

落叶堆肥过程中有机物的动态变化

陈广银, 王德汉, 吴艳, 李俊飞, 刘承昊, 项钱斌

(华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642)

摘要: 为研究落叶堆肥过程中有机物的动态变化特征, 进行了 50 d 的高温好氧堆肥试验. 结果表明: 堆肥中有机质、挥发性固体、腐殖质、游离腐植酸以及富里酸 (FA) 呈下降趋势; 腐殖质碳 / 有机碳 $[w(GH)/w(TOC)]$ 先减小后增加, 最后稳定在 47.3% ~ 47.6%; 胡敏酸 $[w(HA)]$ 呈上升趋势; 胡敏酸 / 富里酸 $[w(HA)/w(FA)]$ 在堆肥过程中迅速增加, 从堆肥初始的 0.43 增加到堆肥结束时的 1.02, 表明堆肥有机物向腐殖化和稳定化方向转化; $E4/E6$ 增加后缓慢降低. 表明 $w(GH)/w(TOC)$ 可作为评价落叶堆肥腐熟和稳定的参考指标, 而腐殖质含量、 $w(HA)/w(FA)$ 以及 $E4/E6$ 作为评价落叶堆肥腐熟的指标不太合适.

关键词: 落叶堆肥; 有机物; 胡敏酸; 富里酸; 游离腐植酸; $E4/E6$

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1001-411X(2007)02-0001-04

Dynamic Transformation of Organic Matter During

Thermophilic Composting of Litter

CHEN Guang-yin, WANG De-han, WU Yan, LI Jun-fei, LIU Cheng-hao, XIANG Qian-bin

(College of Resources and Environment, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Thermophilic composting of litter was studied to evaluate the dynamic characteristics of organic matter transformation and provide parameters for product maturity with chemical analysis. The results indicated that organic matter, volatile solid, humus (HM), free humic acid and fulvic acid $[w(FA)]$ decreased constantly, but humic acid $[w(HA)]$ increased during the composting. However the ratio of HM to organic matter decreased to minimum at 4th d, but increased thereafter and then the ratio stabilized in 47.3% - 47.6% at last. $w(HA)/w(FA)$ was keeping quickly increase during the composting, it was from 0.43 at beginning to 1.02 at the end of composting, that indicated the progression of composting to humification and stability. On the contrary the $E4/E6$ increased in the initial stage but decreased thereafter. All results demonstrated that $w(HM)/w(TOC)$ was suitable to be used as the chemical index of litter compost maturity and stability, but the HM content, $w(HA)/w(FA)$, and $E4/E6$ were unsuitable.

Key words: litter compost; organic matter; humic acid; fulvic acid; free humic acid; $E4/E6$

落叶是由于季节变化从树上落下的有机固体废物, 其特点是质量轻、体积大、季节性强. 落叶中含有丰富的营养成分, 包括粗蛋白、粗纤维、粗脂肪等有机成分以及钙、磷、钾等无机成分. 大量研究表明, 使用落叶堆肥可以提高作物产量, 提高农产品品质, 改善土壤理化性质^[1-4]. 但未经堆肥处理的落叶则由于落叶中可能带有的病原菌而对作物造成危害, 未腐熟的堆肥施入土壤后由于不稳定有机物的

强烈分解, 产生对作物有毒害的物质, 抑制作物生长^[5]. 堆肥过程实质上是微生物将堆料中的大分子有机物分解为小分子有机物并部分转化为自身组成成分的过程, 该过程伴随着碳素物质的矿化分解以及分解后的产物在微生物作用下合成新腐殖物质的过程. 国内外学者对猪粪、鸡粪、城市污泥和农业废弃物等堆肥过程中各种有机物的变化做了大量研究^[6-10], 但鲜见有对落叶堆肥过程中有机物的变化进

收稿日期: 2006-09-06

作者简介: 陈广银 (1981—), 男, 硕士研究生; 通讯作者: 王德汉 (1965—), 男, 教授, E-mail: dehanwang@scau.edu.cn

行研究的报道. Bernal 等^[6]用城市污泥、城市生活垃圾、畜禽粪便等有机废物堆肥时发现, 胡敏酸(HA)和胡敏酸/富里酸 $[w(\text{HA})/w(\text{FA})]$ 在堆肥过程中没有明显的变化规律, 其变化与堆肥物料的来源直接相关. 因此, 有必要弄清落叶堆肥过程中有机物的变化特征. 目前, 国内外学者对堆肥过程中腐殖质含量的变化还没有达成共识, 不同学者的研究结果并不一致甚至相互矛盾. 游离腐植酸是一种胶体, 具有强极性, 在实际测定中包括与钾、钠结合的腐植酸, 其特点是水溶性、分子小、渗透性强、活性基团多、易吸收、利用率高和肥效快, 其在堆肥产品中

的含量无疑会直接影响堆肥产品的质量及其应用效果^[11]. 本文对落叶堆肥过程中有机物的动态变化进行了研究, 为评价堆肥产品的品质、判定落叶堆肥的腐熟度和稳定性以及工厂化落叶堆肥提供参考.

