

## 餐厨垃圾转化为生物肥料的探索研究

王娅亚<sup>1</sup>, 薛飞燕<sup>1</sup>, 王有年<sup>1</sup>, 师光禄<sup>1</sup>, 陈必强<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>北京农学院/农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 102206;

<sup>2</sup>北京化工大学/北京市生物加工过程重点实验室, 北京 100029)

**摘要:**为了解决餐厨垃圾回收处理难等问题,探索餐厨垃圾资源化利用,以学校食堂餐厨垃圾作为研究对象,经过固液粗分后,重点研究了废液发酵培养粘红酵母获得菌体的可行性,最后以大豆为试验材料,分别研究了固体垃圾和发酵菌体作为生物肥料的肥效。试验结果表明,粘红酵母可以利用餐饮废水,最佳发酵时间24 h时获得菌体干重12 g/L;粘红酵母最适宜生长pH为5.5;固体垃圾和发酵菌体对幼苗期大豆豆苗的生长有一定的促进作用,按照每公顷的最佳施用量为450 kg。

**关键词:**餐厨垃圾;粘红酵母;生物肥料

中图分类号:S144.9

文献标志码:A

论文编号:2012-0235

### Study on Bio-fertilizer Production from Restaurant Wastes

Wang Yaya<sup>1</sup>, Xue Feiyan<sup>1</sup>, Wang Younian<sup>1</sup>, Shi Guanglu<sup>1</sup>, Chen Biqiang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Beijing University of Agriculture/Key Laboratory of Urban Agriculture (North) of Ministry of Agriculture of P. R. China,

Beijing 102206, China;<sup>2</sup>Beijing University of Chemical Technology/Beijing Key Lab of Bioprocess,

College of Life Science and Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Exploring food waste recycle as a starting point and the cafeteria food waste was the research object in this paper. After solid-liquid separation, the feasibility of cultivation fermentation of *Rhodotorula glutini* in the waste liquid and obtaintion of the bacteria had been studied. At last, the efficiency of biological fertilizer including soild waste and fermentation bacteria had been researched in soybean. The results showed that, *Rhodotorula glutini* could make use of food waste. The dry weight of bacteria was 12 g/L when it had been fermented 24 h in optimal level. The pH value of 5.5 was the best conditions. Moreover, solid waste and bacteria could promoted the growth of soybean shoots when use 450 kg per 1 hm<sup>2</sup>.

**Key words:** Food Waste; *Rhodotorula glutini*; Bio-fertilizer Production

### 0 引言

餐厨垃圾通常是指餐饮单位、集体食堂、居民家庭等产生的厨余、废弃或过期的食物及食用油脂等,包括糖、纤维、半纤维、脂肪、蛋白质、本质素等物质,含有丰富的营养<sup>[1]</sup>。近代随着经济的发展以及人们生活水平的提高,中国生活垃圾的产生量持续增加,其中餐厨垃圾的比例约37%~62%<sup>[2-7]</sup>。据统计,中国每天餐厨垃圾

的产生总量超过20000 t,国内主要城市的餐厨垃圾产生量均已超过1000 t/天,其中北京高达1600 t/天,上海达1300 t/天,一些中小城市如呼和浩特市也达到130 t/天<sup>[8-10]</sup>。餐厨垃圾产量的持续增加,成分的复杂,使得长期存在的餐厨垃圾处置难的问题越来越突出,因此如何合理回收处置餐厨垃圾并使之高效资源化就显得十分迫切和必要,并成为国内外研究餐厨垃圾处理的热点<sup>[11]</sup>。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31101509);北京市自然科学基金重点项目(5111001);北京市自然科学基金项目(6092007);北京市教委重点项目(KZ201010020016);北京市教委平台建设项目(PXM2012\_014207\_000014;PXM2012\_014207\_000028;PXM2012\_014207\_000016);北京市教委科技成果转化与产业化(PXM2011\_014207\_000026);北京市科委科研计划项目(Z111100066111009);北京市自然科学基金资助项目(6122005)。

