

低温菌株的筛选及对堆肥温度的影响

谢宇新, 徐凤花*, 王彦伟, 刘 阳

(东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要 为解决北方低温季节牛粪大量堆积问题,将筛选的糖、淀粉、蛋白质和纤维素分解菌株复配,优化出组合菌剂(T1+DF2+D2+D5+XB1+XA2),研究低温下优化组合菌剂对低温牛粪堆肥起温的影响。结果表明,在室外-20℃低温下,牛粪接种优化组合菌剂后物料迅速升温,48 h 达 55.8℃,第 4 d 达 64.9℃,高温期维持 8~9 d,发酵周期缩短至 15 d,而未加菌和加常温发酵剂的对照则一直未进入高温期。说明添加低温复合发酵剂能使低温下牛粪堆体迅速升温,进入高温期,完成无害化,缩短发酵周期。

关键词 低温菌株 低温复合发酵剂 堆肥 温度

中图分类号 X172 **文献标志码** A **文章编号** 1672-2043(2011)07-1436-07

Low Temperature Bacteria Isolation and Effect on Composting Temperature

XIE Yu-xin, XU Feng-hua*, WANG Yan-wei, LIU Yang

(College of Resource and Environment Science, Northeast Agricultural University, Haerbin 150030, China)

Abstract In order to solve large accumulation of cow dung in northern cold season, sugar, starch, protein and cellulose decomposing bacteria were selected and mixed to the optimized combination (T1+DF2+ D2+D5+XB1+XA2). The effect of optimized combination inocula of low temperature cow dung compost temperature raising at low temperature was researched. The results showed that at -20℃ low temperature, the temperature of cow dung which added optimum combination quickly raised, 48 h reached 55.8℃, fourth day reached 64.9℃, high temperature maintained 8~9 days, fermentation period reduced to 15 d, while controls that without adding bacteria and added normal temperature starter had not entered the high temperature stage, so adding low temperature compound starter could make cow dung temperature quickly raise, enter high temperature period, completing harmless and shorten fermentation period.

Keywords low temperature strain; low temperature compound starter; compost; temperature

据报道 2008 年黑龙江省奶牛、黄牛存栏数量在 600 万头以上,牛粪达到 3000 万 t 左右,由于低温持续时间长造成牛粪大量堆积。目前,虽然一些学者对畜禽粪便常温堆肥的工艺条件、影响因素,尤其是温度等方面进行了大量的研究^[1],但对低温下牛粪堆肥的研究还很少。

低温堆肥起温是关键,能否快速进入高温期影响着堆肥的无害化进程和发酵周期。嗜冷菌在低温条件下通过其特殊的生理机制分解糖、淀粉等简单有机物,使堆温迅速升高,从而启动中温菌进入中温期。中

温菌继续分解有机物,促进堆温升高,高温菌大量繁殖,产生生物热进入高温期,完成无害化。因此研制能够在低温条件下使牛粪快速起温,进行高温发酵的低温复合发酵剂尤为重要。

本研究从长期低温保存样品中选育不同菌株,并根据其对堆肥温度的影响,筛选出有协同作用低温复合发酵剂,用于低温环境牛粪堆肥。

1 材料与方法

1.1 试验材料

样品为野外冻土及实验室冰箱长期保存的牛粪样品。

所用培养基包括 细菌培养基、高氏一号培养基、PDA 培养基、纤维素刚果红培养基、淀粉培养基、乳糖蛋白胨培养基、酪素培养基。

收稿日期 2010-10-26

作者简介 谢宇新(1985—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为应用微生物。E-mail: xyx_bighead@163.com

* 通讯作者 徐凤花 E-mail: xfh00001@126.com

发酵原料为牛粪,玉米秸秆(调理剂)。

1.2 试验方法

1.2.1 低温菌株的分离与初筛

采用稀释平板法从样品中分离菌株,分别用PDA、牛肉膏蛋白胨及高氏一号培养基分离真菌、细菌和放线菌。

将分离的菌株分别接种不同筛选培养基,8℃下培养72 h,筛选能使乳糖蛋白胨培养液由紫变黄,以及淀粉、酪素、刚果红培养基平板上透明圈直径 D 与菌落直径 d 两者比值(D/d)较大的菌株。