1 材料与方法

1.1 材料

供试落叶取自中国科学院华南植物园落叶堆肥厂, 鸡粪取自华南农业大学养鸡场, 返料为华南农业大学新肥料研究室堆制的落叶堆肥成品, 各试验材料的基本性质见表1.

表1 落叶堆肥中各原料的基本特性

Tab.1 Materials properties of composting litter

物料 material	$w(\text{水分})$ moisture)/%	pH	电导率 $\sigma/$ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	$w(\text{总氮})$ total N)/%	$w(\text{总磷})$ total P)/%	$w(\text{总钾})$ total K)/%	$w(\text{有机质})$ organic matter)/%	$w(\text{C})/w(\text{N})$	$w(\text{挥发性固体})$ volatile solid)/%
落叶 litter	40.31	5.69	1 015	1.04	0.18	0.74	56.25	31.9	69.42
鸡粪 chicken manure	69.70	7.03	3 016.66	4.41	1.81	2.91	58.56	7.69	84.77
返料 revert	36.77	6.96	1 953	2.61	1.06	1.68	49.56	11.01	61.48

1.2 方法

将2.7 kg 落叶(粉碎后过2.0 cm 筛的筛下物)、2.8 kg 鸡粪(粉碎后过0.5 cm 筛的筛下物, 经170 °C 高温灭菌30 min 冷却后立即用于堆肥)和1.0 kg 返料加入适当的水充分混匀后堆肥, 使堆肥混合物料的初始含水率(w)在60.0%左右. 一次发酵在自制的堆肥反应器内进行, 采用260 W 的鼓风机强制通风, 通风量为0.2 m³/h, 通风时间为15 min/h. 堆肥物料在堆肥反应装置内停留11 d 后取出, 转移至规格为50 cm × 20 cm × 20 cm 的塑料箱内进行2次发酵, 每周人工翻堆1次, 整个堆肥过程持续50 d. 堆肥过程中分别于第0、4、6、11、18、25、32、40、50 d 采样测定有关指标.

有机质采用1.0 mol · L⁻¹ K₂Cr₂O₇ - H₂SO₄ 外加加热法(NY525—2002); 挥发性固体(VS)的测定采用550 °C 灼烧4 h 差重法测定^[11]; 腐殖质(HM)及其组分的测定采用0.1 mol · L⁻¹ Na₄P₂O₇ + 0.1 mol · L⁻¹ NaOH 提取 K₂Cr₂O₇ 容量法^[12]; 游离态腐殖酸采用 $w = 1.0\%$ NaOH 浸提重铬酸钾容量法^[11]; 称取5.00 g 堆肥鲜样 + 50 mL 蒸馏水, 在室温下于200 r · min⁻¹ 振荡1 h 后, 离心过滤, 取滤液分别于465 和665 nm 处比色测定 $E4/E6$ ^[13].

2 结果与分析

2.1 有机质和挥发性固体(VS)的动态变化

有机物的燃烧挥发部分通常称为挥发性固体(VS), 包括生物挥发固体(BVS, 即通常所说的有机

质)和非生物挥发固体(NBVS, 即生物难降解部分), 因此通常测得的堆肥有机质的含量较挥发性固体要小. 由于堆肥过程中NBVS 变化很小, 因而, VS 含量的变化可反映堆肥有机物降解程度的变化^[14].

如图1所示, 落叶经过高温好氧堆肥处理后, 有机质和VS 的质量分数均明显降低, 分别从堆肥初始的53.70%和69.77%下降到堆肥结束时的45.19%和57.10%, 分别下降了15.85%和18.17%, VS 的降解率较有机质略高, 表明堆肥过程中部分难降解有机物也被降解.