**第一作者简介:**王娅亚,女,1988年出生,山西运城人,硕士,研究方向为果品优质生态安全。通信地址:北京市昌平区北农路7号北京农学院, E-mail: wyydream@163.com。

**通讯作者:**王有年,男,1951年出生,北京人,教授,博士生导师,硕士,研究方向为植物源农药。通信地址:北京市昌平区北农路7号北京农学院, Tel: 010-80797225, E-mail: wyn1951@126.com。

**收稿日期:**2012-05-28,修回日期:2012-07-15。

近年来,生物科技发展迅速,生物技术产品在农业生产方面得到了广泛的应用,生物肥料尤其发挥了不可替代的作用。生物肥料在农业生产中具有培肥地力、活化土壤、促进土壤主要营养元素的有效化、提高作物品质和产量的特点,微生物肥料的应用,是今后农业可持续发展的必由之路<sup>[12]</sup>。蒲红艳<sup>[13]</sup>通过生物降解法对餐厨垃圾进行处理,筛选出高效餐厨垃圾降解菌,并对其进行鉴定,对生物降解餐厨垃圾的厌氧工艺进行了优化研究;孙营军等<sup>[9]</sup>提出了餐厨垃圾发酵生物制氢研究的发展方向。餐厨垃圾含有丰富的营养,利用微生物对餐厨垃圾进行降解获得生物肥料,不但可以避免环境污染、改善生活的环境,还对发展绿色农业,促进中国的可持续农业生产发展有着十分重要的作用<sup>[14]</sup>。基于以上研究背景,笔者采用餐厨垃圾作为原料,首次研究报道了利用粘红酵母发酵餐饮废水转化为生物肥料的可行性,以期餐厨垃圾的资源利用化提供新的发展方向。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

出发菌株为粘红酵母(*Rhodotorula glutinis*),由北京化工大学谭天伟教授惠赠;餐厨垃圾取自北京农学院二食堂;大豆品种为‘远杂9105’,源自北京农学院作物育种系。

葡萄糖、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、酵母粉、氨水、三氯甲烷等购于北京化工厂;复合肥为N、P、K各15%的复合肥,由河北保定森旺公司提供。

5 L 发酵罐(上海保兴生物设备有限公司)SBA-40D生物传感器、人工气候室、高速冷冻离心机。

### 1.2 试验设计

1.2.1 餐厨垃圾的预处理 从食堂收集一定量餐厨垃圾,进行过滤操作。分离出的固体垃圾放入烘箱中,80℃条件下烘烤,直至水分完全蒸发。过滤后的废水用三氯甲烷进行油脂萃取工作,下层为氯仿和油脂的混合物,上层为餐饮废水,分离出餐饮废水,进行二次萃取操作后于4℃条件保存。

1.2.2 粘红酵母发酵餐饮废水获得发酵菌体(废水发酵产物) 移取3 L二次萃取后餐饮废水,补加葡萄糖30 g/L,灭菌后按照10%的接种量接入粘红酵母发酵,发酵温度为30℃,发酵过程中定时测定发酵液生物量等参数的变化。发酵结束后离心获得菌体,放入烘箱中,80℃条件下烘烤,直至水分完全蒸发<sup>[15-17]</sup>。

1.2.3 生物肥效的测定 将废水发酵产物、烘干后的固体垃圾及复合肥用高速粉碎机粉碎。实验分为3组:

废水发酵产物、固体垃圾及复合肥、选用大豆‘远杂9105’品种作为试验材料,用蛭石作为盆栽基底,并加入聚天门冬氨酸作为辅助,来测定其肥效。试验肥料用量设3个等级,分别为每盆施用量0.5 g、2.5 g、12.5 g(即按照每公顷的施用量分别为450 kg、2250 kg和11250 kg)。设置5个平行盆栽样,每个平行样里播种10颗种子,出苗后定苗为5株,在大豆幼苗期间进行株高等参数的测定。

### 1.3 测定项目

1.3.1 菌体干重 取8 mL发酵液离心、水洗烘干至恒重后用质量差法测定。

1.3.2 茎粗 用游标卡尺测定。

1.3.3 株高 用尺子进行测定<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 粘红酵母(*Rhodotorula glutinis*)处理餐饮废水

餐饮废水通常采用物理、化学和生物技术3种方法进行处理。物理化学方法虽然在一定程度上取得了成效,但其还存在许多不足之处,如运行费用高、易造成二次污染等<sup>[19-22]</sup>。随着生物技术的发展,利用生物方法处理餐饮废水的研究也日益增多。如范立梅<sup>[23]</sup>的生物接触氧化法对餐饮废水的处理以及韩德军<sup>[24]</sup>对餐饮废水中的微生物降解技术的初步探究等,且生物法具有比较安全、无刺激,且易繁衍驯化等优点。