1.2.2 测定项目和方法

糖分解率的测定采用菲林试剂法^[2];淀粉分解率的测定采用酸水解法^[3];蛋白酶活及分解率的测定分别采用福林法^[4]和双缩脲法^[5];纤维素分解率用CXC-06型粗纤维测定仪测定^[6]。

1.2.3 菌株间拮抗试验

在相应的固体培养基上将供试菌株交叉划线,于8℃恒温培养3~5 d,观察菌株生长情况。若菌株在交叉处均能生长,表示菌株无拮抗作用。

1.2.4 菌株初步鉴定

对在低温下具有较强升温作用的菌株观察菌落及菌体形态并参照《常见细菌系统鉴定手册》^[7]及《链霉菌鉴定手册》^[8]进行菌株初鉴定。

1.2.5 低温菌株升温效果的研究

1.2.5.1 不同低温菌对温度的影响

将试验材料装入1 000 mL三角瓶中,灭菌后按10%的接种量分别接入糖、淀粉、蛋白质和纤维素低温分解菌,全温振荡培养箱中8℃培养,间隔24 h记录温度。以不加菌为对照。

1.2.5.2 低温复合发酵剂升温效果研究

将鲜牛粪和玉米秸秆混合调至含水量60%左右,C/N为(25~30):1,混匀后堆成2 m×1.5 m×1.2 m的堆体,根据发酵温度进行翻堆^[9]。

对照1为84%牛粪+16%调理剂;对照2为84%牛粪+16%调理剂+常温复合发酵剂3‰;优化组合菌剂处理为84%牛粪+16%调理剂+低温复合发酵剂3‰。

2 结果与分析

2.1 低温菌株的分离与初筛

低温菌能够在低温下保持活性,分解利用堆肥中糖、淀粉、氨基酸等简单有机物大量繁殖并在新陈代谢过程中产生生物热使物料升温,而纤维素分解菌通

过分解纤维素类物质可提高堆肥腐熟度。

乳糖蛋白胨培养液由紫变黄说明菌株具有糖分解能力,透明圈直径与菌落直径比值(D/d)的大小反映菌株分解淀粉、蛋白质及纤维素的能力。

由表1可知,从低温样品中分离的18株菌中仅T1、T2、DF2可使乳糖蛋白胨培养液变黄;DF2在淀粉培养基中 D/d 最大,为5.98,其次为T1, D/d 为5.89;D2与D5在酪素培养基中 D/d 明显大于其他菌株,分别为5.08和5.32;能使刚果红培养基产生透明圈的有DF1、D3、XB1、XGF1、XA2,其中以XB1、XGF1和XA2的 D/d 较大,分别为3.43、3.15及4.77。由此可见,T1、T2、DF2具有糖分解能力,DF2、T1和D2、D5具有较强分解淀粉和蛋白质能力,而XB1、XGF1和XA2则有较强纤维素分解能力。

2.2 低温菌株的复筛及复配

2.2.1 糖、淀粉低温分解菌的复筛及复配

糖和淀粉结构相对简单,易于微生物分解产生生物热使物料升温。由图1可以看出,T1和DF2的糖利用率均高于T2,分别为42.22%和44.57%,混菌T1+DF2的利用率最高,为53.32%,较T1、DF2分别提高了11.10%和8.75%;T1+T2+DF2次之,为52.12%;T1+T2、T2+DF2相对较低,分别为47.35%和49.64%,

表1 菌株初筛结果

Table 1 The primary screening results of strains

菌株	蛋白胨培养液变黄	淀粉培养基的 D/d	酪素培养基的 D/d	纤维素刚果红培养基的 D/d
T1	是	5.89	1.38	—
T2	是	1.44	1.87	—
T3	否	2.08	—	—
T4	否	2.32	2.32	—
T5	否	2.55	2.24	—
DF1	否	3.74	—	1.03
DF2	是	5.98	2.68	—
DF3	否	2.12	1.76	—
DF4	否	3.65	1.66	—
D1	否	—	2.35	—
D2	否	—	5.08	—
D3	否	—	3.36	0.08
D4	否	2.43	4.23	—
D5	否	—	5.32	—
D6	否	1.98	4.62	—
XB1	否	—	—	3.43
XGF1	否	—	—	3.15
XA2	否	—	—	4.77

