

猪粪及其堆肥不同水浸提比对种子发芽特性指标的影响

王定美, 武 丹, 李 季*, 张陇利

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要:以猪粪及其堆肥为供试样品,在水浸提比(W/V)1:10、1:20、1:30、1:40、1:50、1:60 的条件下,采用浸提液室内培养法,研究不同水浸提比对黄瓜、樱桃萝卜及大白菜种子发芽特性指标(相对发芽率、相对根长、发芽指数)的影响。结果表明,黄瓜种子的相对发芽率在不同水浸提比下均大于 80%;其他种子发芽特性指标随水含量的增多,均经历了明显的增大趋势。同一种子,相对根长受水浸提比的影响比相对发芽率显著,发芽指数与相对根长随水浸提比的变化规律一致。新鲜猪粪经堆肥处理对种子的植物毒性减轻,大白菜种子对猪粪及其堆肥的植物毒性较黄瓜种子与樱桃萝卜种子敏感。

关键词:水浸提比;相对发芽率;相对根长;发芽指数

中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)03-0579-06

Effects of Water Extraction Ratio of Pig Manure and Its Compost on Seed Germinative Indicators

WANG Ding-mei, WU Dan, LI Ji*, ZHANG Long-li

(College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Seed germination test is one of common methods to evaluate compost maturity for further land application. In this paper, we studied the effect of pig manure and its compost on seed germinative indicators of different vegetable seeds (cucumber, cherry radish and Chinese cabbage) at a series of water extractive ratios (1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50, 1:60, W/V). The results showed that the seed germinative indicators experienced a rapid increasing stage during the water extractive ratios of 1:10~1:60. However, the relative germination percentage of cucumber seeds, more than 80% at all experiments, was slightly affected by the water extractive ratios. The changes of germination index with water extractive ratios were in agreement with that of relative root elongation, meanwhile the relative seed germination was less obviously affected by water extractive ratios than relative root elongation. By comparison, the composting of pig manure could reduce its phytotoxicity, and Chinese cabbage was most sensitive to phytotoxicity.

Keywords: water extractive ratio; relative germination percentage; relative root elongation; germination index

种子发芽实验是通过测定植物毒性来判定堆肥是否腐熟的一种方法,由于其直观、可靠的特点,已被用作最常用的堆肥腐熟度检测方法之一^[1-4]。该方法常用蒸馏水或去离子水作为浸提剂来浸提待测样品,然后取浸提液培养植物种子一段时间后,观察并记录种子的发芽状况,以此来测度供试样品的植物毒性,进而判定堆肥的腐熟度。根据文献报道,已有许多植物种子被用于实验,如水芹、小麦、黄瓜、胡萝卜等,制备浸提液时的浸提比也不尽相同,以 1:5 与 1:10 居多;

但不同的植物种子对植物毒性的敏感程度不一样^[5-6],而且浸出物的量和种类也受到浸提条件如浸提温度、时间及浸提比例等的影响^[7-8],使得发芽实验用来评价堆肥腐熟度时可比性不强。目前国内也缺少系统的实验,研究不同种类的植物种子和浸提条件对种子发芽特性指标的影响及与堆肥腐熟度的关系。孔建松^[9]通过发芽率实验筛选出 3 种作物种子(水堇、水萝卜和黑麦草),作为评价污泥堆肥腐熟度的指示种子并确定其最佳浸提比(W/V)依次是:水堇 1:1~1:7.5,水萝

收稿日期:2010-08-18

基金项目:科技部“十一五”支撑计划项目(2006BAD10B09);2008 粤港关键领域重点突破项目(2009205200031);广东省 2008 年省部产学研结合项目(2008A090400001);农业部公益性行业科研专项(200803033);Chinese University Scientific Fund(2009-2-15)