粘红酵母(*Rhodotorula glutinis*)可以利用味精废水、淀粉废水等废水中较为丰富C源、N源,从而转化为菌体及胞内内含物,且粘红酵母具有很强的耐高浓度硫酸盐的特性,可用于处理含高浓度硫酸盐的有机废水<sup>[15-17]</sup>。餐饮废水成分复杂,所以选用粘红酵母处理餐饮废水。

2.1.1 粘红酵母废水发酵产生生物量干重的变化 由图1知pH 5.0和pH 5.5时,菌体干重变化趋势大体一致。菌体干重所呈现的趋势为:0~12 h在经过对新环境适应后,废水培养基的通气量、pH都较能符合粘红酵母的增殖条件,粘红酵母数量持续快速增加,菌体干重持续累积。12~24 h菌体干重增加趋势减缓,而24~34 h 10个小时时间段中,虽菌体干重有小幅增加,但菌体干重平均仅增加2 g/L,从市场和经济利益角度出发,24 h为发酵最佳时间。而在34 h后,营养成分不足,酵母菌生存条件下降,酵母菌数量保持相对稳定,生物量不再增加,菌体干重保持相对平衡。

2.1.2 pH对菌体干重的影响 由图1可知,相比废水培养基pH 5.0的条件,pH 5.5更适宜粘红酵母生长。pH 5.5条件下,粘红酵母在废水中发酵产生的菌体干重比pH 5.0提高了36.7%,在发酵最佳时间24 h时,菌体干

重可达 12 g/L。

### 2.1.3 葡萄糖浓度、乳酸浓度、pH 及溶氧量(DO)的变

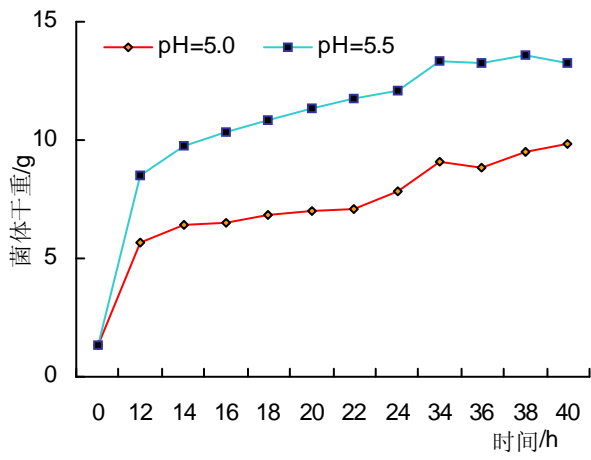
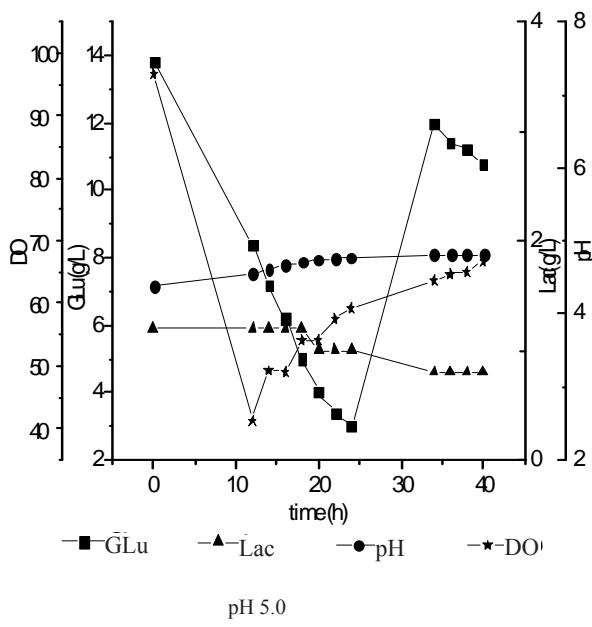


