徐琬莹，邵蕾，周传斌，等. 基于减量与资源化家庭厨余垃圾堆肥参数研究[J]. 环境科学与技术，2015，38(5)：95-101. Xu Wanying, Shao Lei, Zhou Chuanbin, et al. Parameters optimization about household kitchen waste compost based on objective of waste reduction and recycling[J]. Environmental Science & Technology，2015，38(5)：95-101.

基于减量与资源化家庭厨余垃圾堆肥参数研究

徐琬莹， 邵蕾， 周传斌*， 王如松
（中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室，北京 100085）

摘 要：中国 50%以上的生活垃圾为厨余垃圾，在家庭尺度进行厨余垃圾减量化、资源化处理对于城市生活垃圾综合管理具有重要意义。家庭处理机在国外广泛应用，但由于中国厨余垃圾的差异性，国外参数组合不能适用于国内家庭处理机研发。文章针对中国家庭厨余垃圾特点，对主要影响因子通风量、温度、菌剂及含水率进行正交控制试验，选择失重率为评价减量化效益指标，选择 E4/E6、N、P、K 含量为评价资源化效益指标，分别研究基于减量化与资源化目标的优化工艺参数组合。研究结果显示，含水率和温度对于减量化效果影响较大，高温、低含水率有利于厨余减重；而影响资源化效果主要为菌剂，具有很好的保磷和保钾作用。最后得到减量化效果最优组合：通风量为 5 L/min、温度 65 ℃、添加 5 g 菌剂、含水率 63.4%；而资源化效果最佳组合为通风 13 L/min、温度 45 ℃、菌剂 5 g、含水率为 70.4%。

关键词：家庭厨余垃圾； 好氧堆肥； 减量化； 资源化； 工艺参数
中图分类号：X799.3 **文献标志码**：A doi：10.3969/j.issn.1003-6504.2015.05.020 **文章编号**：1003-6504(2015)05-0095-07

Parameters Optimization about Household Kitchen Waste Compost Based on Objective of Waste Reduction and Recycling

XU Wanying, SHAO Lei, ZHOU Chuanbin*, WANG Rusong
(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: It is of significance for MSW integrated management that kitchen organic waste is reduced and recycled in household scale, because more than 50% of MSW is kitchen organic waste. Compost machine of household has been widely adopted abroad but the machine parameters are not suitable for development of domestic compost machine because of the differences of kitchen organic waste in China. In this study, orthogonal control experimental was designed with regard to the main impact factors of ventilation, temperature, microorganism and moisture content in view of characteristics of domestic kitchen organic waste. Then, the optimization process parameters were studied based on objective of waste reduction and recycling that weight loss rate was the indicator of waste reduction and E4/E6, N, P, K were indicators of waste recycling. Results demonstrated that the effect of waste reduction was affected by temperature and moisture content that high temperature and low moisture content were benefit to weight loss of kitchen waste. Waste recycling was affected by microorganism which was the inhibitor of P, K losses. Finally, optimal combination of waste reduction was ventilation of 5 L/min, temperature of 65 ℃, microorganism of 5 g and moisture content of 63.4%, and optimal combination of recycling was ventilation of 13 L/min, temperature of 45 ℃, microorganism of 5 g and moisture content of 70.4%.

Key words: household kitchen waste; aerobic compost; reduction; recycling; process parameters

中国在 2004 年超过美国，成为世界生活垃圾排放量排名第一的国家[1]，而目前每年排放量还以 8%~10%的速度增长，导致各大城市垃圾围城局势十分严峻[2]。近年来，生活垃圾中厨余垃圾的比例逐渐提高，约为 40%~80%[3]，其减量化、资源化处理对于城市生活垃圾管理具有重要意义。厨余垃圾高含水率[4]、高营养

《环境科学与技术》编辑部：(网址) http://fjks.chinajournal.net.cn (电话) 027-87643502 (电子信箱) hjkxyjs@vip.126.com
收稿日期：2014-07-10；修回 2014-08-20
基金项目："十二五"科技支撑计划(2012BAC13B04)；国家自然科学基金(41201579)
作者简介：徐琬莹(1984-)，女，在读博士研究生，主要研究方向为城市固体废弃物处理、评价与管理，(电子信箱) wanying-xu@163.com；* 通讯作者，(电话) 010-62849147 (电子信箱) cbzhou@rcees.ac.cn。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物、低热值，进行填埋处理，不仅侵占填埋场容量，而且产生渗滤液、恶臭[5]、温室气体等二次污染[6]；进行焚烧处理，由于厨余垃圾水分高、比例大，混合垃圾湿基低位热值仅为 2 632.1 kJ/kg，低于焚烧要求的低位热值 3 350 kJ/kg，因此混合垃圾焚烧时需要较长时间的机械–生物稳定化预处理或加入燃料助燃[7]，增加了焚烧产生二噁英的污染风险[14]。城市尺度的生活垃圾集中堆肥目前在我国有少量应用，但由于分类收集效果较差、转运过程复杂、运输距离长等因素影响，肥料的杂质、重金属、盐分高，后续市场销售存在问题。