作者简介:王定美(1986—),男,硕士研究生,主要从事有机废弃物资源化利用研究。E-mail:mywdm0911@163.com

* 通讯联系人:李 季 E-mail:ljji@cau.edu.cn

卜 1:1 和黑麦草 1:5。为了研究浸提比对种子发芽特性指标的影响,本文以猪粪及其堆肥为供试样品,以相对发芽率、相对根长、发芽指数为指标,研究在水浸提比(W/V)为 1:10、1:20、1:30、1:40、1:50、1:60 的条件下,浸提比对黄瓜、樱桃萝卜及大白菜种子发芽特性指标的影响,以为通过种子发芽实验检测堆肥腐熟度提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试样品

供试样品为新鲜猪粪和猪粪堆肥。新鲜猪粪取自中国农业科学院畜牧所种猪基地。猪粪堆肥来自北京沃土堆肥实验室,其堆肥方法是猪粪与锯末按 C/N 比 20:1 混合均匀,调节水分 50%,置于自制反应器中发酵 26 d。供试样品的基本性质见表 1。

表 1 供试样品的基本性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested samples

样品	含水率/%	TOC/g·kg ⁻¹	TN/g·kg ⁻¹	C/N
新鲜猪粪	62.4	327.0	23.2	14
猪粪堆肥	43.0	432.0	23.8	15

1.1.2 供试种子

供试种子为黄瓜(千春 2 号、千秋 1 号)、樱桃萝卜(樱桃美人)、大白菜(津绿 80)。其中,千春 2 号与千秋 1 号黄瓜种子和樱桃美人樱桃萝卜种子均购自北京嘉禾种业公司,津绿 80 大白菜种子购自北京科立昌农业研究所。

以上种子是从葫芦科、十字花科、禾本科和菊科等 9 个科的 27 个作物种子中,经 30 ℃、48 h 的暗箱培养条件下的发芽实验,具体操作方法同 1.2.1.1 中去离子水对照处理,观察比较种子发芽率、根的整齐度及根的易测量度后筛选出来的,这些种子在浸提剂去离子水中,发芽率均在 90%以上,根的形态特征及长度均便于测量。

1.2 方法

1.2.1 浸提液制备

供试样品与浸提剂去离子水按浸提比(W/V,以干质量计)1:10 混合,于频率可调的往复式水平振荡机上振荡 1 h,振荡频率 100 次·min⁻¹,振幅 40 mm,然后提取液在 3 000 r·min⁻¹下离心分离 20 min,取上清液经滤纸过滤得浸提液待用。采用同样的方法制备浸

提比为 1:20、1:30、1:40、1:50、1:60 的浸提液。

1.2.1 指标测定

1.2.1.1 生物学指标

把 2 张定性滤纸放入直径为 9 cm 培养皿中,然后均匀放置大小基本一致、饱满的供试种子 10 粒,用吸管吸取 5 mL 浸提液于培养皿中,以去离子水作对照,每个处理重复 3 次,在 30 ℃下,避光培养 48 h,统计发芽率和测量根长。按下列公式计算种子的相对发芽率(Relative Germination Percentage,*RGP*)和相对根长(Relative Root Elongation,*RRE*)及发芽指数(Germination Index,*GI*):

$$RGP(\%) = \frac{\text{处理中的平均发芽率}}{\text{空白中的平均发芽率}} \times 100$$
$$RRE(\%) = \frac{\text{处理中的平均根长}}{\text{空白中的平均根长}} \times 100$$
$$GI(\%) = \frac{RGP \times RRE}{100}$$

1.2.1.2 理化指标

含水率采用 105 ℃下烘干至恒重测定;有机碳采用磷酸浴外源加热重铬酸钾氧化法测定;全氮采用凯氏蒸馏法。

1.2.1.3 数据统计

应用 Excel 作图,SAS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 浸提比对相对发芽率的影响

不同种子的相对发芽率随猪粪及其堆肥浸提比的变化见图 1。从图 1 可知,千秋 1 号黄瓜种子在猪粪及其堆肥的各浸提比下,相对发芽率均为 100%;千春 2 号黄瓜种子的相对发芽率则均大于 80%,分别在浸提比 1:30 与 1:40 达到最大值 96.7%。各浸提比下,同一浸提条件下,千春 2 号黄瓜种子的相对发芽率比千秋 1 号黄瓜种子的低,说明千春 2 号黄瓜种子的萌发对猪粪及其堆肥植物毒性物质的敏感度比千秋 1 号黄瓜种子的高,也说明了即便是同一类植物种子(黄瓜种子),由于品种不同,其种子萌发对浸提液中植物毒性的敏感度也是不一样的。

