

沼渣制备有机-无机颗粒肥物料的造粒工艺特性研究*

王宇欣 王越 刘志丹

(中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要:以生物氢烷工程秸秆沼渣为原料,研究了制备有机-无机颗粒肥物料的造粒工艺特性。为了改善生物氢烷工程秸秆的沼渣理化特性和降低造粒成本,采用膨润土和聚丙烯酰胺(PAM)这两种粘结剂,按照有机质和营养成分含量设计制定4组18个配方进行造粒试验,通过试样粒径、抗压强度、有机质与总养分含量、崩解率、吸水率、保水率和膨胀率的比较,优化成球工艺和配方。结果表明,生物氢烷工程沼渣颗粒肥的粒径和抗压强度分布范围分别为 $(3.16 \pm 0.15) \sim (4.39 \pm 0.36)$ mm, $(6.82 \pm 0.59) \sim (42.95 \pm 4.78)$ N。采用膨润土-PAM复合粘结剂的T3组,有机质质量分数可达28.86%以上,总养分质量分数可达15.40%以上,满足国家有机-无机复混肥的I型要求,其中保水性能最好的是T32,吸水率达到128%,保水率为50%,膨胀率为10.02%。

关键词: 颗粒肥 生物氢烷工程沼渣 造粒工艺 膨润土 聚丙烯酰胺

中图分类号: S145.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)01-0200-07

Characteristics of Granulation Technology of Organic-inorganic Granular-fertilizers by Biohythane Residue

Wang Yuxin Wang Yue Liu Zhidan

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Taken biohythane residue of straw as materials, the granulation technology and fertilizer characterization of organic-inorganic granular-fertilizers were studied. The straw residue contained abundant materials such as lignin and cellulose, as well as poor viscosity. It needs to be added to the binder to increase the rate of grain of granular-fertilizers, instead of to be produced directly. While bentonite processed a wide source, low cost, excellent viscosity and expansibility, which could be used as a good soil conditioner. Besides, polyacrylamide (PAM) was a high viscosity water-soluble polymer, which could be used widely. In order to improve the physicochemical property of biohythane residue and reduce the cost of granular-fertilizer, these two binders were used to develop the granular experiment under the content of organic and nutrient for 18 formulas, which belonged to four groups. Though the comparisons of particle size, compressive strength, content of organic and total nutrient, pipe particles, water absorption, water retention and expansion, the technology and formula was optimized. The results showed that the range of particle size and compressive strength of biohythane residue respectively were $(3.16 \pm 0.15) \sim (4.39 \pm 0.36)$ mm, and $(6.82 \pm 0.59) \sim (42.95 \pm 4.78)$ N. Using the bentonite-PAM composite binder, T3 group, of which the content of organic and total nutrient could respectively reach up to 28.86% and 15.40%, can meet the requirement of national organic-inorganic fertilizer type I. T32 showed the best capacity of water retention among T3 group, and the water absorption, water retention, expansion rate achieved to 128%, 50% and 10.02%, respectively.

Key words: Granular-fertilizer Biohythane residue Granulation technology Bentonite Polyacrylamide

收稿日期: 2014-09-12 修回日期: 2014-10-15

*中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013YJ009)和公益性行业(农业)科研专项资金资助项目(201303108)

作者简介: 王宇欣,副教授,博士,主要从事农业生物环境与能源工程研究, E-mail: wangyuxin@cau.edu.cn

引言

生物氢烷工程在处理有机废弃物的同时可获得清洁能源,作为生物氢烷工程的发酵底物,农作物秸秆和畜禽粪便可得到有效利用,但随之产生的沼渣大量堆积也会造成严重的二次污染^[1-2]。因此,以生物氢烷工程发酵固体残留物为原料研制有机-无机颗粒肥^[3],用以改善农业土壤结构,提高农田的水肥利用效率,既可实现生物氢烷工程发酵固体残留物的高值利用,也有助于农业土壤环境的生态修复,从而实现我国农业高效清洁生产。

