试验条件下所制备的活性炭碘吸附值和亚甲基蓝吸附值最高,分别达到 385 mg/g 和 52 ml/g。而活性炭的产率在 $A_1B_1C_1D_1$ 试验条件下最大,为 34.8%。由极差分析可知,在 $A_2B_2C_2D_2$ 的试验条件下为活性炭吸附性能最优工艺条件,而在 $A_2B_1C_2D_1$ 的试验条件下为活性炭产率最优工艺条件,在优先考虑产品质量的前提下,经过综合平衡分析得到试验的最优工艺条件为:固液比 1:2.5、KOH 浓度 40%、活化时间 45 min 和活化温度 800 ℃。根据正交优化的最佳制备条件制得活性炭的产率、碘吸附值和亚甲基蓝吸附值分别为 32.3%、388 mg/g 和 53 ml/g。

表 2 正交试验结果

试验号	因素				碘值 mg/g	亚甲基蓝值 ml/g	产率 %
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	318	43	34.8
2	1	2	2	2	327	45	33.7
3	1	3	3	3	268	37	28.8
4	2	1	2	3	339	48	33.1
5	2	2	3	1	385	52	34.2
6	2	3	1	2	378	50	31.8
7	3	1	3	2	275	39	31.1
8	3	2	1	3	232	35	30.2
9	3	3	2	1	268	38	32.4
R	1.8	2.0	1.7	3.1			

从产率、碘吸附值和亚甲基蓝吸附值的极差 R 分析可以得出,各因素从大到小:产率是活化温度 > KOH 浓度 > 固液比 > 活化时间;碘吸附值是固液比 > 活化温度 > KOH 浓度 > 活化时间。亚甲基蓝吸附值是固液比 > 活化温度 > KOH 浓度 > 活化时间。鉴于在最优工艺条件下所制得活性炭的吸附性能与商品活性炭相比仍有一定差距,考虑添加含碳物质以提高吸附性能,使其应用范围更加广泛。选取锯木屑为添加剂,以一定比例加入到鸭粪中,在最优工艺条件下考察了添加比例对其吸附性能的影响,试验结果见表 3。

表 3 添加剂比例对鸭粪活性炭吸附性能及产率的影响

序号	锯木屑比例	碘吸附值 mg/g	亚甲基蓝吸附值 ml/g	产率 %
	%			
1	10	443	56	33.9
2	15	471	58	34.2
3	20	519	62	34.7
4	25	545	65	34.5

由表 3 可以看出,随着锯木屑添加比例的增加,所制备的活性炭的吸附性能有了显著提高。但锯木屑添加量过大

会降低鸭粪的利用率,因此综合考虑选取锯木屑的添加比例为 25%。

3 结论

(1)以鸭粪为原料,采用氢氧化钾活化法制备活性炭,以碘吸附值和亚甲基蓝吸附值为评价指标,探索了制备过程中固液比、活化剂浓度、活化时间、活化温度等因素对鸭粪活性炭吸附性能的影响。

(2)通过单因素试验和正交试验,确定了鸭粪活性炭的最佳制备工艺条件为:固液比 1:2.5、KOH 浓度 40%、活化时间 45 min 和活化温度 800 ℃,在该条件下制备的活性炭产率、碘吸附值和亚甲基蓝吸附值分别为 32.3%、388 mg/g 和 53 ml/g。

(3)鸭粪活性炭制备过程中各因素对产品产率和吸附性能影响程度大小排序:产率是活化温度 > KOH 浓度 > 固液比 > 活化时间;碘吸附值是固液比 > 活化温度 > KOH 浓度 > 活化时间;亚甲基蓝吸附值是固液比 > 活化温度 > KOH 浓度 > 活化时间。

(4)探索了通过添加锯木屑来提高鸭粪活性炭的吸附性能。在最佳制备工艺条件下添加 25% 的锯木屑时,能明显提高活性炭的吸附性能,并且在该条件下制备的活性炭产率、碘吸附值和亚甲基蓝吸附值分别为 34.5%、545 mg/g 和 65 ml/g。