樱桃萝卜种子的相对发芽率随水含量的增加,先呈上升趋势然后保持在一定水平基本不变。樱桃萝卜种子的相对发芽率在猪粪浸提比 1:10、1:20、1:30、1:40 下,均小于 50%,猪粪浸提液对该种子的萌发有较强抑制作用,浸提比 1:10 的相对发芽率仅为 3.3%,显著低于浸提比 1:20、1:30、1:40 的相对发芽率($P < 0.05$),依次是 36.7%、43.3%、43.3%,其间差别不显著

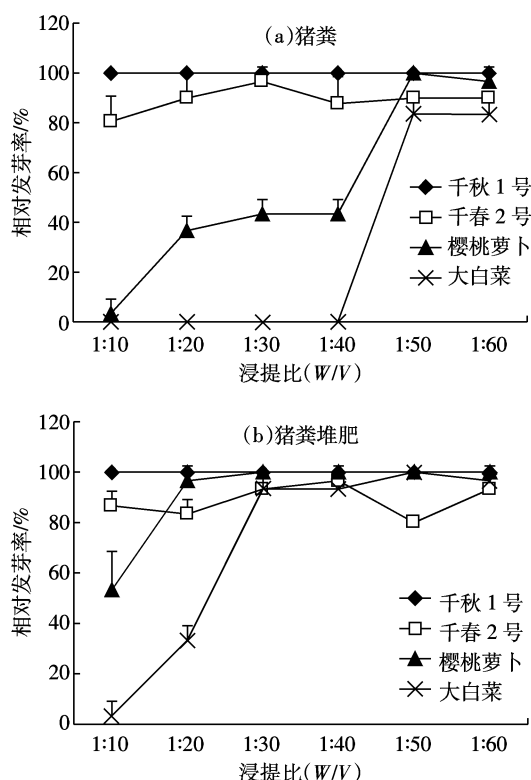


图1 猪粪(a)及其堆肥(b)不同浸提比下相对发芽率的变化

Figure 1 Relative germination percentage for different water extractive ratios of pig manure(a) and its compost(b)

($P>0.05$);当浸提比为 1:50、1:60 时,相对发芽率分别为 100.0%和 96.7%,两者之间差别不显著但显著高于其他浸提比($P<0.05$),此时猪粪浸提液对该种子萌发基本无抑制作用。在猪粪堆肥浸提液中,樱桃萝卜种子的相对发芽率除浸提比 1:10 时的相对发芽率为 53.3%,其他的浸提比相对发芽率均在 90%以上,浸提比 1:10 显著低于其他浸提比($P<0.05$),其他浸提比之间无显著差异($P>0.05$)。

大白菜种子的相对发芽率在猪粪浸提比 1:10~1:40 时,均为 0,其种子萌发受到新鲜猪粪浸提物质的强烈抑制作用;浸提比为 1:50 和 1:60 时,相对发芽率分别是 83.6%、83.3%,差别不显著($P>0.05$),抑制作用明显减轻。大白菜种子的相对发芽率随猪粪堆肥浸提比的变化规律与樱桃萝卜种子的类似,但其相对发芽率从浸提比 1:30 起才均在 90%以上。

综上所述,对比大白菜种子和樱桃萝卜种子在猪粪及其堆肥浸提液中的相对发芽率,同一浸提比下,樱桃萝卜种子均比大白菜种子大,说明这两种种子萌发对浸提液中的植物毒性物质敏感度为:大白菜种子大于樱桃萝卜种子。对比图 1(a)(b)两图,同一浸提比下,樱桃萝卜种子或大白菜种子,在猪粪堆