注:“—”代表没有透明圈。

对照仅为 0.53%。

淀粉分解菌通过分解淀粉获得能量,促进新陈代谢,完成菌体繁殖。如图 2 所示,DF2 与 T1 两菌株的淀粉分解能力明显高于对照,分别达到 39.79% 和 37.63%,较不接菌的对照提高了 39.27% 和 37.14%,表明具有较强的低温淀粉分解能力。混菌分解率达到 51.55%,较 DF2 和 T1 分别提高 11.76% 和 13.92%。

2.2.2 蛋白质低温分解菌的复筛

由图 3 和图 4 可知,无论是蛋白酶活性还是蛋白质分解率,混菌效果均优于单菌及对照。随着时间的推移,蛋白酶活性升高,第 4 d 达到最高,为 $45.42 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,较 D2 和 D5 单菌株分别提高了 35.51% 和 39.96%,之后迅速下降,第 8 d 达到最低,仅为 $2.37 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。混菌蛋白质分解率达到 39.26%,较单菌 D2 和 D5 分别提高了 19.62% 和 17.72%。

2.2.3 纤维素低温分解菌的复筛

根据生态位的理论,不同菌株之所以能在一起共存,是因为菌株之间通过协同作用出现了生态位的分离,不存在生态位的重叠,从而避免了种群间激

烈的竞争^[10]。图 5 中,3 株菌均有较强的纤维素分解能力,尤其是 XB1 和 XGF1,分别为 37.41% 和 37.94%。混菌中 XB1+XA2 的纤维素分解率最高,较 XB1 和 XGF1 分别提高了 25.10% 和 24.57%,达 62.51%,较 XB1+XGF1、XGF1+XA2 以及 XB1+XGF1+XA2 分别提高了 8.20%、10.03% 及 9.42%,说明 XB1 与 XA2 间具有协同作用。

2.3 菌株间拮抗试验

菌落因生长缓慢而被其他菌落覆盖,或菌落间互相接触时被限制,说明菌株间具有拮抗作用。表 2 表明,除 XA2+T1 及 XA2+D5 外均可共存,不相互拮抗,故 T1、DF2、D2、D5 及 XB1 之间可进行组合、复配。