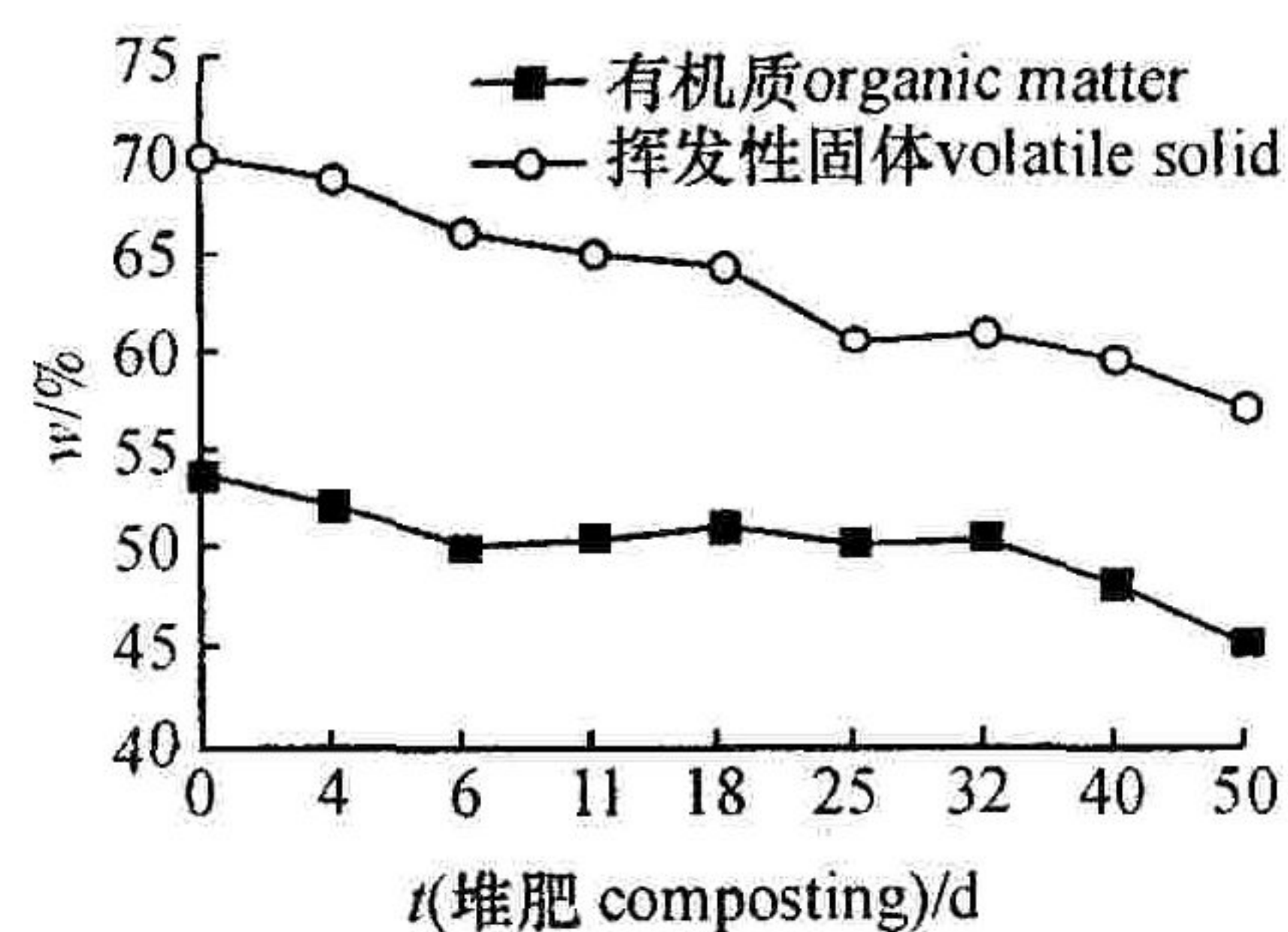


图1 堆肥过程中有机质和挥发性固体的变化

Fig.1 Organic matter and volatile solid content change during composting

2.2 腐殖质和腐殖质碳/有机碳的动态变化

腐殖质是高分子有机胶体, 在其各单元结构上有一个或多个活性基团, 其主要的活性基团是羧基、酚羟基和醌基. 它们被植物吸收后, 可促进植物体内多酚氧化酶的活性, 从而促进作物的新陈代谢和糖类及干物质的积累. 腐殖质活性基团还有改善土

壤物理性质的作用^[11]。因此,了解堆肥过程中腐殖质的动态变化对人工改善堆肥品质有参考价值。腐殖质的变化曲线如图2,从试验结果看,落叶经过高温好氧堆肥处理后,腐殖质的质量分数从堆肥初始的26.65%下降到堆肥结束时的21.50%,降低了19.31%,在堆肥的前4 d降幅尤为明显,4 d后腐殖质的质量分数相对稳定,到堆肥后期又缓慢降低。腐殖质碳/有机碳 $[w(C_{HM})/w(TOC)]$ 的变化曲线见图3,从图3看出, $w(C_{HM})/w(TOC)$ 先降低后增加,最后稳定在47.3%~47.6%之间,表明堆肥已达到腐熟,这和李吉进等^[15]的研究结果一致。