肥浸提液中的相对发芽率均比在猪粪浸提液中的高,说明猪粪经堆肥处理后能明显减轻对这两种种子萌发的抑制作用。

2.2 浸提比对相对根长的影响

不同种子的相对根长率随猪粪及其堆肥浸提比的变化见图 2。从图 2 可知,随着水含量的增加,千秋 1 号黄瓜种子在猪粪浸提液中的相对根长,呈上升趋势:各浸提比之间,除浸提比 1:30 和 1:40 之间无显著差异外,其他浸提比之间差异显著($P<0.05$);猪粪堆肥浸提液对千秋 1 号黄瓜种子相对根长的影响,从浸提比 1:10 至 1:30,相对根长由 55.4%快速升高至 97.8%,各浸提比间差异显著($P<0.05$),然后维持在 100%左右,差异不显著($P>0.05$)。

千秋 2 号黄瓜种子的相对根长随着浸提剂的增加,先升高后降低。在猪粪浸提液中,以浸提比为 1:50 最大,为 75.6%,且各浸提比之间差异显著($P<0.05$),受浸提比的影响显著。猪粪堆肥浸提液中,千秋 2 号种子相对根长的变化规律随水含量的增加,先升高后降低,最后又上升:浸提比 1:10 相对根长为 19.9%,根生长受到强烈抑制,之后相对根长快速上升至浸提比 1:30 时的 102.9%,受浸提比的影响显著($P<0.05$);浸

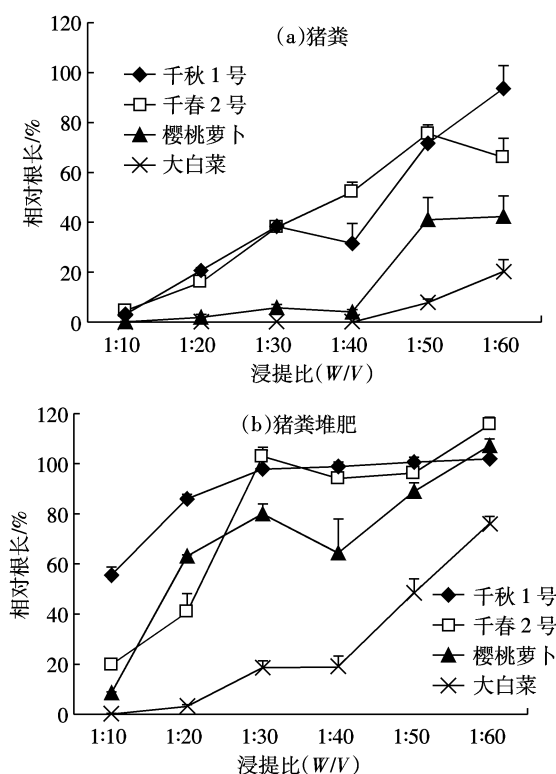


图2 猪粪(a)及其堆肥(b)不同浸提比下相对根长的变化

Figure 2 Relative root elongation for different water extractive ratios of pig manure(a) and its compost(b)

提比 1:40 和 1:50 时相对根长略为下降,分别为 94.1% 和 96.3%,两者差别不显著($P < 0.05$),浸提比 1:60 则为 115.5%,显著高于其他浸提比($P < 0.05$),根生长得到促进。

樱桃萝卜种子在猪粪浸提液中的相对根长随着水含量的增加,在浸提比 1:10 至 1:40 缓慢上升,且相对根长均小于 10%,根生长受到强烈抑制作用;然后是快速上升至浸提比 1:50 和 1:60 时的 41.1% 和 42.3%,显著高于其他浸提比($P < 0.05$),抑制根生长的作用明显减轻;在猪粪堆肥浸提液中,随着水含量的增加,樱桃萝卜种子的相对根长的变化规律与千春 2 号黄瓜种子的相对根长在猪粪堆肥浸提液中的变化规律一致:浸提比 1:30 出现第一个峰值,为 80%,之后略为下降后,再上升,直至在浸提比 1:60 时达到 107.2%,无抑制作用。

