

模糊数学方法在垃圾堆肥质量评价中的应用*

蔡华帅^{1,2}, 彭绪亚¹, 李明¹, 吴正松¹

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 北京市垃圾渣土管理处, 北京 100067)

摘要:通过选择堆肥质量指标, 制定指标评价等级, 构建模糊数学评价体系, 采用垃圾堆肥试验数据, 在单因素评价的基础上, 综合考虑各因素的影响, 对堆肥质量进行模糊综合评价。结果表明运用模糊综合评价法能客观地反映堆肥质量。该法可以作为一种简单有效的城市生活垃圾堆肥质量评价方法。

关键词:模糊数学; 评价; 垃圾; 堆肥

中图分类号:X705 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2006)04-0087-03

Application of Fuzzy Mathematics in the Evaluation of MSW Compost Quality

CAI Hua - shuai^{1,2}, PENG Xu - ya¹, LI Ming, WU Zheng - song¹

(1. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Beijing Solid Waste Administration Department, Beijing 100067, P. R. China)

Abstract: Through selecting the index of MSW compost quality and establishing the evaluation grades of index, an evaluation system with the method of fuzzy mathematics has been framed in this paper. Then, based on the assessment of single factor and comprehensive effects of different factors, in this paper, the experimental data are taken for example to evaluate the MSW compost quality. The result shows that this method is successfully applied and also can be used as a simple useful method to the evaluation of MSW compost quality.

Keywords: fuzzy mathematics; evaluation; MSW; compost

堆肥质量是影响城市生活垃圾堆肥资源化利用的关键因素。纵观国内外垃圾堆肥研究, 大多集中在微生物特性、氧的传递机理、堆肥腐熟度、堆肥工艺等方面, 而有关堆肥质量评价研究较少。本论文以模糊数学为基础, 对堆肥质量进行模糊综合评价, 以建立一种简单适用的评价体系。

1 选择堆肥质量指标

高温堆肥处理可很好地到达城镇城市生活垃圾的无害化、减量化和资源化效果, 故可选择这三个指标。此外, 还可选择堆肥过程中微生物活性和腐熟度作为堆肥质量指标指标。

1.1 无害化指标

在高温堆肥一次发酵阶段, 堆肥温度在 50 ~ 55 °C 以上持续 5 ~ 7 d 可以将虫卵、病原菌、寄生虫、孢子等杀灭。故可选择堆温 55 °C 以上持续时间作为评价无害化参数。

1.2 减量化指标

降解率是指堆肥结束时堆料降解量占堆肥原料重量的百分比, 其大小宏观地反映了堆肥降解效果。故可选择作为评价减量化参数。

1.3 资源化指标

氮素是农作物生长中不可缺少的营养元素。堆肥作为一种有机肥料农用时, 含氮量越高, 堆肥肥效越好, 故可选择堆肥结束时氮素含量作为评价资源化参数。

1.4 微生物活性指标

氧浓度是微生物活动强弱的宏观标志, 其大小表征了微生物活性的强弱, 故可选择作为评价微生物活性参数。

1.5 腐熟度指标

就作为评价堆肥腐熟度的参数而言, 碳氮比(C/N)是一个传统有效的方法, 故选择 C/N 作为评价腐熟度的参数。

* 收稿日期: 2005-01-05

作者简介: 蔡华帅(1980-), 男, 江西万年人, 硕士, 主要从事固体废物污染控制、理论与资源化技术研究。

2 制定指标评价等级

目前,除堆肥温度和氮素含量有标准外,降解率、氧浓度、C/N 均无可供参考的标准。所以在确定评价标准时,只能对这些评价参数适当取值作为评价标准。并在制定评价标准的过程中,将各参数都分成 4 个等级:好、较好、一般、差。

2.1 无害化指标

根据高温堆肥卫生标准^[1],堆肥温度最高达 50 ~ 55 ℃ 以上,持续 5 ~ 7 d。高温期持续时间越长,无害化效果越好,故可制定如表 1 中所示分级标准。

2.2 减量化指标

1990 年国家科委社会发展科技司及建设部科技司对我国城市生活垃圾处理技术进行了评估,其中堆肥技术有 11 项分别评为推广技术和试点推广技术^[2]。根据对这 11 项技术分析,堆肥结束时降解率在 30% ~ 50% 左右。降解率越大,说明减量化效果最好,故制定如表 1 中所示分级标准。