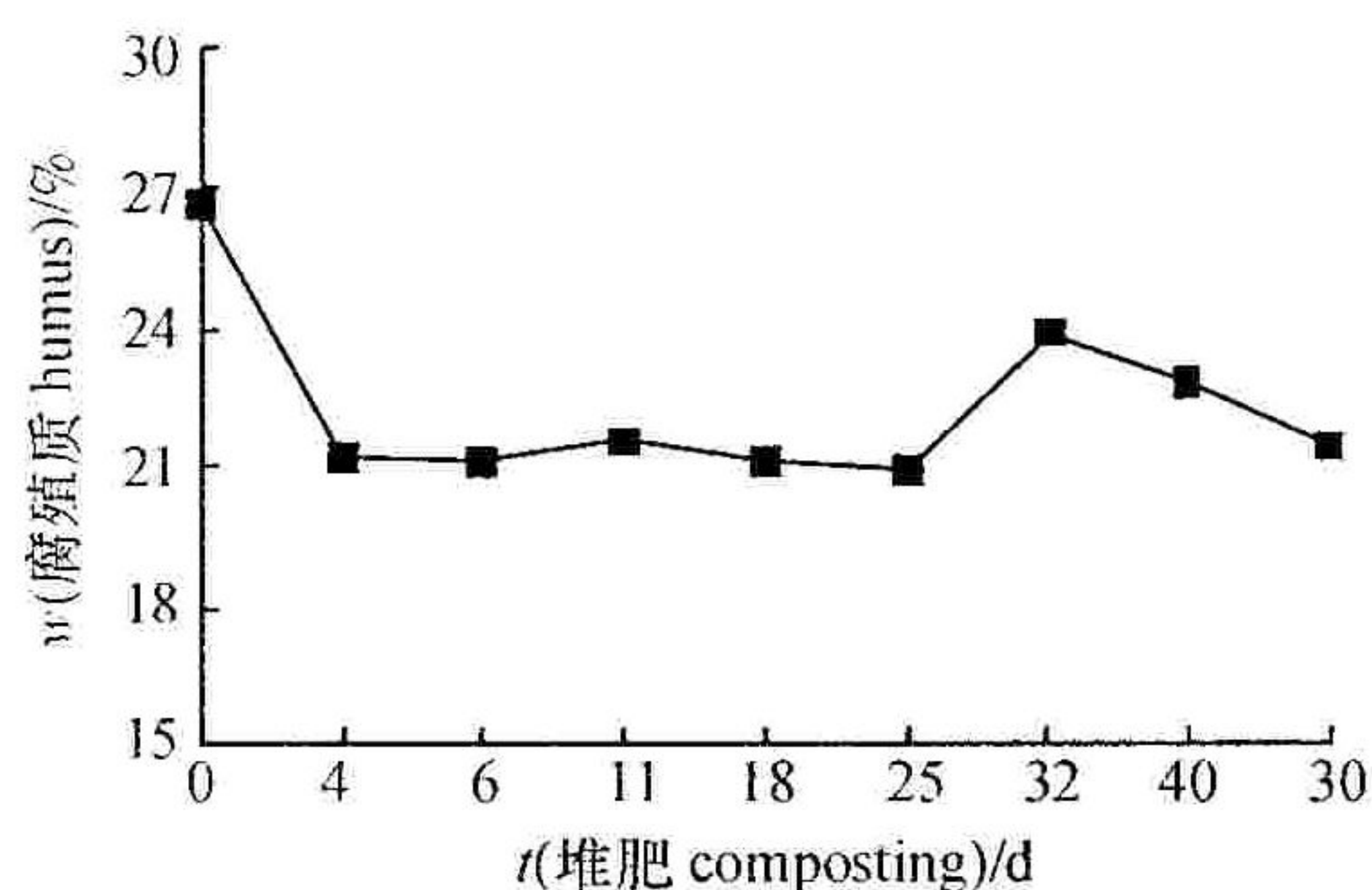
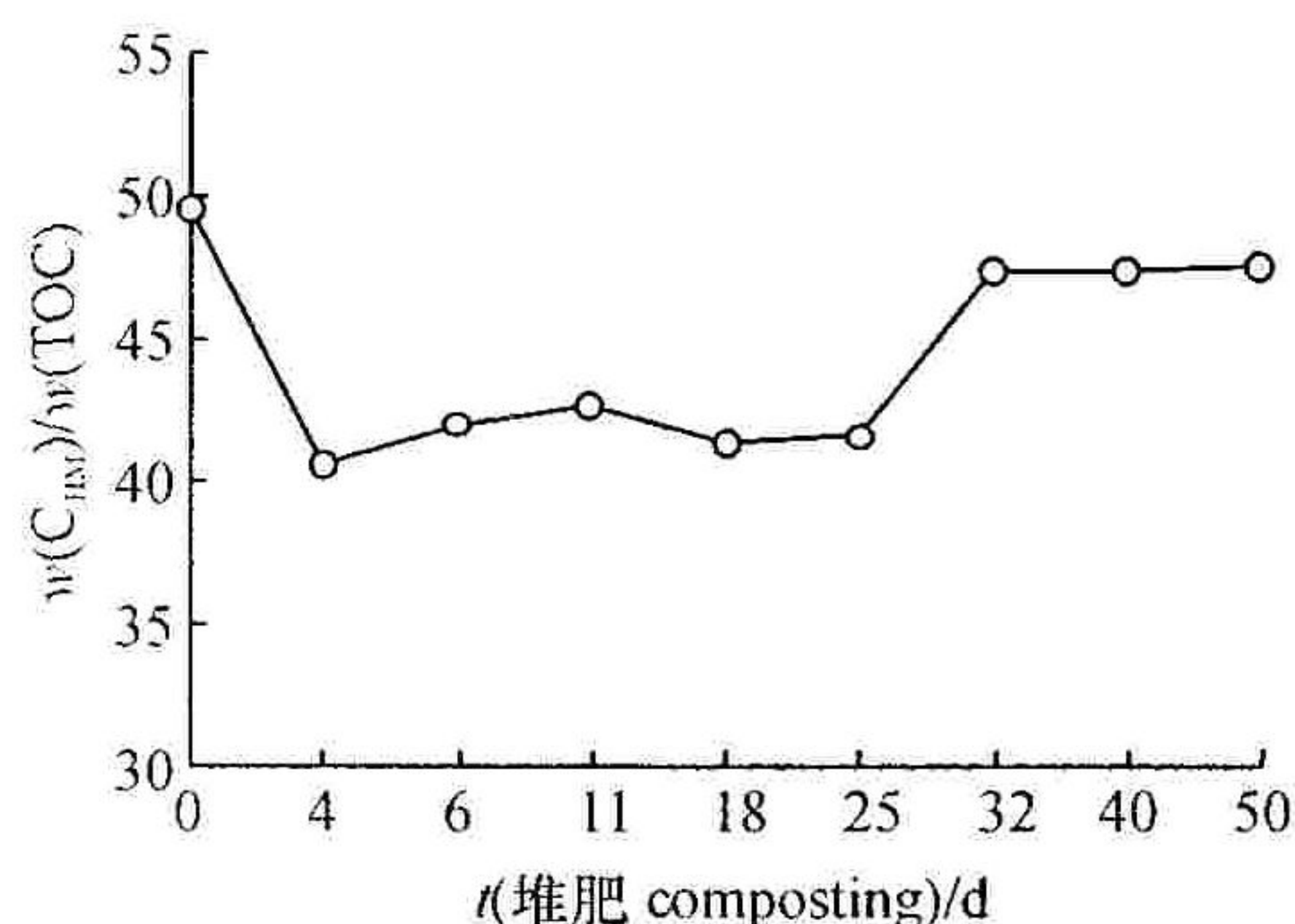