秸秆含有丰富的纤维素、木质素等成分,通过生物氢烷工程发酵之后的秸秆沼渣,除含有氮、磷、钾和矿物盐等成分外,还含有有机质、腐殖酸和一些未腐熟的营养成分^[4-5]。为了扩大沼渣的利用方式和满足农业生产需要^[6-8],通过造粒工艺把沼渣制成有机-无机颗粒复混肥,使其兼备有机肥和无机肥的双重优势,养分更全面均衡且用途广泛。膨润土作为一种无机粘结剂,具有良好的吸水性和膨胀性,同时,膨润土中还含有一些常量和微量元素,施入土壤后会转化为无机矿物成分,是一种用途很广的土壤改良剂^[9]。聚丙烯酰胺(PAM)是一种水溶性高分子聚合物,在农业生产上也常作为保水剂和土壤改良剂^[10-12]。本文以生物氢烷工程秸秆沼渣为原料,采用膨润土和聚丙烯酰胺(PAM)为粘结剂,按照有机质和营养成分含量设计制定 4 组 18 个配方开展造粒试验,通过试样粒径、抗压强度、有机质和总养分含量、崩解率、吸水率、保水率和膨胀率的比

较,进行成球工艺和配方优化,进而为颗粒肥规模化生产提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用的生物氢烷工程固体残留物来自实验室自发酵产物即玉米秸秆沼渣。生物氢烷工程沼渣的主要成分为秸秆类,其营养成分的质量分数分别为:全氮 1.12%,全磷 0.24%,全钾 0.72%,腐殖酸 50.89%,有机质 85.6%。

无机黏结剂:膨润土;有机粘结剂:聚丙烯酰胺(PAM)。

采用尿素(N 的质量分数为 46.0%)、磷酸一铵(N 的质量分数为 12.2%, P_2O_5 的质量分数为 61.8%)、氯化钾(K_2O 的质量分数为 60.0%)作为营养复配剂,以提高颗粒肥中总养分含量。3 种物料均研磨过 120 目分样筛后备用。

ARC120 型电子精密天平;ZN-04B 型小型粉碎机;ZNZ-102 型造粒机;YHKC-2A 型颗粒强度测定仪;80 目、120 目分样筛;搅拌器;游标卡尺;干燥机。

1.2 试验方法

生物氢烷工程沼渣造粒工艺流程如图 1 所示。先将干燥后的沼渣放入粉碎机里粉碎,之后用 120 目的分样筛筛分得到沼渣粉末,将其与营养复配剂和粘结剂混合均匀,加水搅拌后放入造粒机(ZNZ-102 型)通过挤压成球得到有机-无机复合颗粒肥试样,接着将制备好的颗粒肥试样进行干燥,得到利用生物氢烷工程沼渣制备的有机-无机颗粒肥试验样品。

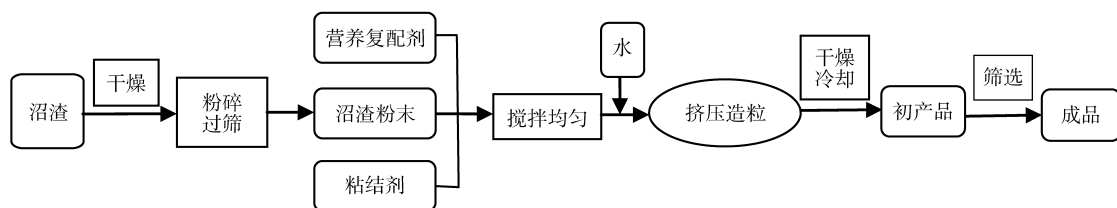


图 1 生物氢烷工程沼渣造粒工艺流程图

Fig. 1 The flow chart of biohythane residue granulating technical process

除了挤压造粒设备的成球特性外,影响生物氢烷工程沼渣颗粒肥造粒效果的因素还包括沼渣成分、粘结剂粘性、营养复配剂和用水量等。本试验设计共分 4 组进行营养成分复配和成球效果试验,其中,T1 设 5 个处理,T2 设 4 个处理,T3 设 6 个处理,T4 设 3 个处理。不同处理所加物料情况如表 1 所示,其中 T1 组不加 PAM 和营养复配剂,T2 组不加营养复配剂,T4 组不加膨润土。