2.3 资源化指标

根据城镇垃圾农用控制标准^[3],要求氮素含量 ≥ 0.5%。含氮量越高,越有利于资源化,故可制定如表 1 中所示分级标准。

2.4 微生物活性指标

陈世和^[4]指出堆肥过程中合适的氧含量应大于 18%,最低氧浓度不能小于 8%。已知氧浓度越大,微生物活性越强,故可制定如表 1 中所示分级标准。

2.5 腐熟度指标

对城市生活垃圾堆肥而言,当碳氮比低于 12 时,说明堆肥已经腐熟^[5],故可制定如表 1 中所示分级标准。

表 1 各评价参数分级标准

评价指标	评价参数	好	较好	一般	差
无害化	高温期(≥55℃)持续时间/d	7	5	4	3
减量化	降解率/%	50	45	40	30
资源化	含氮量/%	0.5	0.4	0.3	0.2
微生物活性	平均氧浓度/%	18	15	12	8
腐熟度	C/N	12	14	16	20

3 构建模糊评价体系^[6]

3.1 建立模糊综合评价模型

选择 5 个参数(即 n = 5) 构成接种堆肥效果综合评价参数集合 U 为:

$U = \{u_1(\text{高温期}(\geq 55\text{ }^\circ\text{C})\text{持续时间}), u_2(\text{降解率}), u_3(\text{含氮量}), u_4(\text{平均氧浓度}), u_5(\text{C/N})\}$ 将堆肥效果分成 4 个等级(即 m = 4) 构成评价等级矩阵 V 为:

$$V = \{v_{i1}(\text{好}), v_{i2}(\text{较好}), v_{i3}(\text{一般}), v_{i4}(\text{差})\}$$

$$= \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} & s_{44} \\ s_{51} & s_{52} & s_{53} & s_{54} \end{bmatrix} \quad (1)$$

设第 i(i = 1, 2, ..., 5) 个因素的单因素评价为:

$$R_i = (\gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \gamma_{i3}, \gamma_{i4}) \quad (2)$$

它可以看作为评价等级集合 V 上的一个模糊子集,其中 $r_{ik}(k = 1, 2, 3, 4)$ 表示第 i 个因素的评价对第 k 个评价等级的隶属度,5 个参数总的评价矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \gamma_{14} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \gamma_{24} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & \gamma_{34} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} & \gamma_{44} \\ \gamma_{51} & \gamma_{52} & \gamma_{53} & \gamma_{54} \end{bmatrix} \quad (3)$$

在进行综合评价时,因当考虑各个因素对评定等级所起作用的大小,根据这种作用的大小分别给予不同的权重,组成各因素的权数分配矩阵:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) \quad (4)$$

根据模糊变换原理,便得模糊综合评价模型:

$$B = A \circ R = \{b_1, b_2, b_3, b_4\} \quad (5)$$

$$b_j = \bigvee_{i=1}^5 (a_i \wedge \gamma_{ij}) \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

式中:“ \circ ”是模糊矩阵的符合运算符合;“ \vee ”和“ \wedge ”表示取最大值和最小值;B 为综合评价的结果,它是评价等级集合 V 上的一个模糊子集。

3.2 建立单因素隶属函数

根据堆肥过程中,各种因素对堆肥进程的影响,将堆肥效果划分为 m 个等级标准,用这些标准可以逐个刻划各因素对各级标准的隶属度,隶属度是通过隶属函数计算得到的。因此,需要建立隶属函数,可以通过取线性函数来确定各级堆肥效果的隶属函数。本论文定义隶属函数如下:

第一级堆肥质量,即 j = 1 时,隶属函数为:

$$\gamma_{i1} = \begin{cases} 1 & x_i \geq s_{i1} \\ (x_i - s_{i1}) / (s_{i1} - s_{i2}) & s_{i2} < x_i < s_{i1} \\ 0 & x_i \leq s_{i2} \end{cases} \quad (7)$$

第二级堆肥质量,即 j = 2 时,其隶属函数为:

$$\gamma_{i2} = \begin{cases} 1 & x_i = s_{i2} \\ (x_i - s_{i3}) / (s_{i2} - s_{i3}) & s_{i3} < x_i < s_{i2} \\ (s_{i1} - x_i) / (s_{i1} - s_{i2}) & s_{i2} < x_i < s_{i1} \\ 0 & x_i \leq s_{i3}, x_i \geq s_{i1} \end{cases} \quad (8)$$

第三级堆肥质量,即 $j=3$ 时,其隶属函数为:

$$\gamma_{i2} = \begin{cases} 1 & x_i = s_{i3} \\ (x_i - s_{i4}) / (s_{i3} - s_{i4}) & s_{i4} < x_i < s_{i3} \\ (s_{i2} - x_i) / (s_{i2} - s_{i3}) & s_{i3} < x_i < s_{i2} \\ 0 & x_i \leq s_{i4}, x_i \geq s_{i2} \end{cases} \quad (9)$$

第四级堆肥效果,即 $j=4$ 时,其隶属函数为:

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq s_{i4} \\ (s_{i3} - x_i) / (s_{i3} - s_{i4}) & s_{i4} < x_i < s_{i3} \\ 0 & x_i \geq s_{i3} \end{cases} \quad (10)$$

当给定 x_i 后,可以用以上隶属函数求出 u_i 对各级堆肥效果的隶属度,从而可确定模糊评价矩阵 \tilde{R} 。

3.3 确定各因素权数分配

各因素的权数分配有多种确定方法,本论文采用“加权法”求单因素权数。对于不同堆肥效果,第 i 种因素 u_i 在不同的等级下有不同的值 $s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}$, 对其求平均值 \bar{s}_i , 即

$$\bar{s}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_{ij} \quad (11)$$

则取 $\omega_i = x_i / \bar{s}_i$ (或 $\omega_i = \bar{s}_i / x_i$, x_i 为第 i 种因素 u_i 的实测值) 作为因素 u_i 的权数。再对 ω_i 作归一化处理,

令:
$$a_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (12)$$

归一化的权数分配矩阵为:

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (13)$$

4 实例计算

已知在垃圾堆肥过程中,测得各评价参数数据^[7]如表2所示。根据隶属函数公式(7)、(8)、(9)和(10)写出各参数隶属函数,以 u_1 (高温期($\geq 55^\circ\text{C}$)持续时间)为例,如下所示。

$$v_1(\text{好}): \gamma_{11} = \begin{cases} 1 & x_1 \geq 7 \\ (x_1 - 5) / (7 - 5) & 5 < x_1 < 7 \\ 0 & x_1 \leq 5 \end{cases}$$

$$v_2(\text{较好}): \gamma_{12} = \begin{cases} 1 & x_1 = 5 \\ (x_1 - 4) / (5 - 4) & 4 < x_1 < 5 \\ (7 - x_1) / (7 - 5) & 5 < x_1 < 7 \end{cases}$$

$$v_3(\text{一般}): \gamma_{13} = \begin{cases} 1 & x_1 = 4 \\ (x_1 - 3) / (4 - 3) & 3 < x_1 < 4 \\ (5 - x_1) / (5 - 4) & 4 < x_1 < 5 \end{cases}$$

$$v_4(\text{差}): \gamma_{14} = \begin{cases} 1 & x_1 \leq 3 \\ (4 - x_1) / (4 - 3) & 3 < x_1 < 4 \\ 0 & x_1 \geq 4 \end{cases}$$

表2 各评价参数试验数据

评价参数	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
x_i (实测值)	4.5	42.57	0.3267	9.75	13.10

将表2中数据代入各级隶属函数得5个参数总的评价矩阵 R 和各因素的权数分配矩阵 A (各因素权数分配计算结果如表3所示)为:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.514 & 0.486 & 0 \\ 0 & 0.267 & 0.733 & 0 \\ 0 & 0.438 & 0.562 & 0 \\ 0.45 & 0.55 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} = (0.214 \quad 0.219 \quad 0.211 \quad 0.166 \quad 0.191)$$

表3 各因素权数分配计算结果

评价因素	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
x_i	4.5	42.57	0.3267	9.75	13.1
\bar{s}_i	4.75	41.25	0.35	13.25	15.5
$\omega_i = x_i / \bar{s}_i$ 或 $\omega_i = \bar{s}_i / x_i$	0.947	0.969	0.933	0.736	0.845
$a_i = \omega_i / \sum_{i=1}^n \omega_i$	0.214	0.219	0.211	0.166	0.191

故:

$$\begin{aligned} \tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} &= [(0.214 \wedge 0) \vee (0.219 \wedge 0) \vee (0.211 \wedge 0) \\ &\vee (0.166 \wedge 0) \vee (0.191 \wedge 0.45), \\ &(0.214 \wedge 0.5) \vee (0.219 \wedge 0.514) \vee \\ &(0.211 \wedge 0.267) \vee (0.166 \wedge 0.438) \vee \\ &(0.191 \wedge 0.55), \\ &(0.214 \wedge 0.5) \vee (0.219 \wedge 0.486) \vee \\ &(0.211 \wedge 0.733) \vee (0.166 \wedge 0.562) \vee \\ &(0.191 \wedge 0), \\ &(0.214 \wedge 0) \vee (0.219 \wedge 0) \vee (0.211 \wedge 0) \vee \\ &(0.166 \wedge 0) \vee (0.191 \wedge 0)] \\ &= [0.199, 0.219, 0.219, 0] \end{aligned}$$