图2 堆肥过程中腐殖质的变化规律

Fig. 2 Content of humus change during composting

图3 堆肥过程中腐殖质碳/有机碳 $[w(C_{HM})/w(TOC)]$ 的动态变化Fig. 3 $w(C_{HM})/w(TOC)$ change during composting

2.3 游离腐植酸的动态变化

如图4所示,落叶中的游离腐植酸质量分数从堆肥开始时的24.30%降低到堆肥结束时的18.97%,共降低24.93%。从总体来看,游离腐植酸经历了一个“降低→升高→降低”的波动过程,到堆肥结束时,其质量分数明显减少。在堆肥高温阶段,堆肥中游离腐植酸降低很快,从堆肥初始的24.30%迅速下降到堆肥第6 d时的20.19%,降幅达16.93%,占整个堆肥降解过程的77.19%,表明堆肥高温期有大量游离腐植酸被矿化分解。堆肥过程包括碳素物质的矿化分解以及分解后的产物在微生物作用下合成新腐殖物质2个过程,如果新合成腐植酸的速度低于矿化分解的速度则堆肥中游离腐植酸

的含量就降低,反之则增加。在堆肥第6 d到堆肥第32 d,堆肥中游离腐植酸保持相对稳定,表明堆肥中游离腐植酸矿化分解的速度与新合成的速度大致平衡。到堆肥后期,可能由于堆肥中易降解有机物含量明显降低,微生物可利用的物质不多,于是游离腐植酸矿化分解的速度高于新合成的速度,腐植酸含量又开始下降。