随着水含量的增加,大白菜种子在浸提液中相对根长呈增大趋势,其在浸提比 1:10 与 1:20 的猪粪及其堆肥浸提液中的相对根长均小于 5% 且无显著差别($P > 0.05$),浸提比 1:30 至 1:60,猪粪堆肥显著高于猪粪($P < 0.05$),说明在本实验条件下浸提比 1:10 与 1:20,均对大白菜种子的根生长有强烈抑制作用。大白菜种子在猪粪及其堆肥均在浸提比 1:60 时达到最大相对根长,分别为 20.2% 与 76.1%,猪粪浸提液对大白菜种子的根生长抑制作用明显,而猪粪堆肥浸提液对大白菜种子根生长的抑制作用显著减轻。说明猪粪经堆肥处理后,植物毒性明显减轻。

2.3 浸提比对发芽指数的影响

发芽指数是 Zucconi 等^[10-11]最早提出的,该指标不仅考虑了浸提液中植物毒性物质对相对发芽率的影响,还考虑了植物毒性物质对相对根长的影响,能有效反映堆肥植物毒性的大小。4 种种子在猪粪及其堆肥的不同浸提比下,发芽指数变化见图 3。对比图 2 可知,发芽指数在猪粪及其堆肥浸提液中,随水含量增加的变化规律与其对应种子的相对根长的变化规律是一致的。

一般地,发芽指数大于 50% 就认为对种子基本无毒性,当发芽指数大于 80% 就认为对种子没有毒性^[11-12]。千秋 1 号黄瓜种子在猪粪堆肥浸提比 1:10 的发芽指数为 55.4%,说明浸提液中植物毒性物质对种子基本无毒性,浸提比 1:20 时其发芽指数已达 86.0%,说明浸提液中植物毒性物质对种子无毒性;其他浸提比下发芽指数均在 100% 左右。千秋 1 号黄瓜种子在猪粪浸提比 1:40 之前均小于 50%,浸提液对

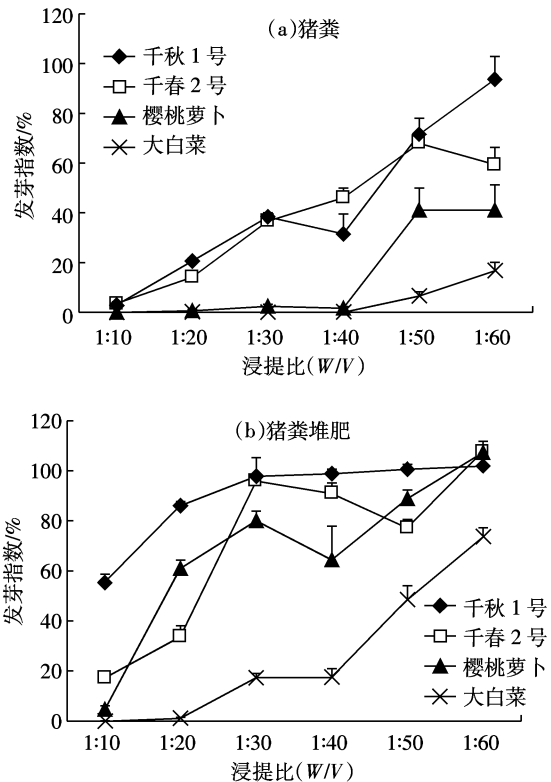


图 3 猪粪(a)及其堆肥(b)不同浸提比下发芽指数的变化

Figure 3 Germination index for different water extractive ratios of pig manure(a) and its compost(b)