2.4 菌株初步鉴定

因发酵剂应尽量减少微生物种类,故仅对在低温下具有较强物质分解能力的菌株 T1、DF2、D5、XB1 进行鉴定。

菌株 T1 在细菌培养基上菌落呈圆形,乳白色,表面褶皱,边缘整齐,不透明。菌体为杆状,鞭毛周生,芽孢中生。菌株 DF2 在细菌培养基上菌落呈圆形,白

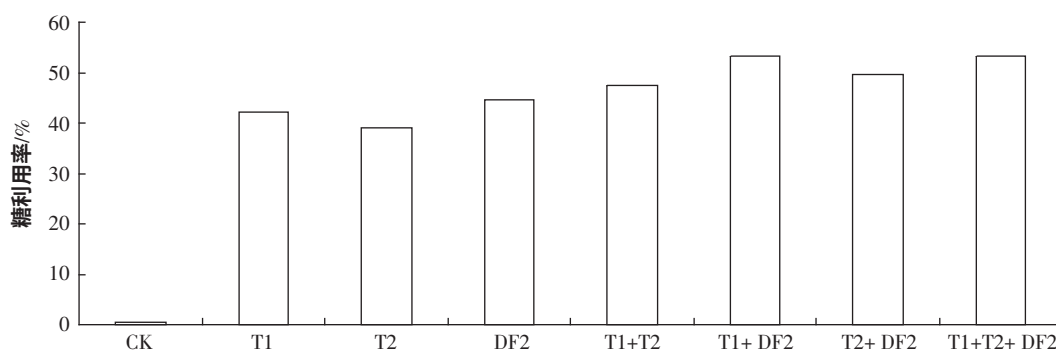


图 1 T1、T2、DF2 及组合在低温下糖利用率

Figure 1 Low temperature sugar utilize rate of T1, T2, DF2 and combination

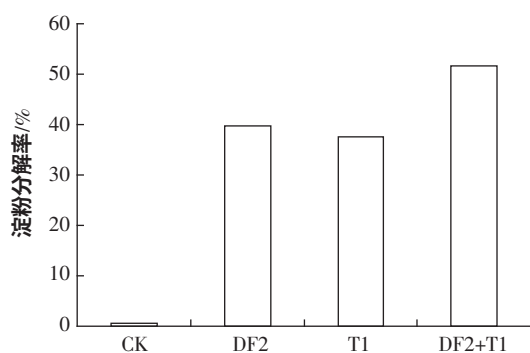


图 2 T1、DF2 及组合在低温下淀粉分解率

Figure 2 Low temperature amylolysis rate of T1, DF2 and combination

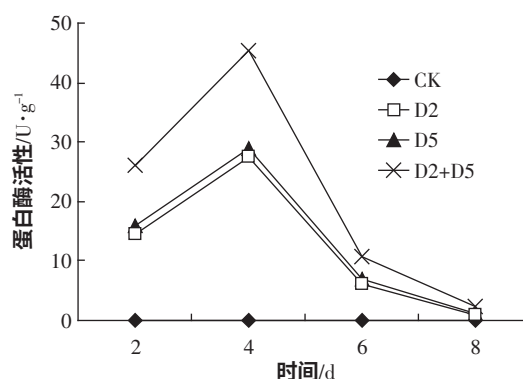


图 3 D2、D5 及组合在低温下蛋白酶活性动态

Figure 3 Low temperature protease activity dynamic of D2, D5 and combination

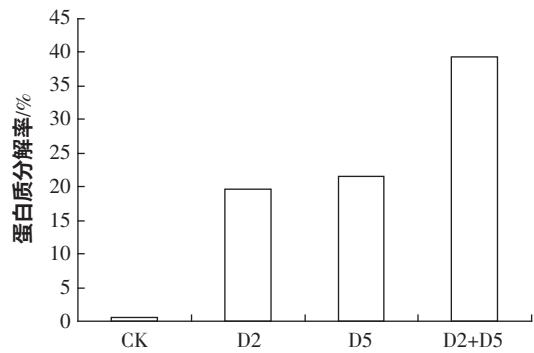


图 4 D2、D5 及组合在低温下蛋白质分解率

Figure 4 Low temperature protein degradation rate of D2, D5 and combination

表 2 菌株间拮抗关系

Table 2 The antagonistic relation between strains

菌株	T1	D2	D5	DF2	XB1	XA2
T1	-	+	+	+	+	-
DF2	+	+	+	-	+	+
D2	+	-	+	+	+	+
D5	+	+	-	+	+	-
XB1	+	+	+	+	-	+
XA2	-	+	-	+	+	-

注：“+”代表无拮抗关系，“-”代表有拮抗关系。

色,表面光滑,边缘整齐,不透明。菌体为杆状,鞭毛周生,芽孢中生。

根据 T1、DF2 的菌落、菌体形态以及表 3 的生理生化特征,初步鉴定为枯草芽孢杆菌属 (*Bacillus subtilis* sp)。

菌株 D5 菌落圆形,边缘整齐,湿润,呈淡褐色,杆状,借助鞭毛运动,革兰氏染色为阴性,不发酵葡萄糖,不产生荧光色素,磷酸化酶、硝酸盐还原、v-p 反应等均为阴性,初步鉴定为假单胞菌属 (*Pseudomonas* sp)。