家庭尺度就地对厨余进行减量与资源化处理，不仅可降低分类收运成本及难度、减少二次污染和提高焚烧热值，还可制造有机肥料利用到家庭和社区植物种植。家庭减量与资源化技术总结为 4 种：破碎排放、好氧堆肥、厌氧发酵及蚯蚓堆肥。破碎排放不仅导致下水管道堵塞、病菌增加和蚊虫滋生，而且增加了城市污水厂的处理负荷[9]。厌氧发酵存在周期长、季节性、臭气等问题，而蚯蚓堆肥会有蚯蚓退化的问题[10]。家庭好氧堆肥虽然经济成本较高，但具有快速性、无味性和再生性，在发达国家得到广泛应用。早在 20 世纪 40 年代，美国就成功研制出家庭堆肥容器，目前市场上堆肥容器主要有：箱式（Tank）、滚筒式（Roll–off）和缸式（Tubs）[11]；而日本在 2000 年颁布《厨余废物再生法》后，松下、TSC、日立等知名家用电器公司都把家庭厨余处理机作为一种潜力产品，投入人力和资金进行研发，推出多类型产品，有干燥式[12]和微生物式[23]。

由于饮食文化上的差异，中国厨余垃圾的种类远多于欧美，包含大量肉类及果蔬[21]，蛋白质较高，水分也较大。因此，中国厨余垃圾具有较大差异性，国外家庭处理机参数不能适应中国厨余垃圾的减量化、资源化再生利用。为了从源头上资源化利用厨余垃圾，推广家庭尺度处理机，对主要影响因子含水率、温度、通风量及菌剂比例进行正交控制试验，筛选出厨余垃圾减量化、资源化的最佳参数组合，对于优化家用厨余好氧堆肥机工艺参数、推动家庭厨余垃圾源头减量管理具有实用价值。

1 材料和方法

1.1 材料来源

由于不同来源生活垃圾中的厨余垃圾成分差异较大，为了减小原料对试验结果的影响，所以厨余垃圾购自市场，并严格根据北京市的厨余垃圾成分调研结果的比例进行配置，蔬菜：水果：动物肉和内脏为 3：1：1。木屑和菌剂也均购于市场，木屑为粒状，直径≤6 mm，颗粒长度为 6~15 mm，水分含量 8%~10%；菌剂选用目前广泛使用的 EM 菌，包含芽孢菌、酵母菌、乳酸菌等菌种，呈粉末状。

1.2 设备及工艺

设计并加工家庭可调节通风量、温度的堆肥试验装置，处理量为 2 kg/d，由反应主体箱、气泵、气体净化装置和控制面板组成。反应主体箱进行好氧堆肥，由双螺旋装置进行搅拌，气泵注入空气，控制面板调节通风量和温度，所有产生气体通过净化装置排放，渗滤液排放到主体下部的渗滤液收集槽（图 1）。

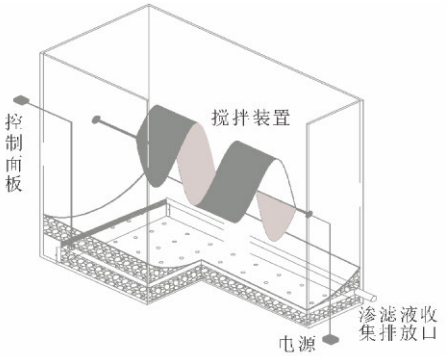

图1 堆肥装置简要结构图
Fig.1 Structure diagram of household compost machine

试验流程为：准备原料→按比例配置厨余→破碎至 5~10 cm→进料→设置参数→堆肥→出料。

1.3 研究方法

根据好氧堆肥影响因素的重要性，选择氧气（通风量）、温度、微生物（菌剂）和水分（含水率）作为实验因子[15]（表 1）。按照 4 因素 3 水平 $L_9 3^4$ 正交实验设计，得到 9 个实验组合（表 2），每个组合堆肥 2 d，共计 18 d。厨余垃圾按蔬菜：水果：动物内脏 3：1：1 的比例进行混合，混合后破碎至 5~10 cm，将 1 kg 放入装置中，按正交组合进行参数设置，通风量和温度直接由堆肥装置进行调节，通过添加木屑来调节含水率；菌剂的比例为原料与菌剂质量之比，每 1 kg 厨余垃圾分别加入为 0、5、2.5 g 菌剂。最后，通过失重率可以反映减量化效果，资源化效果选用腐熟度 E4/E6 指标和 N、P、K 含量进行评价。

表 1 实验设计
Table 1 The experimental design

因素	水平		
	1	2	3
A 通风量/L·min^{-1}	5	8	13
B 温度/℃	45	55	65
C 菌剂量/g	0	2.5	5
D 含水率/%	63.4	70.4	76.8