图1 粘红酵母在不同 pH 废水中产生生物量 (菌体干重)的变化趋势图



化 由图2可知,在 pH 5.0 和 pH 5.5 条件下,发酵过程中各参数变化趋势基本一致。由图1、2可知,在整个发酵过程中,是否进行葡萄糖的补料操作对菌体生物量变化影响不大。乳酸浓度呈现逐渐下降的趋势,在一定程度上说明粘红酵母可以利用乳酸的可能性;pH 呈现逐渐上升趋势,原因可能是因为粘红酵母利用废水中营养物质,产生的代谢产物中存在呈碱性的物质,该原因为乳酸浓度下降提供了另外一种解释的可能;溶氧量的变化趋势和菌体干重的变化趋势大体相反,呈现先降而后趋于稳定,前期的下降趋势是因为生物量的积累,导致粘红酵母耗氧量增加。

### 2.2 肥效测定

2.2.1 3 种不同肥料处理对豆苗茎粗的影响 由表1可知,整体而言,无论是同种肥料不同等级梯度的处理,还是不同肥料相同等级梯度的处理对大豆茎粗的影响作用都不明显,各个处理,之间没有明显差异。

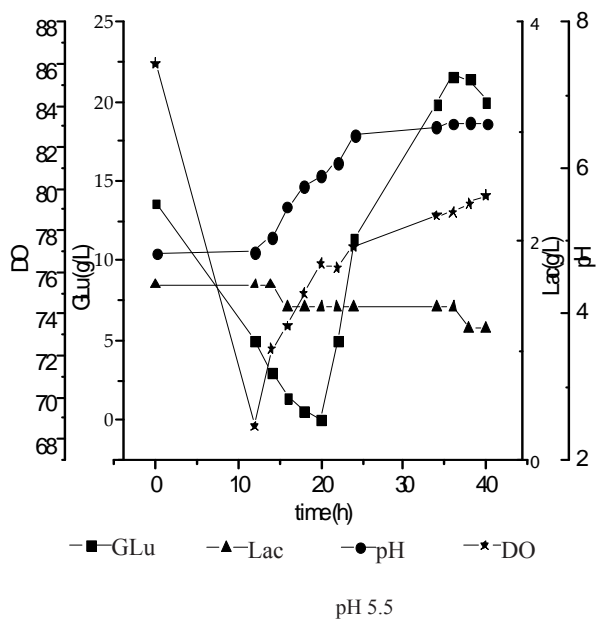


图2 粘红酵母处理餐饮废水

### 2.2.2 3 种不同肥料处理对豆苗株高的影响

(1)同种肥料3种不同等级梯度处理对豆苗株高的影响。从图3~5可知,废水发酵产物3种等级梯度处理之间差别较为明显,对幼苗期豆苗生长促进作用影响表现为 0.5 g>12.5 g>2.5 g; 固体垃圾 0.5 g 和 2.5 g 差异表现不明显,但二者影响作用均>12.5 g; 复合肥处理为 0.5 g>2.5 g>12.5 g。整体而言,0.5 g 处理效果最好。建议施用肥料时施用 0.5 g,即每公顷施用量为 450 kg。而 2.5 g、12.5 g 处理浓度过大,不但造成资源浪费,还有导致施肥量过大可能,出现肥害现象,从而

对豆苗生长造成一定负面影响<sup>[25]</sup>。

(2)同种等级梯度3种不同肥料处理对豆苗株高的影响。由图6可知,0.5 g 梯度下,3种肥料处理之间作用差异不明显,但至试验完成29天时复合肥的处理效果最差。由图7可知,2.5 g 梯度下,3种肥料处理后固体垃圾处理效果最好,其次为废水发酵产物,最后为复合肥。由图8可知,经由废水发酵产物和固体垃圾处理后的豆苗株高明显高于复合肥的处理。由此可知,废水发酵产物和固体垃圾二者对幼苗期豆苗的生长促进影响效果强于复合肥。