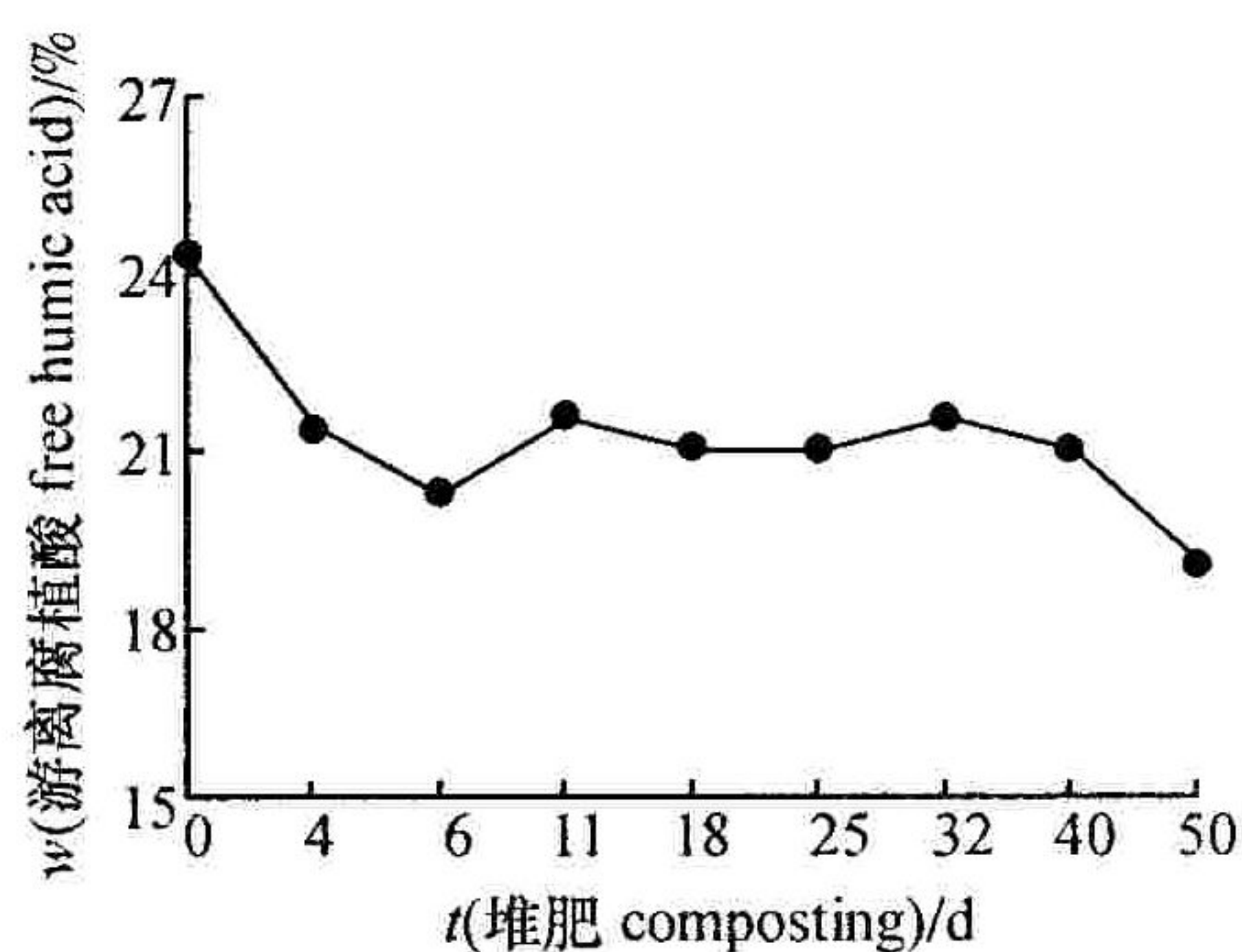
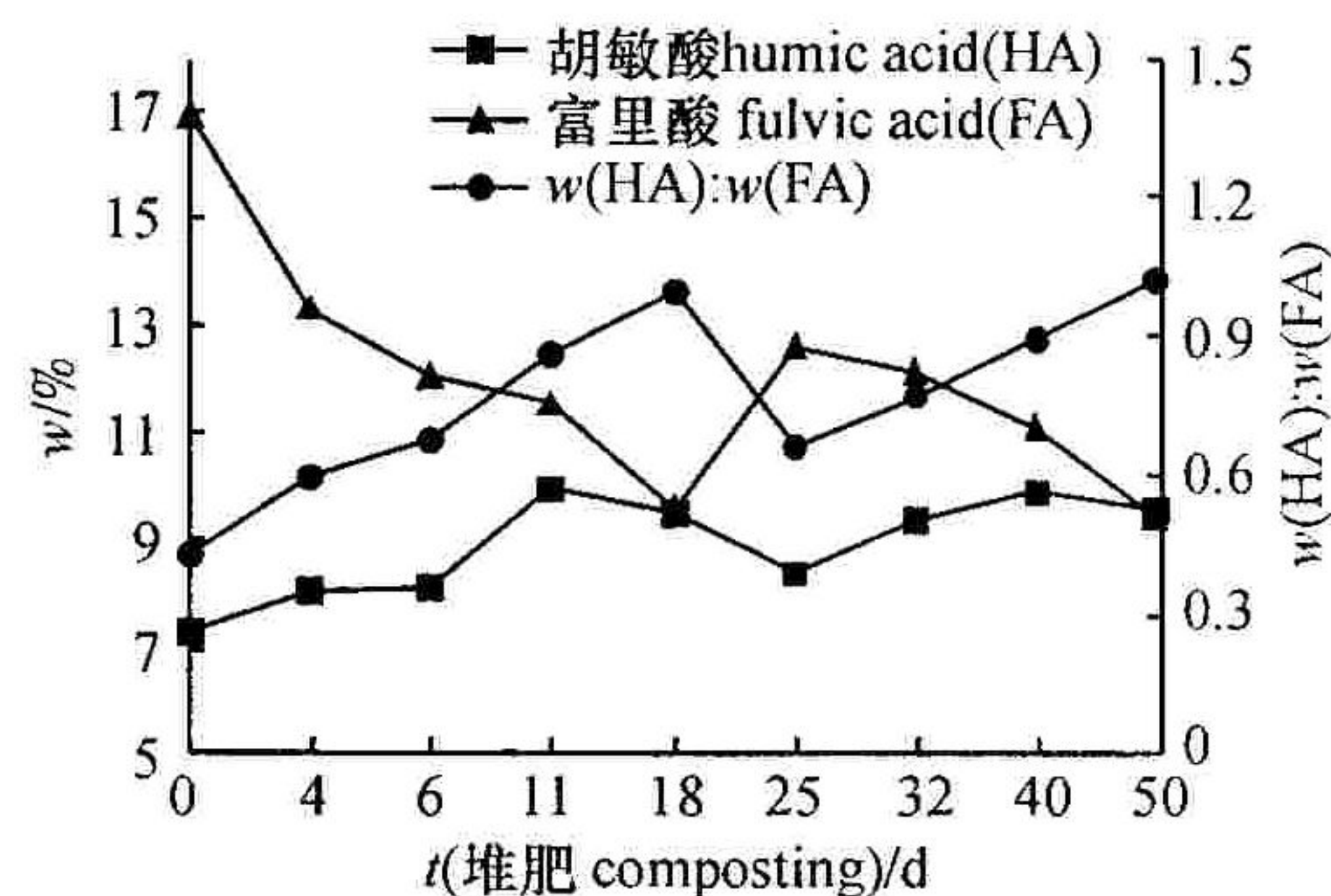