1.4 测定方法

含水率和挥发分：105 ℃烘干 24 h 测定含水率（GB/T 8576–2010）；马弗炉 550 ℃下 4 h 加热测定挥

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　正交实验 $L_9 3^4$ 设计表
Table 2　Orthogonal design for $L_9 3^4$

实验序号	因素			
	A	B	C	D
1	1	1	1	3
2	2	3	1	2
3	3	2	1	1
4	1	3	3	1
5	2	2	3	3
6	3	1	3	2
7	1	2	2	2
8	2	1	2	1
9	3	3	2	3

发分[16]。E4/E6：用水浸提样品后的液体，在波长 465 nm 和 665 nm 处测光密度的比值[17]。N、P、K 元素：全氮采用半微量开氏法（CJ/T 103–1999 和 NY 525–2012）；全磷采用偏外形酸铵分光光度法（CJ/T 104–1999 和 NY 525–2012）；全钾采用火焰原子吸收分光光度法（CJ/T 105–1999 和 NY 525–2012）。失重率：样品堆肥前、后进行称重，计算其失重率。公式如下：

$$失重率(\%)=\frac{W_0-W_t}{W_0}\times 100$$

式中 W_0 为起始样品的重量，W_t 为降解后干燥过的样品的重量。

2　结果分析与讨论

2.1　含水率和挥发分

好氧堆肥后，实验 6、7、8 水分不仅没有下降，反而上升，实验 8 上升幅度最大，从 63.4%上升到 70.2%；而实验 3 含水率减少比较快，从 63.4%下降到 23.8%，其次为实验 4（图 2）。微生物活动的最佳含水率是 50%~70%[18]，而且过高含水率使堆体空间减少，通气性变差，形成厌氧环境后，会产生恶臭气体、减慢降解速度、延长堆腐时间[19]，但相比含水率 80%的奶牛粪便，初始和堆肥后 60%~75%的含水率并不算太高[20]。挥发分反映了有机物含量近似值，它会随着堆肥时间推移逐渐减少[28]。堆肥后，实验 5、6、7 的挥发分较低，分别为 18.86%、15.21%、9.12%（图 3）（表 3），反映了实验 5、6、7 的有机物在 2 d 内快速降解。

2.2　减量化效果与影响因子

通风量过高降低堆肥过程中温度，过低则会导致空气不足，8、13 L/min 可能引起堆肥过程温度降低，所以减量化效果较通风量 5 L/min 差（图 4（a））；而温度越高，减量化效果越好（图 4（b）），因为高温促使水分蒸发，促进堆肥过程中质量减少，也反映出含水率高将不利于减量（图 4（d）），而且很多研究表明，堆肥过程中最佳含水率一般为 50%~60%[22]，所以应当添加木屑将含水率调节到较低水平，但是较高的堆肥温度

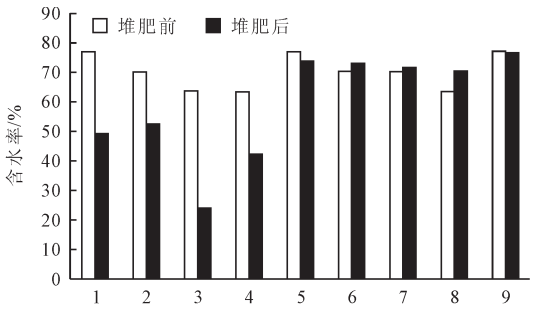

图2 堆肥前后含水率变化
Fig.2 The change of moisture content before and after compost

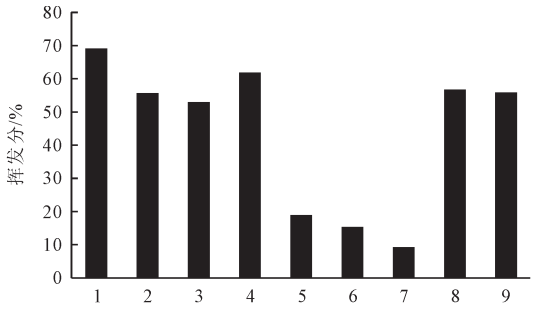

图3 堆肥后挥发分比较
Fig.3 The comparison of volatile component after compost

表 3　堆肥前含水率和堆肥后含水率、挥发分参数
Table 3　Parameters of moisture content and volatile component

实验序号	含水率（前）/%	含水率（后）/%	挥发分/%
1	76.80	48.97	68.97
2	70.40	52.65	55.52
3	63.40	23.84	52.77
4	63.40	42.19	61.82
5	76.80	73.53	18.86
6	70.40	73.16	15.21
7	70.40	71.38	9.12
8	63.40	70.17	56.51
9	76.80	76.34	55.72