1.3 测定项目与测定方法

1.3.1 粒径、抗压强度和崩解率的测定

从每组配方中随机选取 20 粒完整的颗粒肥,用

游标卡尺测量颗粒肥的直径,之后用颗粒强度测定仪测定其抗压强度,记录数据。崩解率(W)的测定方法参照文献[13],即将制得的颗粒肥完全浸入去离子水中,在室温下静置 24 h 后,计完好颗粒数,每组试验重复 3 次,计算式为

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中 W_1 ——24 h 前完好颗粒数

W_2 ——24 h 后完好颗粒数

1.3.2 吸水率、保水率、膨胀率的测定

3 指标测定的具体方法参照文献[14]。吸水率

表1 生物氢烷工程沼渣制作颗粒肥的工艺配方

Tab.1 Technical formula of granular-fertilizer about biohythane residue

分组	沼渣质量/g	膨润土 质量/g	PAM 质量/ g	尿素质量/ g	磷酸一铵 质量/g	氯化钾 质量/g	水质量/ g	膨润土 质量分数/%	PAM 质量分数/%	
T1	T11	10	40.0	0	0	0	55	80.00	0	
	T12	10	30.0	0	0	0	42	75.00	0	
	T13	9	21.0	0	0	0	33	70.00	0	
	T14	7	13.0	0	0	0	35	65.00	0	
	T15	10	15.0	0	0	0	45	60.00	0	
T2	T21	10	20.0	10.0	0	0	38	50.00	25.00	
	T22	10	10.0	10.0	0	0	32	33.33	33.33	
	T23	10	15.0	3.0	0	0	65	53.57	10.71	
	T24	10	1.3	1.0	0	0	35	10.57	8.13	
T3	T31	15	15.0	1.0	1	6.0	1.5	46	37.97	2.53
	T32	15	15.0	1.2	1	6.1	1.5	50	37.69	3.02
	T33	15	15.0	1.6	1	6.2	1.5	42	37.22	3.97
	T34	15	15.0	2.0	1	6.3	1.5	42	36.76	4.90
	T35	15	15.0	3.0	1	6.5	1.5	59	35.71	7.14
	T36	15	15.0	5.0	1	7.0	1.5	50	33.71	11.24
T4	T41	30	0	2.0	2	5.3	2.0	100	0	4.84
	T42	30	0	3.0	2	5.5	2.0	76	0	7.06
	T43	30	0	5.0	2	6.0	2.0	64	0	11.11

(A)是指在室温下颗粒肥浸泡一定时间后所增加质量的比率,受物质本身材质的影响,计算公式为

$$A = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100\%$$

式中 m_0 ——吸水前颗粒肥的质量,g

m_1 ——吸水 40 min 后颗粒肥的质量,g

颗粒肥的保水性使它们不会因水的自重而流失水分,本试验主要比较颗粒肥吸水后在室温下静置 30 min 后质量的变化,以比较不同配方下的保水性能,保水率(R)计算公式为

$$R = (m_2 - m_0) / m_0 \times 100\%$$

式中 m_2 ——颗粒肥吸水后在玻璃板上静置 30 min 后的质量,g

膨胀率(E)指颗粒肥吸水膨胀 40 min 后与正常情况下相比的直径百分率,计算公式为

$$E = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100\%$$

式中 L_1 ——吸水 40 min 后颗粒肥的直径,mm

L_2 ——吸水前颗粒肥的直径,mm

2 数据分析

SPSS 是现在应用最广的统计分析软件,可以直接读取 Excel 数据,本试验采用 SPSS 20 分析软件对上述试验的测定项目进行单因素方差分析,当方差具有齐次性时,采用 Duncan 新复极差法在 $p < 0.05$ 水平下对 Excel 处理之后的数据进行显著性分析。采用上述软件对粒径、抗压强度、崩解率、吸水率、保

水率和膨胀率进行数据处理和显著性分析,试验结果如表 2 和图 2、3 所示。

表2 生物氢烷工程沼渣制备颗粒肥的理化表征

Tab.2 Physicochemical characterization of granular-fertilizer for biohythane residue