供试种子存在植物毒性,在浸提比 1:50 和 1:60 时,发芽指数分别为 71.6% 和 93.8%,浸提液对供试种子的植物毒性逐渐消失。综上可知,本实验条件下猪粪在浸提比 1:60、猪粪堆肥在浸提比 1:20~1:60,对千秋 1 号黄瓜种子完全无植物毒性作用。同理,猪粪堆肥在浸提比 1:30、1:40、1:60 与 1:30、1:50、1:60 对千春 2 号黄瓜种子与樱桃萝卜种子无植物毒性作用;大白菜种子则在浸提比 1:60 发芽指数达到最大,为 73.5%,浸提液对其仍有轻微的植物毒性。在猪粪浸提液中,千春 2 号黄瓜种子、樱桃萝卜种子、大白菜种子的发芽指数均未达到 80%,各浸提液对其的植物毒性未能完全消除;比较此三者在同一浸提比下的发芽指数,除浸提比 1:10 外,均为千春 2 号黄瓜种子 > 樱桃萝卜种子 > 大白菜种子,说明此 3 种种子对新鲜猪粪的植物毒性的敏感度依次增大。

3 讨论

植物毒性物质对种子的毒害作用与浸提比之间的关系并不是绝对的。本实验中,依次设置了 1:10、1:20、1:30、1:40、1:50、1:60 这 6 个浸提比,浸提物的含

量随浸提比依次减少,但各种子的发芽特性指标所表现出的毒害效应并未都随之依次减小。如千春2号黄瓜种子在猪粪及其堆肥浸提液中相对发芽率、相对根长和发芽指数随浸提比的变化是先升高然后再减低。这可能是与此类种子对猪粪及其猪粪堆肥存在适宜的生长浸提比范围或敏感点有关,宁桂兴等^[12]研究亦表明了这一点。

不同种子对植物毒性的敏感度是不一样的,即使同一植物种子不同品种间也有差异,如:(1)本研究中,在浸提条件一致的前提下,4种植物种子的相对发芽率均存在不同程度的差别;(2)黄瓜千秋1号和千春2号这两个品种在猪粪及其堆肥浸提液中的相对发芽率的差别:千秋1号为100%,千春2号则在80%~100%不等。即便是同一种子,不同的发芽特性指标对植物毒性的敏感度也有差别。本研究中,对于同一种子,在同一浸提物质(猪粪或其堆肥)和浸提比下,相对发芽率均不小于相对根长,根生长要比发芽率对植物毒性物质更敏感,与Fuentes et al^[13]报道的研究结果一致。这也是造成种子发芽指数随浸提比的变化规律与相对根长随浸提比的变化规律基本一致的原因之一。

本研究可为通过种子发芽实验检测堆肥腐熟度提供科学依据。然而,种子发芽特性指标的测定结果受浸提比、种子类别、堆肥原料等多种因素的影响,关于堆肥腐熟度评价的问题一直没有形成一致的看法。为了确保堆肥使用后对作物无害,故建议:(1)通过大范围不同种子的发芽实验,系统检测植物种子对不同原料堆肥毒性的敏感度,选择敏感性较高的植物种子作为堆肥腐熟度指示种子并建立基于该种子发芽试验的检测标准方法,包括固液比、种子密度、培养时间等的确定;(2)或者在统一的标准方法下进行针对不同作物的发芽实验,并在堆肥产品腐熟度标识中注明适用的种子。

4 结论

随水含量的增加,黄瓜种子的相对发芽率均大于80%,受浸提比的影响不明显;樱桃萝卜种子的相对发芽率先上升后保持在约100%的水平;大白菜种子在猪粪浸提液中的相对发芽率在浸提比1:10~1:40均为0,浸提比1:50与1:60则分别为83.6%与83.3%,其在猪粪堆肥浸提液中相对发芽率的变化规律与樱桃萝卜种子类似。

相对根长受浸提比的影响比相对发芽率显著。随

着水含量的增多,各种子的相对根长先呈增大趋势;之后,千春2号黄瓜种子在猪粪浸提比1:50达到最大值75.6%,大白菜种子在猪粪浸提比1:10~1:40均为0,千秋1号黄瓜种子在猪粪堆肥浸提比1:30~1:60维持在约100%的水平,千春2号黄瓜种子与樱桃萝卜种子略微下降后上升,在浸提比1:60达到最大,大白菜一直呈上升趋势。发芽指数随浸提比的变化与相对根长随浸提比的变化是一致的。