和木屑添加必然会导致成本升高。此外，未添加菌剂失重率最高，添加 5g 菌剂次之（图 4（c））。堆肥中添加 EM 菌剂具有缩短腐熟时间提高效率的作用[30]，虽然国外效果已很明显，但由于我国厨余垃圾差异性，蔬菜：水果：动物肉和内脏的比例不同，EM 菌群可能不适应，导致厨余垃圾不能有效快速降解，如果增加油和盐，EM 菌剂的效果可能更加不明显，因此，未来国内适应性微生物菌剂的研发非常重要。

经过正交实验组合，因子之间相互作用影响，失重率最高为实验 4，达到 57.14%，可以减掉 50%以上的厨余垃圾重量，因此，减量化效果最优组合：通风量为 5 L/min、温度 65 ℃、添加 5 g 菌剂、含水率 63.4%。而实验 8 减量化效果最不明显，只有 9.02%（图 5），因为温度较低而通风量太大，影响降解过程。

2.3　资源化效果与影响因子

E4/E6 可以作为衡量堆肥腐殖化作用大小的重要

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

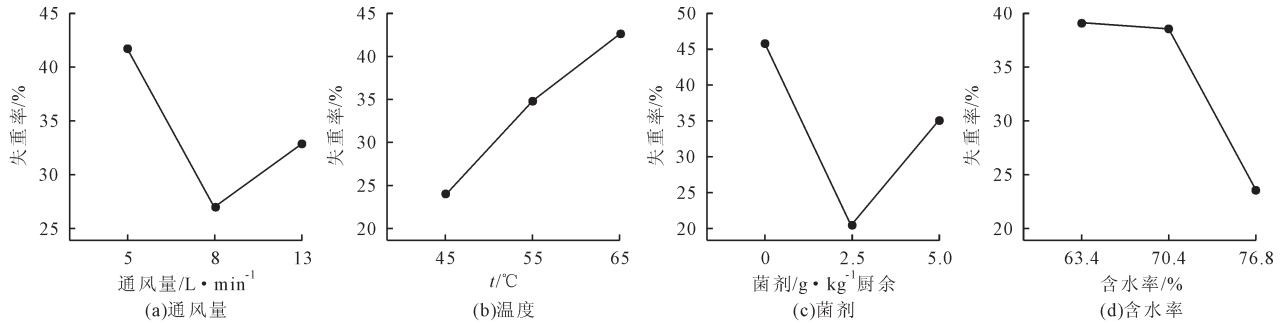

图4 四因素与失重率的关系

Fig.4 The relations between weight loss ratio and four impact factors

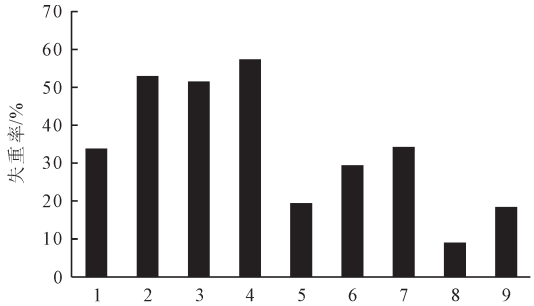

图5 堆肥后失重率比较

Fig.5 The comparison of weight loss ratio after compost

指标[24],大于2.5反映有机肥已经腐熟[25]。堆体温度是好氧堆肥的关键参数[26],外源控制性加热有利于堆体最佳温度的维持,但控制温度越高对于E4/E6的影响并不好,最佳温度为55 ℃(图6(b)),因为当温度太高时硝化细菌无法生长[27],因此影响垃圾的降解。菌剂和含水率与E4/E6的关系均为反比,分别为无菌剂添加和63.4%含水率时,2 d能达到腐熟(图6(c)、(d));而通风量为最大13 L/min时,肥料能达到腐熟(图6(a))。E4/E6与农业废弃物堆肥相比,数值较小,奶牛粪便堆肥5.5~8;粪便和秸秆混合堆肥后为6.43~7.13[28],因为测试在堆肥2 d后,堆肥的中前期小分子化合物首先被分解,产生小分子有机酸比较多[19];另一些研究用垃圾堆肥得出E4/E6在2.0~2.3之间[29],所以E4/E6的差异性也可能与原料有关,但总体堆肥时间也不宜过长,有研究表明随着堆腐时间延长,胡敏酸E4/E6值呈下降趋势[30],因此,在好氧控温的条件下1周时间堆腐即足够[28]。