参考文献

- [1] 李庆康,吴雷,刘海琴,等.我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J].农业环境保护,2000,19(4):251-254.
- [2] 孟祥海,张俊彪,李鹏,等.畜牧业环境污染形势与环境治理政策综述[J].生态与农村环境学报,2014,30(1):1-8.
- [3] 孙铁珩,宋雪英.中国农业环境问题与对策[J].农业现代化研究,2008,29(6):646-648,652.
- [4] 卢健,常志州,黄红英.基于奶牛饲料氮和磷摄入量的粪尿氮和磷排出量估算[J].生态与农村环境学报,2014,30(1):101-106.
- [5] WICKRAMARATNE N P, JARONIEC M. Activated carbon spheres for CO₂ adsorption[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2013, 5: 1849-1855.
- [6] WANG H Y, LASHAKI M J, FAYAZ M, et al. Adsorption and desorption of mixtures of organic vapors on beaded activated carbon[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46: 8341-8350.
- [7] ALI GUNDOGU, CELAL DURAN, H BASRI SENTURK, et al. Adsorption of phenol from aqueous solution on a low-cost activated carbon produced from tea industry waste: equilibrium, kinetic, and thermodynamic study[J]. Journal of Chemical & Engineering Data, 2012, 57: 2733-2743.
- [8] BHASKAR BHADURI, YOGENDRA NATH PRAJAPATI, ASHUTOSH SHARMA, et al. CuCl₂ nanoparticles dispersed in activated carbon fibers for the oxygen production step of the Cu-Cl thermochemical water splitting cycle[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012, 51: 15633-15641.
- [9] MIGUEL G S, FOWLER G D, SOLLARS G J, et al. A study of the characteristics of activated carbons produced by steam and carbon dioxide activation of waste tyre rubber[J]. Carbon, 2003, 41: 1009-1016.
- [10] PRADHAN B K, SANDLE N K. Effect of different oxidizing agent treatments on the surface properties of activated carbons[J]. Carbon, 1999, 37: 1323-1332.
- [11] PUZIY A M, PODDUBNAYA O I, MARTÍNEZ-ALONSO A, et al. Synthetic carbons activated with phosphoric acid II. Porous structure[J]. Carbon, 2002, 40: 1507-1519.
- [12] LI Y, HUANG Z H, KANG F Y, et al. Preparation of activated carbon microspheres from phenolic resin with metal compounds by sub- and supercritical water activation[J]. New Carbon Materials, 2010, 25(2): 109-113.

品质量跟踪与追溯系统^[4]。卢功明等提出了基于 RFID 的牛肉加工数据采集与传输模型,能够有效提高牛肉加工环节质量安全可追溯系统数据采集与传输的准确性,进而提高整体质量安全可追溯系统求解的精度^[5]。赵金石等采用工业级触控装备技术、无线及有线网络信息传递技术、RFID 非接触式标签读写技术、一维及二维条码信息存储技术等,建成了肉牛屠宰场质量安全追溯管理系统^[6]。

在食品安全控制和追溯中引入物联网技术可以加大对农副产品从生产到流通整个流程的监管,降低食品安全隐患。2009 年“金卡猪”正式出现在市场上,市民购买贴有“电子身份证”的猪肉时更放心。所谓的“金卡猪”便是利用物联网技术采用 RFID 电子标签对生猪的饲养、防疫灭菌、产品加工、食品流通等各个环节实行全面的信息监控,将每头猪的信息都储存在芯片中,制成电子耳标和体标。市民在购买猪肉时,只需要通过销售店中的电子读写器扫描条形码,便能查出猪肉的生产厂家、屠宰时间、检疫时间、饲养场环境等详细信息,从而建立“从农场到餐桌”的食品供应链跟踪和可追溯系统,达到科学的全程化饲养监控、安全生产监控、市场化可追溯的高质量、高水平、高效益的生产目标^[7]。实践应用方面,国家农业信息化工程技术中心应用安全溯源系统,条码生成与打印以国际通用的 EAN/UCC 为编码基础,用户只需填入相关产地、地块等信息,即可自动生成条码并打印出来。2006 年中国水产业推出鱼类产品智能防伪卡,实现水产品的全程质量跟踪管理。