表1 3种不同类型处理对豆苗茎粗的影响

组别	用量/g	7 d	10 d	13 d	16 d	19 d	22 d	25 d	29 d
废水发 酵产物	0.5	2.04±0.015ab	2.00±0.026abc	2.18±0.024bc	2.35±0.048a	2.43±0.055ab	2.49±0.028a	2.50±0.062a	2.49±0.075a
	2.5	1.98±0.019bcd	1.93±0.022d	2.07±0.048d	2.26±0.027ab	2.41±0.039ab	2.21±0.038b	2.05±0.083d	2.40±0.041a
	12.5	2.02±0.013abc	1.90±0.030d	2.12±0.017cd	2.19±0.052b	2.29±0.028ab	2.30±0.073ab	2.28±0.073abcd	2.51±0.073ab
固体 垃圾	0.5	1.95±0.021cd	2.02±0.019ab	2.29±0.015a	2.37±0.044a	2.48±0.046a	2.43±0.107a	2.49±0.038ab	2.45±a.062
	2.5	2.05±0.024ab	2.02±0.024ab	2.31±0.018a	2.38±0.035a	2.46±0.047ab	2.40±0.070ab	2.39±0.094abc	2.44±0.074a
	12.5	1.91±0.023d	1.93±0.022d	2.26±0.027ab	2.27±0.082ab	2.26±0.064b	2.30±0.033ab	2.25±0.063bcd	2.30±0.091ab
复合肥	0.5	2.05±0.028ab	1.98±0.018bcd	2.20±0.032abc	2.28±0.066ab	2.36±0.028ab	2.34±0.036ab	2.22±0.107cd	2.17±0.035b
	2.5	2.09±0.020a	2.04±0.037a	2.25±0.047ab	2.32±0.038ab	2.39±0.099ab	2.44±0.062a	2.32±0.053abc	2.42±0.065a
	12.5	1.92±0.045d	1.94±0.026cd	2.03±0.066d	2.31±0.024ab	2.28±0.077ab	2.40±0.056ab	2.31±0.072abc	1.51±0.055c