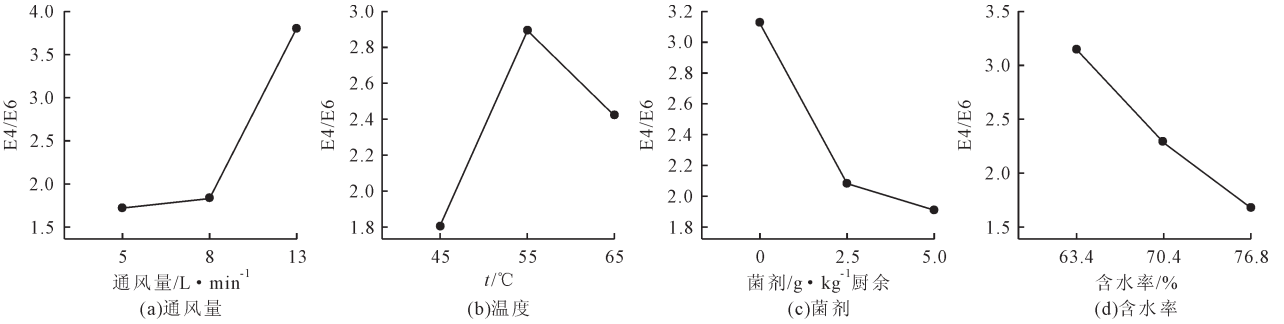

图6 四因素与E4/E6的关系

Fig.6 The relations between E4/E6 and four impact factors

4个影响因素正交组合得到,实验3 E4/E6最高为5.47,达到腐熟;实验2次之,为2.60;其余实验均未达到腐熟(图7)。因此,只有在通风量最高13 L/min、温度55℃、含水率最小的情况下,厨余垃圾在2 d内能达到腐熟,但同时也反映出2 d内快速腐熟会导致经济成本偏高,为了降低成本,需要1周的后期腐熟时间。

N和P(P_2O_5)含量都是通风量为5 L/min时最高(图8(a)、(e)),而通风量13和5 L/min下,K(K_2O)含量差不多(图8(i))。温度与养分含量呈反比(图8(b)、(f)、(j)),因为在高温下硝化菌等微生物不能存活,从而影响有机物的降解。除了N,P(P_2O_5)和K