菌株 XB1 在高氏一号琼脂上孢子丝交替着生直

表 3 菌株 T1、DF2 生理生化特征

Table 3 The physiological and biochemical of T1 and DF2

项目	T1	DF2
革兰氏染色	+	+
是否需氧	+	+
淀粉水解	+	+
明胶液化	+	+
酪蛋白水解	+	+
硝酸盐还原	+	+
柠檬酸盐试验	+	+
过氧化氢酶	+	+
V-P 测定	+	+
葡萄糖氧化发酵	+	+
触酶	-	-
7%NaCl	+	+

注：“+”代表阳性，“-”代表阴性。

至波曲,有圆卷倾向,偶尔有螺旋,横隔分裂形成孢子。孢子为圆柱形,表面有褶皱,不带刺和毛。气生菌丝呈浅粉红色,基内菌丝呈褐色,无可溶性色素产生,可水解淀粉和纤维素,有较强耐盐性,初步鉴定为链霉菌属 (*Streptomyces* sp)。

如表 4 所示,低温菌中分解糖类、淀粉的是枯草芽孢杆菌,分解蛋白质的为假单胞菌,分解纤维素的为链霉菌。

2.5 菌株升温效果研究

2.5.1 不同低温菌对温度的影响

低温下微生物生长受到抑制,生理代谢无法正常

表 4 菌株初鉴定一览表

Table 4 The primary screening schedule of strains

编号	名称	种类	种属	拉丁名称
1	T1	低温细菌	枯草芽孢杆菌	<i>Bacillus subtilis</i>
3	DF2	低温细菌	枯草芽孢杆菌	<i>Bacillus subtilis</i>
4	D5	低温细菌	假单胞菌	<i>Pseudomonas</i>
5	XB1	低温放线菌	链霉菌	<i>Streptomyces</i>

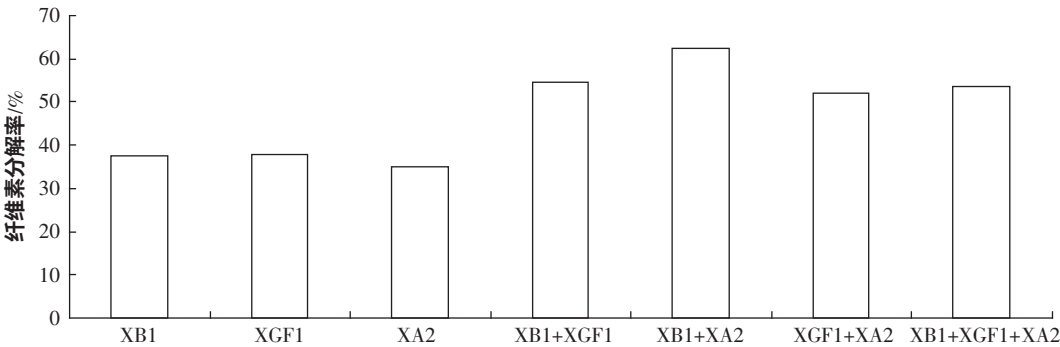


图 5 XB1、XGF1、XA2 及组合在低温下纤维素分解率

Figure 5 Low temperature cellulose decomposition rate of XB1, XGF1, XA2 and combination

运作,而低温菌细胞膜含有大量不饱和脂肪酸,使膜在低温下也能保持半流动状态,运输物质。加之核糖体结构和功能对低温不敏感,酶和蛋白质仍可合成并发挥作用。

低温堆肥起温是关键,中、高温菌在低温下难以正常繁殖^[11],故可利用低温菌的特殊生理机制分解糖、淀粉等简单有机物使堆肥起温,进而启动中温菌和高温菌,达到高温阶段,完成无害化处理。

图6中,不同功能菌的升温效果为糖分解菌>淀粉分解菌>蛋白质分解菌>纤维素分解菌。虽然牛粪本身属冷性粪便加之物料很少,且灭菌后添加不同功能菌,但物料温度仍升至中温阶段。其中糖分解菌升温速度最快,第4d达到最高,为30.2℃,之后随时间推移缓慢下降。说明其在低温下具有良好的生长及分解物料中糖类的能力,新陈代谢旺盛,产生生物热使物料起温。淀粉分解菌升温效果次之,速度较快,与蛋白质分解菌同在第6d达到最高温。纤维素分解菌相对活性较低,升温能力最弱,最高温为23℃。对照处理的温度上升缓慢,最高温仅为10.5℃。