5 江苏物联网研究进展

在美国、欧盟等发达国家和地区对出口到当地的部分食品必须具有可追溯性要求,否则不予上市销售。欧盟把农产品可追溯系统纳入法律安全框架下。

江苏农业科技水平在全国领先,物联网技术产业化及应用在全国最早。自 2009 年 11 月国务院批准在无锡建设国家传感网创新示范区(国家传感信息中心)以来,物联网技术立即受到江苏农业的欢迎。省农委系统安排实施 27 个农业物联网项目,分布于宜兴、丹阳、如东、睢宁、江都等 26 个县(市、区),在种植、养殖、加工以及农业废弃物处理等诸多领域加以示范应用,初步显现出 4 个特点。2009 年 10 月,江苏大闸蟹利用 RFID 信息追溯系统实现其产品的质量可追踪性、食品安全性以及食品质量的验证保证系统^[8]。

盐城地处苏北,为农业大市,农业物联网有较为广阔的应用前景,项目参加单位盐城思源网络公司为盐城市农业物

联网技术工程研究中心依托单位,具有一定的相关研究基础。前期在蚕桑上已经应用成功,在设施草莓生产上进行相关探索,发现具有一定的可行性,提高了设施草莓的智能化、信息化水平,农业增收、农民增收。其与全程质量安全追溯系统结合起来具有非常大的潜力,将在农产品质量安全监管方面起到非常关键的作用,产业化前景广阔。

6 展望

物联网是战略性新兴产业的重要组成部分,是对新一代信息技术的高度集成和综合运用,是新一轮产业革命的重要发展方向和世界产业格局重构的重要推动力量。抓住以信息产业为主导的新经济发展的战略机遇,加快发展物联网,对于促进我国经济社会实现良性发展具有十分重要的意义。物联网具有渗透性强、带动作用大、成长潜力足、综合效益好的特点,在农业领域具有广阔的应用前景。加快发展农业物联网,推动信息化与农业现代化和农民的生产生活深度融合,必将促进农业发展方式的根本转变,必将为现代农业发展提供强大动力,也必将成为改变农业、农民和农村的新力量。

物联网技术将提高江苏地区农业智能化、自动化水平,尤其是在设施栽培、全程质量安全溯源系统中的应用水平,能加大农产品质量安全、生态安全监管力度,共建百姓放心“菜篮子”工程,将为农业增效、农民增收作出贡献,属于高效益+新业态,在策应苏北全面小康、集聚苏北科技资源、提升产学研合作等战略部署方面发挥积极作用。可以预见,物联网技术前景广阔,需大力推广应用。

参考文献

- [1] 赵湘宇. 农业物联网中关键技术研究进展[J]. 台湾农业探索, 2011(6): 103-106.
- [2] 刘家玉, 周林杰, 荀广连, 等. 基于物联网的智能农业管理系统研究与设计——以江苏省农业物联网平台为例[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 377-379.
- [3] 屈赞, 杨捧. RFID 技术在农业物联网中的应用现状[J]. 河北农业科学, 2011, 15(4): 94-95.
- [4] 郭曼, 朱海鹏, 邝晶. 基于数据网格的 RFID 农产品跟踪与追溯系统研究[J]. 农机化研究, 2007(11): 101-104.
- [5] 卢功明, 张小栓, 穆维松. 牛肉加工质量可追溯数据采集与传输方法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(15): 3657-3659.
- [6] 赵金石, 栾汝朋, 郭凯军. 基于 RFID 和条码技术的肉牛屠宰场追溯管理系统设计[C]// 第三届中国牛业发展大会论文集. 北京: 中国畜牧业协会, 2008: 262-272.
- [7] 于双杰. 农业物联网技术在现代农业中的应用研究[J]. 现代农业科技, 2013(12): 329-330.
- [8] 姜亦华. 江苏农业物联网的兴起及展望[J]. 江南论坛, 2012(10): 20-22.

(上接第 9498 页)

- [13] QIAO W M, KORAI Y, MOCHIDA I, et al. Preparation of an activated carbon artifact: oxidative modification of coconut shell-based carbon to improve the strength[J]. Carbon, 2002, 40: 351-358.
- [14] ZHANG W D, ZHANG Q, DONG F. Visible light photocatalytic removal of

NO in air over BiOX (X = Cl, Br, I) single-crystal nanoplates prepared at room temperature [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52: 6740-6746.

- [15] 陈龙. 禽畜粪便制活性炭技术研究(以鸭粪为原料)[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2011: 27-42.