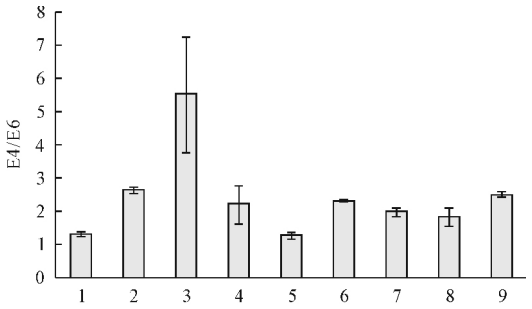

图7 堆肥后E4/E6比较

Fig.7 The comparison of humic acid after compost

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

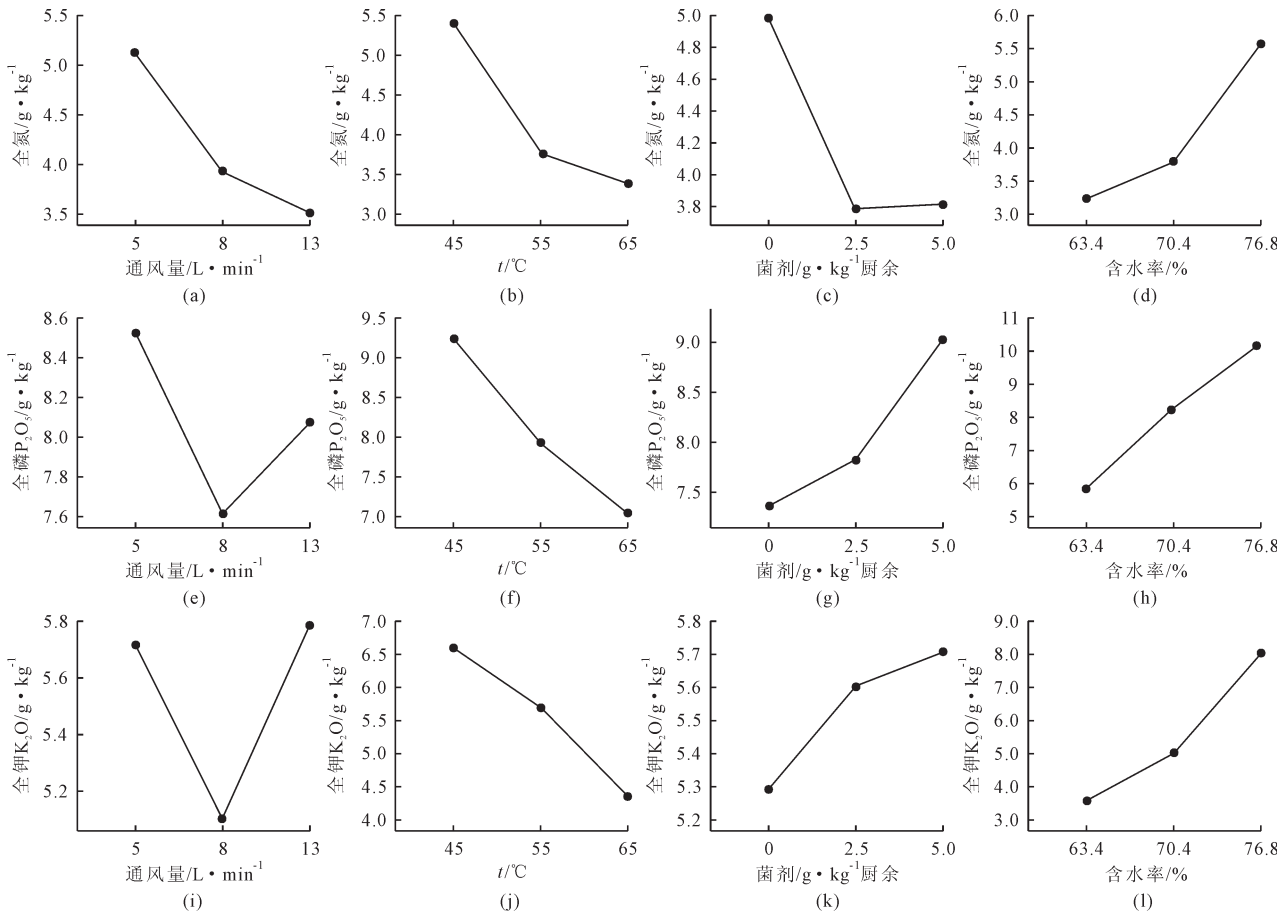

图8 四因素与养分N，P，K的关系

Fig.8 The relations between N, P, K nutrients and four impact factors

(K_2O)都随着菌剂量的增加而上升，反映出EM菌群有保P和保K的作用(图8(c)、(g)、(k))。含水率越大养分含量越高(图8(d)、(h)、(l))，因为堆肥过程有大量降解后的元素溶于水中，但对于好氧堆肥来说也不宜过高，最好不超过80%。

肥料品质与养分含量息息相关，曾有学者总结了前人研究结果得出城市固体废弃物堆肥的氮、磷、钾含量变化范围，分别为5.13~32.36、0.12~12.55、1.12~11.06 g/kg[31]。正交实验得出的N含量普遍偏低，为2.94~8.48 g/kg；而P(P_2O_5)和K(K_2O)含量则比较高，分别为4.99~11.05 g/kg和2.74~8.99 g/kg。养分最高的组合为实验1，通风量5 L/min、温度45 ℃、不添加菌剂、最高含水率76.8%其次为实验5、6、7(图9)(表4)，这些实验挥发分都较低，反映有机物大分子快速降解产生了大量小分子养分元素，而实验1高含水率也给养分的溶解创造了一定条件。综合E4/E6和养分，资源化效果最佳组合为通风13 L/min、温度45 ℃、菌剂5 g、含水率为70.4%。

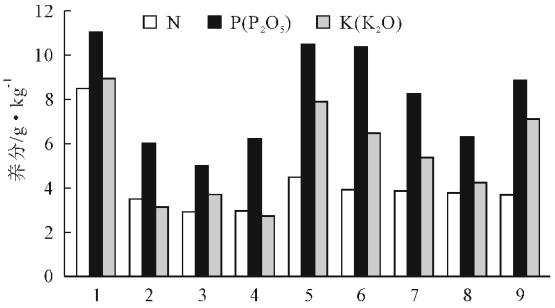

图9 堆肥后养分比较

Fig.9 The comparison of nutrient elements after compost

表4　N、P、K参数

Table 4　Parameters of N, P, K

实验序号	N/g·kg^{-1}	P(P_2O_5)/g·kg^{-1}	K(K_2O)/g·kg^{-1}
1	8.48	11.05	8.99
2	3.52	6.04	3.16
3	2.94	4.99	3.73
4	2.99	6.23	2.74
5	4.5	10.5	7.89
6	3.94	10.36	6.48
7	3.89	8.28	5.41
8	3.77	6.3	4.26
9	3.68	8.87	7.14

3　结论

本文针对我国家庭厨余垃圾特点，对主要影响因子含水率、温度、通风量、菌剂比例进行正交控制试验，研究了基于减量化与、资源化目标的优化工艺参数组合。以减量化为目标的家庭厨余垃圾处理的最佳

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

工艺参数组合为：通风量为 5 L/min、温度 65 ℃、添加 5 g 菌剂、含水率 63.4%。以肥料资源化利用为目标的家庭厨余处理的最佳工艺参数组合为 13 L/min、温度 45 ℃、菌剂 5 g、含水率为 70.4%。试验结果说明在较短时间内实现家庭厨余垃圾的减量化与资源化目标是可行的，以减量化和资源化目标为导向，可作为干燥型和堆肥型家庭厨余垃圾生化处理机的工艺设计基础。

[参考文献]

[1] World Bank. Waste Management in China: Issues and Recommendations[R]. East Asia Infrastructure Department of World Bank, 2005,5.

[2] Xu L F, Wu Y C. A discussion on the priority areas for MSW classification recycling[J].Advanced Materials Research,2013, 726:2614–2617.