由此可见,不同功能菌的起温效果均明显强于对照,说明低温下均能不同程度的分解有机物,使物料起温,进入中温阶段,达到低温下起温的重要作用,使中、高温菌生长繁殖,产生大量生物热,进入高温期,完成无害化。

2.5.2 冬季接种低温复合发酵剂堆肥温度的变化

温度是堆肥顺利进行的重要因素,可以直接反映堆肥进程,温度上升是微生物代谢产热及堆体保温效应共同作用的结果^[12],过低的堆温将大大延缓堆肥达到腐熟的时间。堆肥起始时,堆温与环境温度一致,经过1~2d的作用,达到理想温度50~65℃,经过5~6d即可达到无害化。

由图7可知,在室外温度一直处于-20℃左右时,接种低温复合发酵剂的处理堆温迅速上升,48h即进入高温期,至第4d,处理、对照1和对照2物料温度分别达到64.9、9.7℃和24.9℃,翻堆后处理温度降至50℃以上。微生物繁殖时消耗氧气,堆体内缺氧使好氧微生物繁殖速度减缓;当温度过高时若不加以控制会消耗大量有机质影响发酵后的养分含量,故用翻堆来补氧和散热^[13]。

第5~8d,处理温度升至64℃,翻堆后温度降到48.2℃;第9~11d,处理温度上升到57.2℃,说明发酵料中养分仍能满足微生物生命活动;第12d,处理温度下降到48.9℃,高温期结束进入降温阶段。经过高温阶段大量微生物死亡,酶活降低致使有机物降解速度下降,产热减少,堆温下降^[14]。处理的高温期持续8~9d,满足无害化要求。对照1和对照2均未加低温菌,物料起温缓慢不利于中温微生物的新陈代谢,整个发酵过程中温度分别维持在8.2~13.5℃及15.2~24.9℃之间,第4d和10d翻堆使积蓄的热量散失温度下降,结束时仅为21.3℃及13.5℃,一直未进入高温发酵期。

处理和对照发酵温度变化过程说明复合发酵剂中低温菌在低温条件下生长繁殖使物料快速升温,以利于中温菌分解有机质产热使温度快速上升至高温期,继而高温菌作用难分解的有机质产热,温度继续升高。

3 讨论

发酵菌株的鉴定可以减少大量不必要重复工作,也为菌种功能和特性的进一步开发和研究提供了依据^[15],由于菌种鉴定工作复杂且工作量大,限于时间和试验条件,本研究只对获得的菌株作初步形态学和