图4 堆肥过程中游离腐植酸的动态变化

Fig. 4 Free humic acid curves during composting

2.4 胡敏酸(HA)、富里酸(FA)以及 $w(HA)/w(FA)$ 的变化

如图5所示,在落叶堆肥过程中,胡敏酸(HA)、富里酸(FA)和 $w(HA)/w(FA)$ 均发生了很大的变化。从整个堆肥过程来看,HA呈上升趋势,从堆肥初始的7.34%上升到堆肥结束时的9.57%;富里酸(w)呈下降趋势,从堆肥前的16.96%降低到9.40%; $w(HA)/w(FA)$ 在堆肥过程中保持增加趋势,从堆肥初始的0.43增加到堆肥结束时的1.02。

图5 堆肥50 d中胡敏酸(HA)、富里酸(FA)和 $w(HA)/w(FA)$ 的变化Fig. 5 Changes of humic acid, fulvic acid and $w(HA)/w(FA)$ during 50 d composting process

2.5 胡敏酸E4/E6的动态变化

E4/E6值通常作为胡敏酸品质或缩合度、芳构化程度的重要指标,E4/E6比值愈低,表明腐殖质的缩合度和芳构化程度愈高,分子量愈大,平均存留时间愈长^[16]。谷洁等^[9]研究鸡粪与麦秸联合堆肥时发现,堆肥过程中E4/E6先迅速增加后缓慢降低,占新

华等^[8]用污泥堆肥时也有相同的结果. 图6表明, 在落叶堆肥过程中 $E4/E6$ 表现出先增加后缓慢降低的趋势. 尽管在堆肥后期, $E4/E6$ 有所下降, 但到堆肥结束时, 堆肥的 $E4/E6$ 值仍高达 2.92, 表明其芳构化和缩合度仍很低, 这从另一方面表明堆肥腐殖质的活性较强, 相对分子质量还很小.