[3] 孙晓杰, 徐迪民, 李雄, 等. 上海城市生活垃圾的组成及热值分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008, 36 (3):356–361.
Sun Xiaojie, Xu Dimin, Li Xiong, et al. Analysis of composition and caloric value of municipal solid waste in Shanghai [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2008, 36 (3):356–361. (in Chinese)

[4] Zhuang Y, Wu S W, Wang Y L, et al. Source separation of household waste: a case study in China[J]. Waste Management, 2008, 28 (10):2022–2030.

[5] 胡斌, 丁颖, 吴伟祥, 等. 垃圾填埋场恶臭污染与控制研究进展[J]. 应用生态学报,2010, 21 (3): 785–790.
Hu Bin, Ding Ying, Wu Weixiang, et al. Odor pollution from landfill sites and its control:a review[J]. Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3):785–790. (in Chinese)

[6] 陈家军, 张俊丽, 裴照滨. 垃圾填埋二次污染的危害与防治[J]. 安全与环境学报,2002, 2(3):27–30.
Chen Jiajun, Zhang Junli, Pei Zhaobin. Hazard and control of secondary pollution in sanitary refuse landfilling[J].Journal of Safety and Environment, 2002, 2(3):27–30. (in Chinese)

[7] 古祝平, 高丽红, 陈颖. 城市生活垃圾燃烧过程的探讨[J]. 环境卫生工程, 2012, 20(4):15–17.
Gu Zhuping, Gao Lihong, Chen Ying. Combustion process of municipal waste[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2012, 20(4):15–17. (in Chinese)

[8] 韩静. 循环流化床垃圾焚烧炉燃烧和污染物生成的数值模拟[D].保定：华北电力大学, 2011:12–14.
Han Jing. Numerical Simulation of Combustion and Pollutants Generation in Circulating Fluidized Bed Incinerator[D]. Baoding:North China Electric Power University, 2011:12–14. (in Chinese)

[9] 网易家居. 网管不配套–厨房垃圾粉碎机在中国普及难[N]. 宁波日报, 2011–12–23,C1.
Netease Home. It is Difficult to Popularize about Kitchen Waste Pulverizer in China Because of Unsuitable Pipe Network[N]. Ningbo Daily, 2011–12–23,C1. (in Chinese)

[10] 邵蕾, 周传斌, 曹爱新,等. 家庭厨余垃圾处理技术研究进展[J]. 中国人口资源与环境, 2011,21(23): 414–417.
Shao Lei, Zhou Chuanbin, Cao Aixin, et al. Review of family kitchen waste treatment technology[J]. China Population, Resource and Environment, 2011, 21(23):414–417. (in Chinese)

[11] 王星, 王德汉, 张玉帅, 等. 国内外餐厨垃圾的生物处理及资源化技术进展[J]. 环境卫生工程,2005, 13(2):25–29.
Wang Xing, Wang Dehan, Zhang Yushuai, et al. Review of family kitchen waste treatment technology[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2005, 13(2):25–29. (in Chinese)

[12] 松下公司. 家用生化处理机介绍 [EB/OL]. http://panasonic.jp/garbage/ .
Panasonic Corporation. Introduction of Household Biochemical Processor[EB/OL]. http://panasonic.jp/garbage/. (in Chinese)

[13] TSC 公司. 家用生化处理机介绍 [EB/OL]. http://members3.jcom.home.ne.jp/tsc–shonan/katei.html.
TSC Corporation. Introduction of Household Biochemical Processor [EB/OL].http://members3.jcom.home.ne.jp/tsc –shonan/katei.html . (in Chinese)

[14] 汪群慧, 马鸿志, 王旭明, 等. 厨余垃圾的资源化技术[J]. 现代化工,2004, 24(7):56–59.
Wang Qunhui, Ma Hongzhi, Wang Xuming, et al. Resource recycling technology of food wastes[J]. Modern Chemical Industry, 2004, 24(7):56–59. (in Chinese)

[15] 辛世杰. 微生物菌剂在有机废弃物堆肥中的作用及其机理研究[D]. 上海：上海交通大学, 2012:4–6.
Xin Shijie. Research of Role of Microbial Agents in Organic Waste Composting and Their Mechanisms[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2012:4–6. (in Chinese)

[16] 周效志, 桑树勋, 程云环, 等. 城市生活垃圾可生物降解有机质成分的测定[J].环境监测管理与技术, 2007, 19(2):30–33.
Zhou Xiaozhi, Sang Shuxun, Cheng Yunhuan, et al. The method for determination of biodegradable organic substances in domestic waste[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2007, 19(2): 30–33. (in Chinese)

[17] 魏自民, 席北斗, 赵越, 等. 城市生活垃圾外源微生物堆肥对有机酸变化及堆肥腐熟度的影响[J]. 环境科学, 2006, 27 (2): 376–380.
Wei Zimin, Xi Beidou, Zhao Yue, et al. Inoculating microbes on municipal solid waste composting affects organic acids and maturity[J]. Environmental Science,2006,27(2):376–380. (in Chinese)

[18] Inbar Y, Chen Y, Hadar Y, et al. Composting of agricultural wastes for their use as container media: simulation of the composting process[J]. Biological Wastes, 1988, 26(4):247–

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

259.