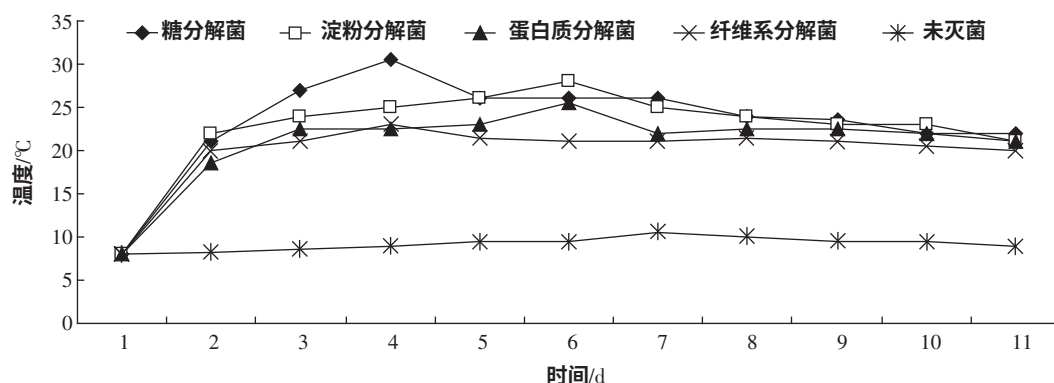


图6 不同功能菌对物料温度的影响

Figure 6 The effect of different functional bacteria on material temperature

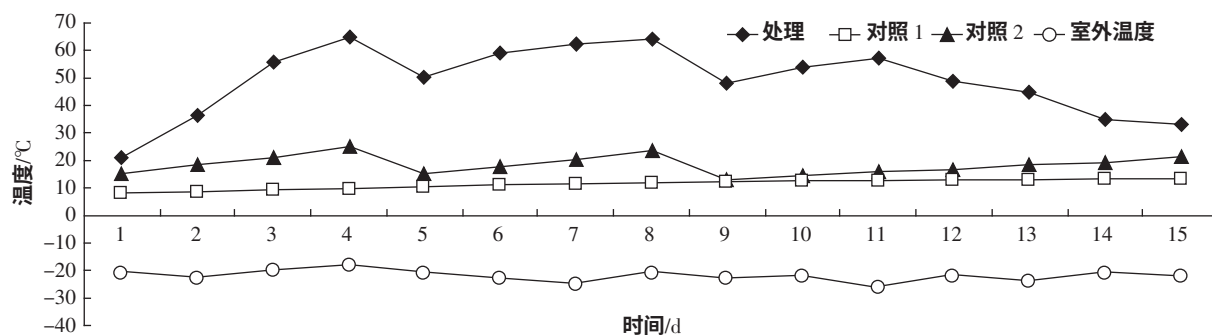


图7 低温堆肥温度的变化动态

Figure 7 Dynamic changes of composting temperature at low temperatures

生理生化鉴定。但还应更进一步,对所筛选低温菌株做更深一步鉴定,以使鉴定结果更为精准。

目前我国微生物发酵剂种类繁多,但有些只是将发酵菌株简单的混合在一起,对菌株之间的拮抗作用研究的不透彻^[16],因此本试验对筛选出的所有菌株进行两两拮抗试验,通过研究其相互关系^[17],淘汰对其他菌株抑制能力强的菌株,筛选出协同作用强的菌株,有效避免了菌株间的拮抗作用对堆肥的不利影响。

4 结论

(1) 不同菌株升温效果中糖、淀粉与蛋白质分解菌均可加速牛粪升温,其中又以糖分解菌的升温效果最好,速度最快,第4 d达到最高,为30.2℃,之后缓慢下降。纤维素分解菌相对活性较低,升温能力最弱。说明低温下糖类分解菌快速分解糖等易于分解的简单有机物,产生生物热使物料温度迅速上升。

(2) 低温堆肥接种低温复合发酵剂的处理温度明显高于对照,第3 d温度达到55.8℃,第4 d达到64.9℃,高温期持续8~9 d,达到国家标准要求,发酵周期缩短至15 d,而对照缓慢上升且未进入高温期。说明所筛选低温菌组合能使堆肥温度迅速上升,完成无害化进程,缩短冬季牛粪发酵周期。

参考文献:

- [1] 解开治, 徐培智, 等. 一种腐熟促进剂配合微生物腐熟剂对鲜牛粪堆肥的效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (3): 1142-1146.
XIE Kai-zhi, XU Pei-zhi, et al. Effects of one chemical composting promoter and micro-organism composting preparations on fresh cow dung compost[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26 (3): 1142-1146.
- [2] 陈旭红, 陈玲. 果汁饮料总糖量测定方法的改进[J]. 宁夏农林科技, 1999, 4: 46-48.
- [3] 丁映, 陈鹰, 等. 利用酸水解法测定烟叶中淀粉的含量[J]. 贵州

农业科学 2004, 32 (6): 72-75.

DING Ying, CHENG Ying, et al. Starch determination in tobacco by using acid hydrolysis[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2004, 32 (6): 72-75.

- [4] 彭必雨, 王剑, 等. 制革常用蛋白酶活力测定方法及结果的比较[J]. 皮革科学与工程, 2004, 3 (7): 4-6.

PENG Bi-yu, WANG Jian, et al. Comparison of the methods and results of determining the activities of proteolytic enzymes used in leather making[J]. *Leather Science and Engineering*, 2004, 3 (7): 4-6.