不同种子的发芽特性指标受浸提比的影响是不一致的。同一浸提比下,同一种子在猪粪浸提液中的发芽指数均不大于在猪粪堆肥浸提液中的发芽指数,新鲜猪粪经堆肥处理对种子的植物毒性减轻。同一浸提样品及浸提比下,大白菜种子的发芽指数均不大于黄瓜种子与樱桃萝卜种子的发芽指数,大白菜种子对猪粪及其堆肥的植物毒性较黄瓜种子与樱桃萝卜种子敏感。

参考文献:

- [1] 吴春芳. 白龙港污泥高温好氧堆肥腐熟度指标的探讨[D]. 上海: 同济大学, 2007:19-23.
WU Chun-fang. The research of aerobic compost maturity indicators of bailonggang sludge[D]. Shanghai: Tongji University, 2007:19-23.
- [2] 香港有机资源中心. 堆肥质量标准(适用于作有机肥料及土壤改良剂的堆肥)[S]. 2005.
Hongkong Organic Resource Centre. Compost and soil conditioner quality standards[S]. 2005.
- [3] 顾卫兵, 乔启成, 杨春和, 等. 有机固体废弃物堆肥腐熟度的简易评价方法[J]. 江苏农业科学, 2008(6):258-259.
GU Wei-bing, QIAO Qi-cheng, YANG Chun-he, et al. The simple maturity evaluation methods of organic solid waste compost[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2008(6):258-259.
- [4] 黄国锋, 吴启堂, 孟庆强, 等. 猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2002, 23(3):1-4.
HUANG Guo-feng, WU Qi-tang, MENG Qing-qiang, et al. Substance changes and maturity evaluation during pig manure composting[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2002, 23(3):1-4.
- [5] 汤江武, 吴逸飞, 薛智勇, 等. 畜禽固废弃物堆肥腐熟度评价指标的研究[J]. 浙江农业学报, 2003, 15(5):293-296.
TANG Jiang-wu, WU Yi-fei, XUE Zhi-yong, et al. Study on evaluation index of maturity of livestock and poultry solid wastes[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2003, 15(5):293-296.
- [6] A S F ARAÚJO, F K SAHYOUN, R T R MONTEIRO. Evaluation of toxicity of textile sludge compost on seed germination and root elongation of soybean and wheat[J]. *Ecossistema*, 2001, 2(26):117-119.
- [7] 王璞, 赵秀. 浸提条件对小麦秸秆中化感物质检测结果的影响[J]. 植物学通报, 2001, 18(6):735-738.
WANG Pu, ZHAO Xiu. The effect of extracting condition on the analysis result of allelochemicals in wheat straw[J]. *Bulletin of Botany*, 2001,

- 18(6):735-738.
- [8] 李雪梅, 陈育如, 骆跃军, 等. 烟草废料中多酚类物质的浸提条件研究[J]. 高校化学工程学报, 2006, 20(2):315-318.
- LI Xue-mei, CHEN Yu-ru, LUO Yue-jun, et al. Study on leaching conditions of polyphenols from tobacco residues[J]. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 2006, 20(2):315-318.
- [9] 孔建松. 种子发芽率评价堆肥腐熟度的方法学研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- KONG Jian-song. Methodological study on evaluation of compost maturity by seed germination rate[D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [10] Zucconi F, Pera A, Forte M, et al. Evaluating toxicity of immature compost[J]. *Biocycle*, 1981, 22:54-57.
- [11] Zucconi F. Biological evaluation of compost maturity[J]. *Biocycle*, 1981, 22:27-29.
- [12] Riffaldi R, Levi-Minzi R, Pera A, et al. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses[J]. *Waste Management and Research*, 1986, 4:387-396.
- [13] 宁桂兴, 高良敏, 钱 新, 等. 有机肥料适宜种子生长的配比和敏感点的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1):93-95.
- NING Gui-xing, GAO Liang-min, QIAN Xin, et al. Study on dilute proportion and sensitive point of organic fertilizer fitting for seed growth [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(1):93-95.
- [14] Fuentes A, Llorens M, Saez J, et al. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilized sewage sludges[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 108(3):161-169.