分组	粒径/mm	抗压强度/N	有机质 质量 分数/%	总养分 质量 分数/%	
T1	T11	3.58 ± 0.21 ^{ab*}	25.70 ± 3.26 ^a	17.12	0.42
	T12	3.73 ± 0.26 ^a	24.89 ± 3.20 ^a	21.40	0.52
	T13	3.63 ± 0.31 ^{ab}	24.05 ± 3.08 ^a	25.68	0.62
	T14	3.16 ± 0.15 ^c	16.48 ± 2.26 ^b	29.96	0.73
	T15	3.46 ± 0.23 ^b	13.90 ± 1.31 ^c	34.24	0.83
T2	T21	4.29 ± 0.28 ^{ab}	7.51 ± 0.90 ^b	21.40	0.52
	T22	4.39 ± 0.36 ^a	8.98 ± 1.12 ^a	28.53	0.69
	T23	3.80 ± 0.25 ^c	6.82 ± 0.59 ^b	30.57	0.74
	T24	4.05 ± 0.28 ^{bc}	9.35 ± 0.89 ^a	69.59	1.69
T3	T31	3.93 ± 0.14 ^a	11.58 ± 1.51 ^d	32.52	15.47
	T32	3.93 ± 0.10 ^a	9.30 ± 1.13 ^d	32.27	15.54
	T33	4.06 ± 0.06 ^a	17.24 ± 2.04 ^c	31.87	15.53
	T34	4.03 ± 0.07 ^a	23.96 ± 2.23 ^b	31.48	15.53
	T35	3.99 ± 0.17 ^a	25.63 ± 2.38 ^b	30.58	15.43
	T36	3.99 ± 0.18 ^a	42.95 ± 4.78 ^a	28.86	15.40
T4	T41	3.88 ± 0.12 ^b	9.58 ± 1.01 ^c	62.20	16.14
	T42	4.00 ± 0.08 ^a	13.78 ± 1.62 ^b	60.45	16.03
	T43	4.01 ± 0.08 ^a	17.31 ± 1.78 ^a	57.09	15.96

注:每列不同小写字母表示每组处理在 0.05 水平上差异显著,下同。* 3.58 为平均值,0.21 为标准差,表中其余数据与此类似。

2.1 生物氢烷工程沼渣颗粒肥理化特征数据分析
表 2 包括了利用生物氢烷工程沼渣制备颗粒肥

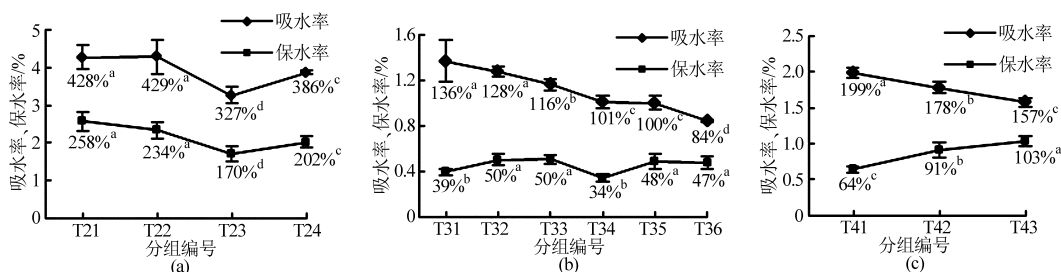


图 2 T2、T3、T4 组生物氢工程沼渣颗粒肥吸水率和保水率的比较

Fig. 2 Comparison of water absorption and water retention in biohythane residue granular-fertilizer of T2, T3 and T4

(a) T2 组 (b) T3 组 (c) T4 组

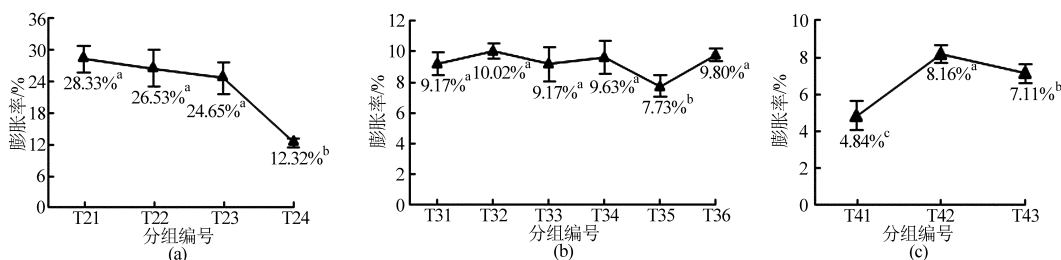


图 3 T2、T3、T4 组生物氢工程沼渣颗粒肥膨胀率的比较

Fig. 3 Comparison of expansion in biohythane residue granular-fertilizer of T2, T3 and T4