为便于分析,将结果归一化可得:

$$\tilde{B} = (0.312, 0.344, 0.344, 0)$$

评价结果表明,试验堆肥样品“好”等级隶属度为0.312;“较好”等级隶属度为0.344,“一般”等级隶属度为0.344;“差”等级隶属度为0。“较好”等级以上隶属度为0.656,根据最大隶属度原则,评定试验堆肥样品等级为“较好”。

5 结语

应用模糊数学方法对堆肥质量进行综合评判时,考虑到堆肥质量分级界限的模糊性和影响因素权重,因而能较客观地反映堆肥质量状况,该法简便易行,结果较好,是对堆肥质量进行综合评价的有效方法。

(下转第93页)

家应用得比较成功和成熟。而在我国,已经有相当可观的住房抵押贷款的数据作为应用数据库挖潜技术的支撑。投资者等在学习西方经验的同时,应结合我国的实际进行分析,使投资决策科学化、准确化。

2)设计多样化的住房抵押贷款债券品种,来缓解提前支付所造成的影响。可考虑转付证券(pass-through security)、转手证券(pay-through security)、本金型证券(principal-only)和利息型证券(interest-only)这几种证券混合发行。在住房抵押债券的导入期,着重发行本金型证券,因为这种债券的收益率不受提前支付风险的影响;在成熟期,再推行其他几种债券,这样一方面可以充分体现证券市场的高风险高收益、低风险低收益的原则,实现提前支付风险在证券市场的合理转移;另一方面,可活跃住房抵押贷款债券的二级市场,增强市场的流动性,分散提前支付的风险。

对借款者而言,守信是有成本的,在提前还贷风险中,守信意味着必须承担相应的损失;从另一方面而言,不守信用也会给借款者带来成本,如受到法律的制裁和道德的谴责,或丧失社会的信任等。因此,如果守信的成本小于不守信的成本,显然借款人会选择守信;反之则相反。解决的方案可以从两方面来考虑:

1)降低守信的成本:如设置信用卡,即随着借款人守信时间的增加,消费信贷时或金融服务和个人理财方面给予优惠,也可以考虑在贷款后期,利率给予优惠。

2)加大不守信的成本:(1)加大对失信者的经济惩罚来减少“劣币驱逐良币”的现象,如可在贷款合同签订前,要求借款人提供一定的保证金,按信用的积累来逐步返还;(2)建立起诚信的道德观约束和法律的

制裁;(3)建立征信数据市场,使不守信信息充分公开和共享。

道德风险与逆向选择等信息不对称引起的问题会导致市场失灵或市场运行的低效率。市场参加者可以借助信息制造与信息传递使由于非对称信息而瘫痪的市场重新运转起来。上述的有关改善信息不对称状况的做法均借助于信息制造与信息传递方面的理论。

参考文献:

- [1] 陶长琪. 信息经济学[M]. 北京:经济科学出版社,2001.
- [2] 李曜. 资产证券化[M]. 上海:上海财经大学出版社,2001.
- [3] 黄淳,何伟. 信息经济学[M]. 北京:经济科学出版社,1998.
- [4] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海:上海人民出版社,1996.
- [5] (美)威廉姆. B. 布鲁格曼,杰夫瑞. D. 费雪. 房地产金融与投资[M]. 沈阳:东北大学出版社,2000.
- [6] 刘超,李有华,张昕. 住房抵押贷款证券化的风险因素探讨[J]. 商业研究,2003,(1):42-43.
- [7] 胡汝红. 我国住房抵押贷款证券化探析[J]. 国外建材科技,2004,(5):123-126.
- [8] 张顺,许辉. 构建相关制度体系 推动住房抵押贷款证券化[J]. 商业研究,2005,(2):108-109.
- [9] 黄小彪. 关于我国住房抵押贷款证券化信用增级的思考[J]. 中国房地产金融,2005,(2):11-13.
- [10] 丁成. 住房抵押贷款证券化中的提前支付风险分析[J]. 资本市场,2001,(6):27-29.
- [11] 王向荣. 信息不对称与我国保险市场的发展[J]. 辽宁财专学报,2000,(4):48-51.

(上接第89页)

参考文献:

- [1] GB7959-1987,粪便无害化卫生标准[S].
- [2] 国家科委社会发展科技司,建设部科技司. 城市垃圾处理技术推广项目[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [3] GB8172-87,城镇垃圾农用控制标准[S].
- [4] 陈世和,张所明. 城市垃圾堆肥原理与工艺[M]. 上海:复

旦大学出版社,1999.

- [5] 袁荣焕. 城市生活垃圾堆肥腐熟度综合评价指标与评价方法的研究[D]. 重庆:重庆大学,2004.
- [6] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其运用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2000.
- [7] 蔡华帅. 垃圾渗出液微生物循环接种强化堆肥通风供氧模式研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.