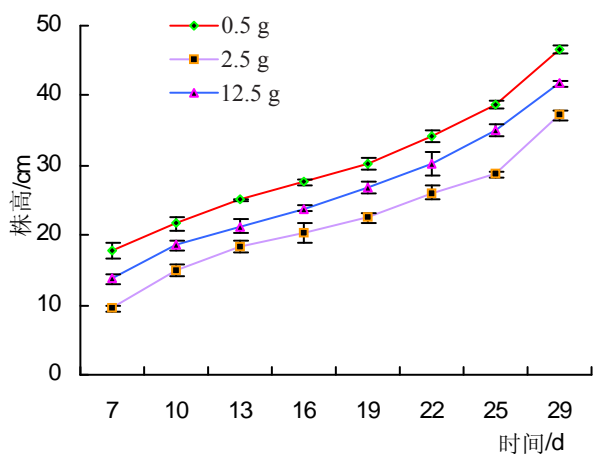


图3 废水发酵产物3种等级梯度处理后豆苗株高变化趋势图

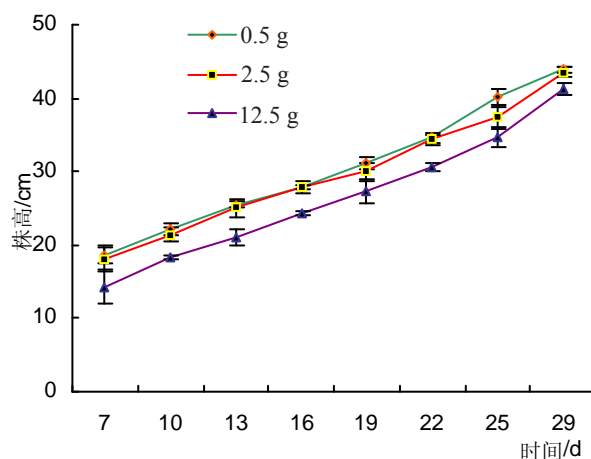


图4 固体垃圾3种等级梯度处理后豆苗株高变势图

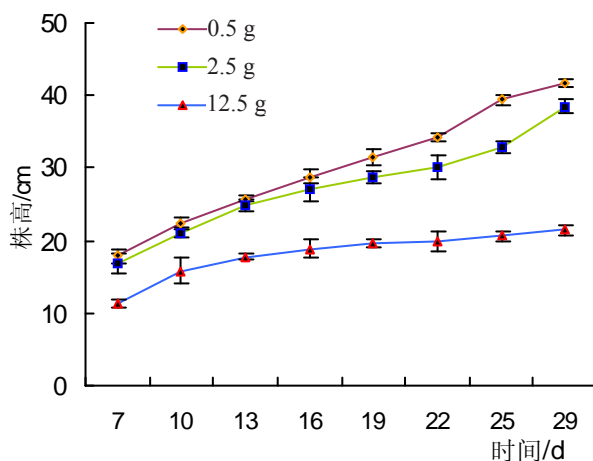


图5 复合肥3种等级梯度处理后豆苗株高变化趋势图

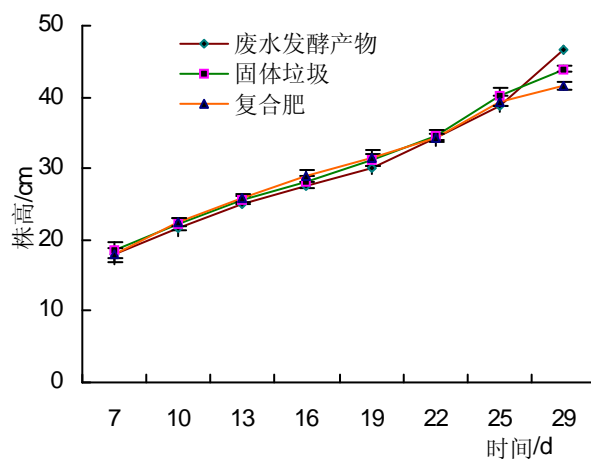


图6 3种肥料0.5 g等级梯度处理后豆苗株高变化趋势图

### 3 结论与讨论

前人已经研究证明粘红酵母可以利用味精废水、淀粉废水等废水中的营养物质,而且 Chigusa<sup>[26]</sup>、吕文洲<sup>[27]</sup>、郑少奎<sup>[28]</sup>分别用酵母菌处理豆油加工废水、高浓度含油废水和色拉油加工废水,经研究都证明粘红酵

母也可以降解油脂,即可以利用废水中的油脂作为能源。而餐饮废水的成分复杂,且由于其本身的特殊性,其油脂含量较高,笔者研究探索证实了粘红酵母可以发酵餐饮废水,且对粘红酵母发酵废水培养基的最适生长pH探索发现,pH 5.5时其生长最好。



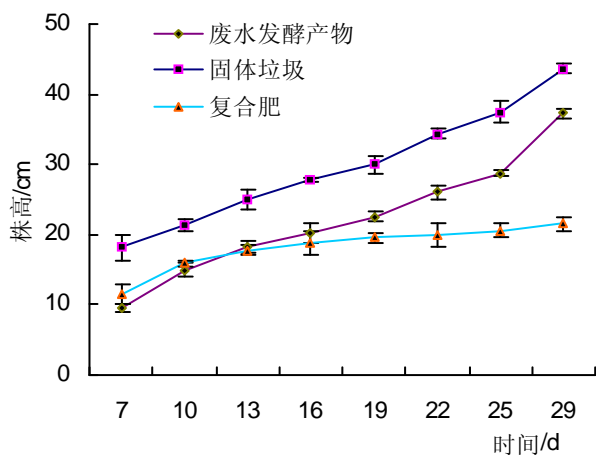


图7 3种肥料2.5 g等级梯度处理后豆苗株高变化趋势图

大量的科研试验已证明,生物肥料在农业生产中的作用较明显。如汤江武<sup>[29]</sup>、吴富强<sup>[30]</sup>等分别以茄子、黄瓜作为试验材料,通过测定其株高等参数,分别证明了活灵生物肥料、葛根菌糠生物有机肥都有促进生长的作用。然而前人研究的有机肥都为生产厂家直接提供,本研究为实验室利用粘红酵母处理餐厨垃圾得到的微生物肥料,同样测定生长参数株高与茎粗,探索研究了餐厨垃圾转化成为的生物肥料具有一定的生物肥效。

笔者研究表明,用粘红酵母发酵餐饮废水,使其转化为生物肥料具有可行性。采用粘红酵母在好氧条件下处理餐饮废水最佳发酵时间是在24 h左右,菌体干重达12 g/L,最适宜生长pH 5.5;且固体垃圾和发酵产物都具有一定肥效,按照每公顷施用量为450 kg的标准对豆苗幼苗期的生长作用效果最好。

餐厨垃圾减量化、无害化、资源化是今后餐厨垃圾处理的发展方向。笔者本着这一原则,使餐厨垃圾达到了有效的资源化利用,有一定的市场潜力和社会经济价值。然而关于粘红酵母处理餐饮废水的其他发酵条件还需进一步探索优化,以期使餐厨垃圾的资源化利用程度达到最大。