(a) T2 组 (b) T3 组 (c) T4 组

的粒径、抗压强度、有机质和总养分(N + P₂O₅ + K₂O)质量分数等肥料特性;参照表 1 中生物氢工程沼渣成分和营养复配剂中各养分的比例,采用 Excel 2010 计算各配方中有机质和总养分的质量分数。

2.2 生物氢工程沼渣颗粒肥保水特性数据分析

为比较 T2、T3、T4 组中颗粒肥保水性能的变化趋势,试验采用 Excel 2010 绘制出上述 3 组配方的数据分布折线图。其中,图 2 反映了 3 组颗粒肥的吸水率和保水率的波动情况,图 3 比较了 3 组配方中膨胀率的变化。

3 结果与讨论

3.1 生物氢工程沼渣颗粒肥理化特点

3.1.1 粒径和抗压强度

影响颗粒肥粒径和抗压强度的主要因素是粘结剂。其中,T1 只加膨润土,T2 和 T3 加入膨润土和 PAM,T4 只加 PAM。从表 2 可以看出,T1 中随着膨润土含量的减少,前 3 种处理下的粒径和抗压强度差异均不显著,粒径和抗压强度差异最显著的处理分别为 T14 和 T15,且它们均为该组试验下的最小值,同时抗压强度随膨润土掺入量的增加而增大,这一结果与文献[15]结果相同。T2 组中 T23 膨润土含量最高但是粒径和抗压强度最小,T22 的 PAM 含量最高且粒径最大,T24 的 PAM 含量最低但抗压强度最大。T3 组随着膨润土和 PAM 总含量的增加,粒径之间的差异不显著,但是 T36 膨润土含量最低,

PAM 含量最高,粒径和抗压强度均为该组下的最大值;T32 的粒径和抗压强度均为该组的最小值,且抗压强度与 T33 ~ T36 差异显著。T4 组中 T41 的 PAM 含量最低,粒径最小且差异显著;抗压强度随 PAM 含量的增加而显著变大,但文献[16 - 17]的试验均指出由聚丙烯酰胺改性后的颗粒强度随 PAM 掺入量的增加而先增后减,产生这一现象的原因可能与掺入量少和基质本身的性质有关。

从 T1 和 T4 组可以看出,加入膨润土后颗粒肥的抗压强度比加入 PAM 的抗压强度大,这是因为膨润土的主要成分是呈层状结构的硅酸盐蒙脱石,随着膨润土含量的增加,颗粒肥内孔隙率逐渐减少,抗压强度则不断增加^[18]。T2 和 T3 组均加入了膨润土和 PAM,粒径分布比较均一,但抗压强度不随膨润土含量的增加而增大。文献[19]的试验指出膨润土在 PAM 水凝胶中分散良好且膨润土-PAM 复合水凝胶有更完整的网络结构,粘性比单一的 PAM 和膨润土更好。由此可以得出,T2、T3 组的颗粒肥粒径和抗压强度特性较好。

3.1.2 有机质质量分数和总养分质量分数

根据国家有机-无机复混肥专业标准,根据文献[20]得出表 3,由于颗粒肥均进行了干燥,故仅考虑颗粒肥中有机质和总养分的质量分数。按照表 1 的工艺配方,得出有机质和总养分的含量(表 2),除 T11 有机质含量属于 II 型肥料外,其他配方中有机质含量均满足 I 型要求。但是 T1 和 T2 中总养分含量不满足国家有机-无机复混肥的标准,而加入营养复

配剂的 T3 和 T4 组,总养分质量分数处于 15% 与 25% 之间,满足 I 型肥料的要求。所以,T3 和 T4 组的颗粒肥可满足国家对有机-无机复混肥 I 型标准的要求。

表 3 国家有机-无机复混肥专业标准的技术要求

Tab.3 Technical requirement of national specialized standard about organic-inorganic compound fertilizers

项目	指标		
	I 型	II 型	III 型
总养分(N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	15 ~ 25	25 ~ 30	大于 30
质量分数/%			
含水率/%	小于 12	小于 12	小于 8
有机质质量分数/%	大于 20	15 ~ 20	8 ~ 15
总腐殖酸质量分数/%			大于 5