[19] 席北斗, 李英军, 刘鸿亮, 等. 生活垃圾堆肥工艺条件及其反应动力学研究[J].环境污染治理技术与设备, 2004, 5(11): 31–34.
Xi Beidou, Li Yingjun, Liu Hongliang, et al. Study on municipal solid waste composting conditions and kinetics[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2004, 5(11):31–34. (in Chinese)

[20] 邵淼, 杨淑英, 张增强, 等. 不同处理对高含水率奶牛粪便好氧堆肥的影响[J]. 农业环境保护, 2010, 29(5):982–989.
Shao Miao, Yang Shuying, Zhang Zengqiang, et al. Effect of different treatments on composting of high water content dairy manure[J].Journal of Agro–environment Science, 2010, 29(5):982–989. (in Chinese)

[21] 张瀚, 何文斌, 蒋俐骅. 上海南桥污水处理厂脱水污泥好氧堆肥试验研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(19):40–43.
Zhang Han, He Wenbin, Jiang Lihua. Study on aerobic composting of dewatered sludge from Nanqiao Wastewater Treatment Plant[J].China Water & Wastewater, 2008,24(19): 40–43. (in Chinese)

[22] Tiquia S, Tam N, Hodgkiss I. Microbial activities during composting of spent pig–manure sawdust litter at different moisture contents[J]. Bioresource Technology, 1996, 55 (3):201–206.

[23] Heo S U, Moon S Y, Yoon K S, et al. Enhanced compost maturity by effective microorganisms[J]. Journal of Biotechnology, 2008, 136,S65.

[24] Hue N, Liu J. Predicting compost stability[J]. Compost Science & Utilization, 1995, 3(2):8–15.

[25] 宁尚晓. 生活垃圾堆肥腐熟度评价标准[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(5):28–29, 98.
Ning Shangxiao. Evaluation standard of compost maturity of municipal solid waste[J]. Anhui Agriculture Science Bull, 2012, 18(5):28–29, 98. (in Chinese)

[26] Stentiford E. Composting Control: Principles and Practice[M]. New York: Springer, 1996:49–59.

[27] Hellmann B, Zelles L, Palojarvi A, et al. Emission of climate–relevant trace gases and succession of microbial communities during open–windrow composting[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997, 63(3):1011–1018.

[28] 鲍艳宇, 周启星, 娄翼来, 等.奶牛粪好氧堆肥过程中不同含碳有机物的变化特征以及腐熟评价[J].生态学杂志, 2010, 29 (11):2111–2116.
Bao Yanyu, Zhou Qixing, Lou Yilai, et al. Change patterns of different carbon–containing compounds in dairy manure during its aerobic composting and assessment of composting maturity[J].Chinese Journal of Ecology,2010,29(11):2111–2116. (in Chinese)

[29] 史殿龙, 张志华, 李国学, 等. 堆高对生活垃圾中 15mm 筛下物堆肥腐熟的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1):324–329.
Shi Dianlong, Zhang Zhihua, Li Guoxue, et al. Effect of stacking height on maturity during composting of municipal solid waste under 15 mm sieved[J].Transactions of the CSAE, 2010, 26(1):324–329. (in Chinese)

[30] 谷洁, 李生秀, 秦清军,等.氧化还原类酶活性在农业废弃物静态高温堆腐过程中变化的研究[J].农业工程学报,2006, 22(2):138–141.
Gu Jie, Li Shengxiu, Qin Qingjun, et al. Changes of oxidization and reduction enzymes of agricultural waste materials during composting at high temperature and static state [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2):138–141. (in Chinese)

[31] Hargreaves J, Adl M, Warman P. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture[J].Agriculture Ecosystems & Environment, 2008, 123(1):1–14.

(上接第 94 页)

Wang Yu, Zhu Chenghua, Zou Xiaoli, et al. Solvent demulsification –dispersive liquid –liquid microextraction based on solidification of floating organic drop coupled with gas chromatography–mass spectrometry for simultaneous determination of organochlorine[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2013, 31(11):1076–1080.(in Chinese)

[16] 应立春,欧阳文华.液液萃取–液相色谱法测废水中的氯酚[J].工业用水与废水,2013,44(4):86–89.
Ying Lichun, Ouyang Wenhua. Detection of chlorophenols in water by liquid–liquid extraction–liquid chromatography[J]. Industrial Water & Wastewater, 2013, 44(4):86–89. (in Chinese)

[17] 丁宗庆,张琼瑶.凝固–漂浮分散液液微萃取–高效液相色谱法测定水样中氯酚[J].分析化学,2010,38,(10):1400–1404.
Ding Zongqing, Zhang Qiongyao. Dispersive liquid –liquid microextraction based on solidification of floating organic drop combined with high performance liquid chromatography for determination of chlorophenols in aqueous samples [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2010,38(10):1400–1404.(in Chinese)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net