- [5] 刘燕, 张平, 等. 双缩脲法测定大豆乳清废水中蛋白质含量[J]. 大豆通报, 2006, 6: 24-30.

LIU Yan, ZHANG Ping, et al. Biuret method to measure the protein content in soybean whey[J]. *Soybean Bulletin*, 2006, 6: 24-30.

- [6] 于婷乔, 徐凤花, 等. 纤维素分解菌对堆肥有机质、全碳及纤维素降解率的影响[J]. 现代农业科技, 2009, 22 (2): 2-5.

YU Ting-qiao, XU Feng-hua, et al. Effect of cellulose-decomposing microorganisms on organic matter, total carbon and degradation rate of cellulose[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2009, 22 (2): 2-5.

- [7] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

DONG Xiu-zhu, CAI Miao-ying. Manual of systematic determinative bacteriology[M]. Beijing: Science Press, 2001.

- [8] 中科院微生物所放线菌分类组. 链霉菌鉴定手册[M]. 北京: 科学技术出版社, 1975.

The Chinese Academy of Microbiology by Actinomycetes Classification Group. Streptomyces identification manual[M]. Beijing: Science Press, 1975.

- [9] 何惠霞, 徐凤花, 赵晓峰, 等. 低温下牛粪接种发酵剂对堆肥温度与微生物的影响[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38 (1): 54-58.

HE Hui-xia, XU Feng-hua, ZHAO Xiao-feng, et al. Effects of inoculated complex microbial agent to cattle manure on compost temperature and microorganism under low temperature[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2007, 38 (1): 54-58.

- [10] 王淑军, 扬从发, 陈静. 用于降解秸秆的纤维素酶产生菌的筛选研究[J]. 粮食与饲料工业, 2001, 12: 21-23.

WANG Shu-jun, YANG Cong-fa, CHEN Jing. Survey of screening cellulase strains for straw degradation[J]. *Cereal & Feed Industry*,

- 2001, 12 21-23.
- [11] 孙晓东, 李建宏, 潘欣, 等. 低温菌株的筛选及酚降解能力的研究[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2001, 24 (2): 83-86.
- SUN Xiao-dong, LI Jian-hong, PAN Xin, et al. Isolation of low temperature bacteria and researching of phenol biodegradation [J]. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science)*, 2001, 24 (2): 83-86.
- [12] 赵明梅, 牛明芬, 何随成, 等. 不同微生物菌剂对牛粪堆肥发酵影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (增刊): 587-590.
- ZHAO Ming-mei, NIU Ming-fen, HE Sui-cheng, et al. Effects of inoculating different microorganism agents on composting of cow manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26 (Suppl): 587-590.
- [13] 陈同斌, 罗维, 郑国砥, 等. 翻堆对强制通风静态垛混合堆肥过程及其理化性质的影响[J]. 环境科学学报, 2005, 25 (1): 117-122.
- CHEN Tong-bin, LUO Wei, ZHENG Guo-di, et al. Effects of pile-turning on chemical and physical properties in static forced-aeration composting of sewage sludge and pig manure[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25 (1): 117-122.
- [14] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废弃物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22 (2): 252-256.
- LI Guo-xue, LI Yu-chun, LI Yan-fu. Advance on composting of solid waste and utilization of additives[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22 (2): 252-256.
- [15] Young-Gyun Cho. Simultaneous degradation of P-nitrophenol and phenol by a newly isolated *Nocardioide* sp[J]. *Gen Appl Microbiol*, 1998, 44: 303-309.
- [16] He Xin-Tao, Terry Logasn, Samuel Traina. Physical and chemical characteristics of selected U. S. municipal solid waste composts[J]. *Environ Qual*, 1995, 24: 543-552.
- [17] 徐智, 汤利, 李少明, 等. 两种微生物菌剂对西番莲果渣高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18 (6): 1270-1274.
- XU Zhi, TANG Li, LI Shao-ming, et al. Effects of two microbial agents on high temperature composting of passion fruit marc[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (6): 1270-1274.