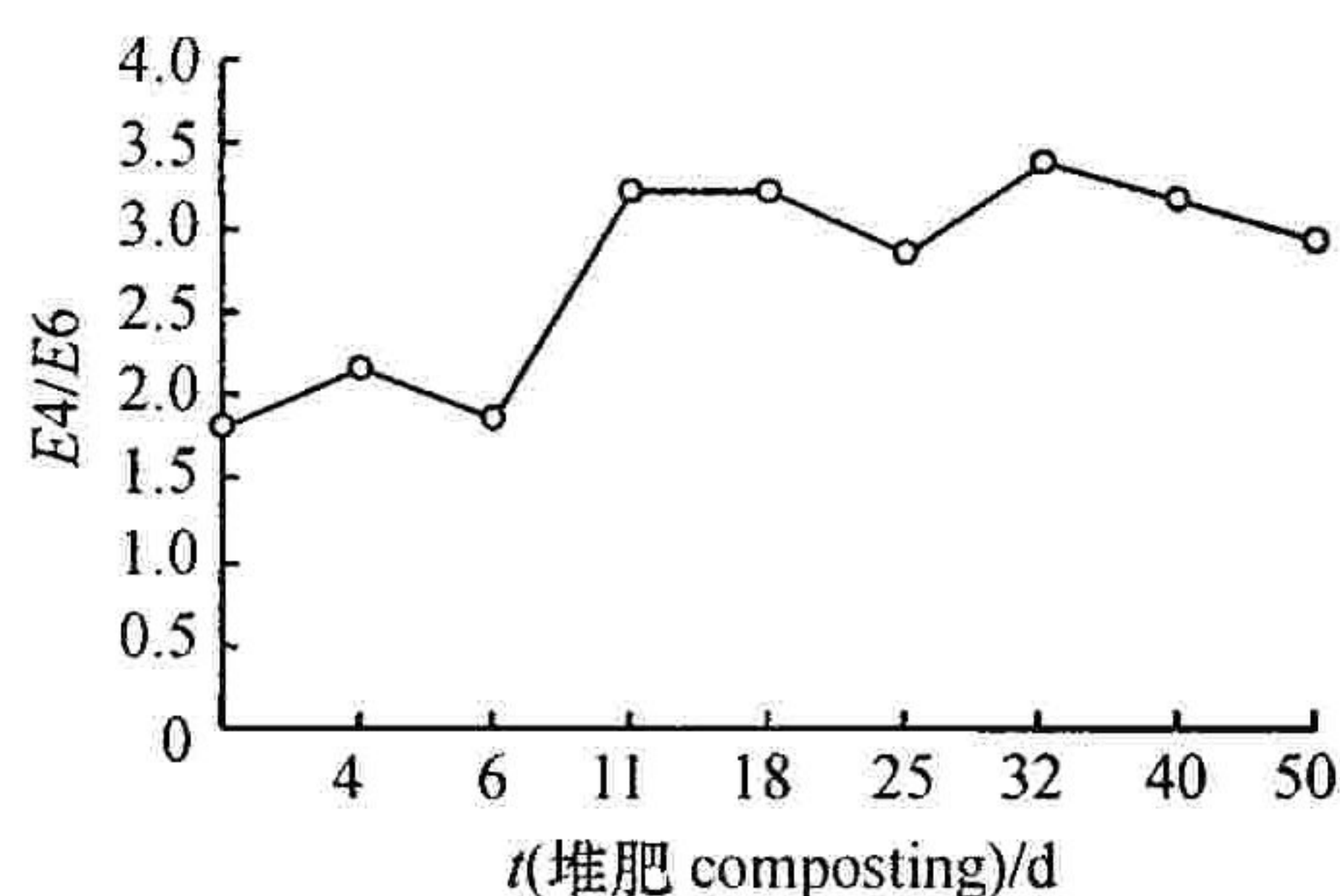


图6 堆肥 50 d 中 $E4/E6$ 的变化

Fig. 6 Changes of $E4/E6$ during 50 d composting process

3 讨论与结论

经过 50 d 的高温好氧堆肥处理后, 落叶堆肥中有机质、挥发性固体、腐殖质、游离腐植酸和 FA 均呈下降趋势; $w(C_{HM})/w(TOC)$ 、 $E4/E6$ 、HA 和 $w(HA)/w(FA)$ 均呈上升趋势; 堆肥水浸提液的颜色明显变浅. 当堆肥腐熟时, 这些指标都达到相对稳定, 表明落叶中有机物不断向腐殖化和稳定化方向转化.

在落叶堆肥过程中, 随着微生物腐殖化作用的进行, 堆肥中 HA 含量增加, FA 含量下降, Bernal 等^[6]用城市污泥、城市生活垃圾、畜禽粪便等有机废物堆肥时发现, HA 和 $w(HA)/w(FA)$ 在堆肥过程中没有明显的变化规律, 其变化与堆肥物料的来源直接相关. 而 Paredes 等^[7]研究橄榄油废水污泥与农业废物联合堆肥, 结果显示堆肥过程中富里酸含量逐渐下降, 而胡敏酸和 $w(HA)/w(FA)$ 均呈增加的趋势. 因此, 利用 HA、FA 和 $w(HA)/w(FA)$ 作为评价堆肥腐熟的指标目前还存在争议^[17-18].

参考文献:

- [1] GENT M P N, LAMONDIA J A, FERRANDINO F J, et al. Influence of compost amendment or straw mulch on the reduction of gas exchange in potato by *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus penetrans* [J]. Plant Disease, 1999, 83: 371-376.
- [2] GAJALAKSHMI S, ABBASI S A. Neem leaves as a source of fertilizer-cum-pesticide vermicompost [J]. Bioresource Technology, 2004, 92: 291-296.
- [3] ABIGAIL A M. Using yard trimmings compost as fertilizer on vegetable crops [J]. BioCycle, 2004, 45(5): 48-53.
- [4] STAMATIADIS S, WERNERB M, BUCHANAN M. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California) [J]. Applied Soil Ecology, 1999, 92: 217-225.
- [5] BUTLER T A, SIKORA L J, STEINHILBER P M, et al. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost [J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30(6): 2141-2148.
- [6] BERNAL M P, PAREDES M A, SANCHEZ M, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes [J]. Bioresource Technology, 1998, 63: 91-99.
- [7] PAREDES C, BERNAL M P, CEGARRA J, et al. Biodegradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes [J]. Bioresource Technology, 2002, 85: 1-8.
- [8] 占新华, 周立祥, 沈其荣, 等. 污泥堆肥过程中水溶性有机物光谱学变化特征 [J]. 环境科学学报, 2001, 21(4): 470-474.
- [9] 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.
- [10] 高伟, 郑国砦, 高定, 等. 堆肥处理过程中猪粪有机物的动态变化特征 [J]. 环境科学, 2006, 27(5): 986-990.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 438-440.
- [12] 严昶升. 土壤肥力研究方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1988: 114-129.
- [13] 张福锁, 龚元石, 李晓林. 土壤与植物营养研究新动态 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 319-349.
- [14] NAYLOR L M. Composting [J]. Environmental Science and Pollution Series, 1996, 18(69): 193-269.
- [15] 李吉进, 郝晋珉, 邹国元, 等. 高温堆肥碳氮循环及腐殖质变化特征研究 [J]. 生态环境, 2004, 13(3): 332-334.
- [16] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 38-40.
- [17] ADANI F, GENEVINI P L, TAMBONE. A new index of organic matter stability [J]. Compost Science and Utilization, 1995(3): 25-37.
- [18] BENITO, M, MASAGUER A, MOLINER A, et al. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost [J]. Biol Fertil Soils, 2003, 37: 184-189.

【责任编辑 周志红】