3.1.3 崩解率

颗粒肥在施入土壤后,遇水其养分即开始释放,若颗粒破碎会导致养分大量溶出,因此颗粒肥可作为速效肥施于土壤中;若颗粒肥不破碎,则可作为缓释肥供作物利用。试验中,T1 组中 5 个处理的颗粒肥崩解率为 0,而其他组别的颗粒肥在 24 h 后无一崩解,所有颗粒均保持完好,这说明 PAM 在水中依然可以保持高粘性,由于 PAM 遇水后可与土壤颗粒相互作用,促进形成土壤团聚体,因此可有效防止水分和肥料的流失^[8,10-11],能有效促进植物生长。

为了进一步分析 T1 组中各处理的崩解情况,图 4 显示了膨润土不同质量分数情况下,T1 组中 5 个处理的平均崩解时间的变化趋势,由此可见随着膨润土质量分数的减少,颗粒肥的崩解时间也逐渐降低,且由膨润土制成的颗粒肥在水中崩解快。造成这一现象的原因为:①与膨润土中高含量的蒙脱石有关^[21],导致高膨胀容,从而使颗粒肥在较短的时间内就全部崩解。②膨润土和沼渣内的某些成分发生了化学反应,导致颗粒肥与水结合后就分解开来,这些原因还需要进一步研究。

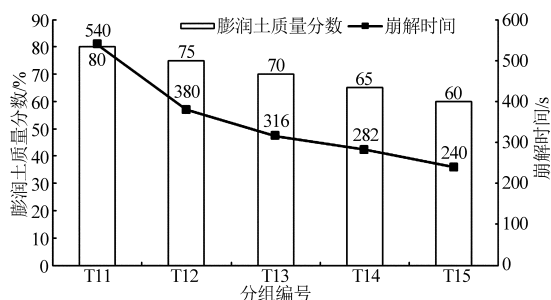


图 4 生物氢烷工程沼渣颗粒肥水中崩解情况

Fig.4 Disintegration of biohythane residue granular-fertilizer

3.2 生物氢烷工程沼渣颗粒肥的保水特性

3.2.1 吸水率、保水率

图 2 反映了 T2、T3、T4 组颗粒肥的吸水率和保

水率变化。由图中可以看出,吸水率除 T36 外均大于 1,可见这 3 种配方中颗粒肥的吸水性能较好,图 2b、2c 中颗粒肥的吸水率随 PAM 含量的增加而降低。图 2a 中各处理的保水率明显大于图 2b 和 2c,而图 2c 中保水率随 PAM 的增加而增大。从差异性变化($p < 0.05$)和数值分析中可以看出,T21、T22、T32、T42 处理下颗粒肥的吸水和保水效果最佳。

3.2.2 膨胀率

从图 3a 可以看出 T2 组膨胀率逐渐降低,但前 3 种处理下降趋势不明显,T24 的下降幅度最大;图 3b 显示 T3 组膨胀率呈现波动的上升,T35 膨胀率最低,其他处理波动不明显;图 3c 中 T4 组的膨胀率则出现先增后减的趋势。膨胀率的大小依次为 T2、T3、T4,T2 组中膨胀率明显高于 T3 和 T4 组,这可能与 T3、T4 组加入了营养复配剂有关。文献^[22]指出,由聚丙烯酰胺-膨润土合成的复合材料,吸水膨胀速度快,膨胀率高,且影响的主要因素是膨润土的含量。由 T24 和 T35 可以看出,膨润土含量低,其膨胀率也相对较低。由此可以得出,除配方 T24、T35、T41 和 T43 外,其他处理的膨胀性能良好。

虽然 PAM 具有良好的吸水保水性能,但与膨润土接枝后更有利于提高肥料的保水率。赵田红等^[23]制备的膨润土-聚丙烯酰胺复合凝胶具有良好的吸水性和耐温耐盐性能;刘学贵等^[24]将聚丙烯酰胺改性膨润土制得的防渗材料,扩大了颗粒间隙、比表面积,更有利于吸附物质。同时,秸秆作为生物氢烷工程沼渣原料,本身不仅具有保水性能,而且将秸秆共聚接枝后制得的保水剂具有更加良好的吸水和保水性能^[25];由膨润土和纤维素制成的复合保水剂,吸水保水迅速,且成本低^[26];秸秆-膨润土-PAM 新型复合材料不仅可以显著提高土壤的持水性^[27],还可明显促进土壤对 NH₄⁺-N 的保持^[28]。所以配方 T21、T22 和 T32 更满足肥料对保水性能的要求。