### 参考文献

- [1] 张龙生,刘拓.餐厨垃圾生产生物柴油现状及对策[J].环境卫生工程,2009,17(6):50-52.
- [2] 张保霞,付婉霞.北京市餐厨垃圾产生量调查分析[J].环境科学与技术,2010,33(12F):651-654.
- [3] 王莉,刘应宗.城市餐厨垃圾分级回收处理模式探索[J].西北农林科技大学学报:社会科学版,2009,9(3):110-114.
- [4] 涂强楠.餐厨垃圾有机肥料生产问题分析[J].南昌大学学报:工科版,2009,31(4):406-408.
- [5] 吕凡,何品晶,邵立明,等.易腐性有机垃圾的产生与处理技术途径

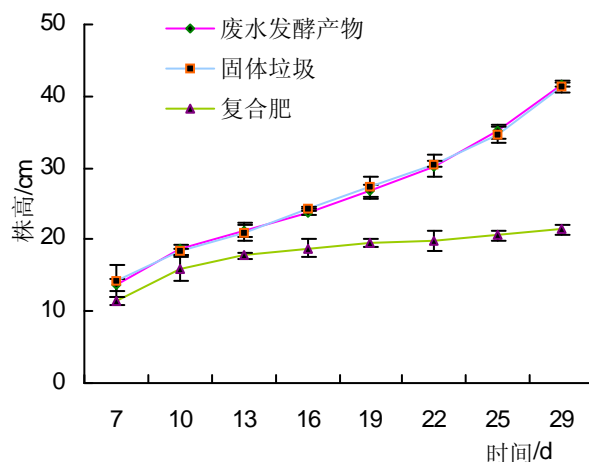


图8 3种肥料12.5 g等级梯度处理后豆苗株高变化趋势图

比较[J].环境污染治理与设备,2003,4(8):46-50.

- [6] 刘芳,陈季华,奚旦立,等.上海生活垃圾产生量、组成特性及处置对策研究[J].环境卫生工程,2005,13(2):37-41.
- [7] 陈朱蕾,周磊,江娟,等.粪便与厨余垃圾现场处理研究[J].环境科学,2005,26(5):196-199.
- [8] 刘永海,冯晓霞,魏富奎.家庭餐厨垃圾处理方法及设备的研究[J].机械研究与应用,2010.
- [9] 孙营军,丁颖,吴伟祥,等.餐厨垃圾发酵生物制氢研究进展[J].科技通报,2009,25(2):226-232.
- [10] 格日乐图雅.呼和浩特市餐厨垃圾现状及治理对策[J].环境卫生工程,2010,18(6):31-33.
- [11] 姚俊花,雷生贤,李午生,等.太原市餐厨垃圾现状调查及处理对策研究[J].环境保护科学,2010,36(2):57-60.
- [12] 韩庆岭,滕跃.微生物肥料开发策略探讨[J].上海蔬菜,2010(4):88-89.
- [13] 蒲红艳.餐厨垃圾生物降解若干问题的实验研究[D].吉林:吉林大学,2007.
- [14] 葛诚.微生物肥料生产应用基础[M].北京:中国农业出版社,2000:5-12.
- [15] 薛飞燕,谭天.粘红酵母处理味精废水的研究[J].北京化工大学学报,2007,34(1):95-97.
- [16] 邢旭,薛飞燕,谭天伟,等.粘红酵母在味精废水中发酵生产油脂[J].生物加工过程,2010,8(1):6-10.
- [17] 朱永强,薛飞燕,邢旭,等.粘红酵母和酿酒酵母联合处理味精废水[J].生物加工过程,2010,8(5):17-20.
- [18] 徐凤花,严永贵,孙冬梅,等.抗生-促生多功能生物肥料对黄瓜生长势及产量影响[J].北方园艺,2003(2):49.
- [19] 谢丹平,尹华,彭辉,等.混合菌对石油的降解[J].应用与环境生物学报,2004,5(2):78-81.
- [20] 杨基先,马放,张立秋等.利用工程菌处理含油废水的可行性研究[J].东北师大学报:自然科学版,2001,33(2):34-36.
- [21] 郑少奎,杨敏,刘芳.利用酵母菌处理色拉油加工废水连续小试初探[J].中国环境科学,2001,21(4):347-350.
- [22] 吴兰,葛刚,罗玉萍.油脂废水的生物处理研究进展[J].江西科学,2003,2(4):45-47.
- [23] 范立梅.餐饮废水生物处

(下转第78页)