3.3 生物氢烷工程沼渣颗粒肥的经济价值

现在市场上膨润土、聚丙烯酰胺的价格分别是 300 元/t、15 000 元/t,而营养复配剂的市场价格,例如尿素为 1 600 元/t,磷酸一铵为 2 000 元/t,氯化钾为 2 000 元/t。针对这些单价,得出各配方的原料成本(不计沼渣),如表 4 所示。

由此可见,配方 T1 中的颗粒肥成本在 200 元/t 左右,配方 T3 和 T4 原料成本在 1 000 ~ 2 000 元/t,但是配方 T21 和 T22 成本则分别达到了 3 900 元/t 和 5 100 元/t,造成这一因素的原因主要是聚丙烯酰胺加入量过高,导致生产成本增加,因此在实际生产中,在不影响颗粒肥成球效果的前提下应该尽量减少聚丙烯酰胺的投入量。

表 4 生物氢烷工程沼渣颗粒肥的原料成本

Tab. 4 Material cost of biohythane residue granular-fertilizer

元/t

分组	T11	T12	T13	T14	T15	T21	T22	T23	T24	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T41	T42	T43
价格	240	230	210	200	180	3 900	5 100	1 770	1 250	910	990	1 130	1 270	1 600	2 200	1 160	1 490	2 090

4 结论

(1) 生物氢烷工程沼渣颗粒肥的粒径分布为 $(3.16 \pm 0.15) \sim (4.39 \pm 0.36)$ mm, 抗压强度分布为 $(6.82 \pm 0.59) \sim (42.95 \pm 4.78)$ N。当膨润土质量分数由 60% 升到 80% 时, 抗压强度从 (13.90 ± 1.31) N 增加到 (25.70 ± 3.26) N。当 PAM 的质量分数由 4.84% 升到 11.11% 时, 粒径和抗压强度也均变大。

(2) 加入营养复配剂后的 T3、T4 组颗粒肥, 有机质质量分数可达 28.86% 以上, 总养分质量分数达到 15.40% 以上, 满足国家有机-无机复混肥对 I 型肥料的要求。

(3) 仅加入膨润土的 T1 组颗粒肥 24h 的崩解率达 100%, 可作为速效肥施用于土壤中; 加入 PAM 后的 T2、T3、T4 组颗粒肥在水中 24 h 后的崩解率为 0, 可作为具有土壤生态修复功能的缓释肥进一步开

发利用。

(4) 当 PAM 的掺量由 4.84% 增加到 11.11% 时, 吸水率从 199% 下降到 157%, 保水率则从 64% 上升到 103%, 膨胀率在 PAM 掺量为 7.06% 时达到最大值为 8.16%。

(5) 膨润土-PAM 复合粘结剂配方中, T21、T22 吸水率达 428%, 保水率达 234%, 膨胀率达 26.53%, 且两者差异不显著, 为 T2 组中保水性能良好的两个配方; T3 组中保水性能最佳的配方为 T32, 吸水率可达 128%, 保水率为 50%, 膨胀率为 10.02%。

(6) 实际生产中在不影响成球效果的前提下, 应尽量减少聚丙烯酰胺的投入量以降低颗粒肥的生产成本。配方 T3、T4 中营养复配剂的添加量在蔬菜适宜种植范围内, 有利于进一步研究颗粒肥的水养分释出对作物生长的影响, 以便为生物氢烷工程沼渣颗粒肥规模化生产提供技术支持。

参 考 文 献

- 1 范如芹, 罗佳, 高岩, 等. 农业废弃物的基质化利用研究进展[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(2): 442-448.
Fan Ruqin, Luo Jia, Gao Yan, et al. Advances in utilization of agricultural wastes in soilless growing medium production [J]. Journal of Jiangsu Agricultural Science, 2014, 30(2): 442-448. (in Chinese)
- 2 刘爽, 王宇欣, 刘志丹. 生物氢烷工程沼渣用于油菜及菠菜育苗的效果[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 225-232.
Liu Shuang, Wang Yuxin, Liu Zhidan. Application effect of biohythane residue on Brassica and Spinacia seedling production [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(11): 225-232. (in Chinese)
- 3 Liu Z D, Zhang C, Lu Y, et al. States and challenges for high-value biohythane production from waste biomass by dark fermentation technology [J]. Bioresource Technology, 2013, 135: 292-303.
- 4 郭肖颖, 朱丽君, 李布青. 沼渣肥的特性与应用效果研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(27): 14986-14988.
Guo Xiaoying, Zhu Lijun, Li Buqing. Characteristics and application effects of biogas residue [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2010, 38(27): 14986-14988. (in Chinese)
- 5 李巡案, 包先斌, 慕峰, 等. 生物沼气产业价值链探索与分析[J]. 可再生能源, 2014, 32(3): 348-353.
Li Xun'an, Bao Xianbin, Mu Feng, et al. Exploration and analysis of industry value chain for biogas [J]. Renewable Energy Resources, 2014, 32(3): 348-353. (in Chinese)
- 6 Chien S H, Prochnow L I, Cantarella H. Recent development of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts [J]. Advances in Agronomy, 2009, 102: 267-322.
- 7 Hanafi M M, Eltaib S M, Ahmad M B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertiliser [J]. European Polymer Journal, 2000, 36(10): 2081-2088.
- 8 Ni Boli, Liu Mingzhu, Lu Shaoyu, et al. Multifunctional slow-release organic-inorganic compound fertilizer [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(23): 12373-12378.
- 9 王文婷, 王云海. 膨润土改良土壤技术的研究进展[J]. 环境科技, 2011, 24(1): 66-68, 72.
Wang Wenting, Wang Yunhai. Research progress on bentonite as soils modifier [J]. Environmental Science and Technology, 2011, 24(1): 66-68, 72. (in Chinese)
- 10 张蕊, 于健, 白岗栓. 聚丙烯酰胺在农业生产中的应用及研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(10): 6093-6095, 6101.
Zhang Rui, Yu Jian, Bai Gangshuan. Application and research of PAM in agriculture production [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(10): 6093-6095, 6101. (in Chinese)
- 11 赵智, 唐泽军, 杨凯, 等. PAM 与粉煤灰改良沙土中重金属的迁移和富集规律[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 83-89.

- Zhao Zhi, Tang Zejun, Yang Kai, et al. Metal transportation and accumulation in sandy soil amended by fly ash and PAM[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(7):83-89. (in Chinese)
- 12 赵智,唐泽军,宋满刚,等. 粉煤灰和聚丙烯酰胺对沙质土壤中玉米生长的影响[J]. 农业机械学报,2013,44(6):136-142.
- Zhao Zhi, Tang Zejun, Song Man'gang, et al. Effect of sandy soils amendment with fly ash and polyacrylamide on corn growth [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(6):136-142. (in Chinese)
- 13 李彦明. 新型堆肥有机复混肥造粒粘结剂的研制与应用[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- Li Yanming. Development and application of new type granulation binder for organic compound fertilizer based compost[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 14 秦蓓, 张小清, 陈慧英, 等. 纤维素接枝丙烯酸类吸水剂改性聚氨酯软质泡沫塑料的研究[J]. 化工新型材料, 2005, 33(10):84-86.
- Qin Bei, Zhang Xiaoqing, Chen Huiying, et al. Study of soft polyurethane foam modified by cellulose-acrylic acid graft water absorbent[J]. New Chemical Materials, 2005,33(10):84-86. (in Chinese)
- 15 纪蓓, 薛彦辉. 粉煤灰/膨润土-聚丙烯酸盐聚合化学固沙材料的研究[J]. 环境科学与管理, 2009,34(2):83-86.
- Ji Bei, Xue Yanhui. The study about the solidifying-sand materials with the fly ash and bentonite by polyacrylate polymerizing [J]. Environmental Science and Management, 2009,34(2):83-86. (in Chinese)
- 16 孙增智, 申爱琴, 胡长顺, 等. 聚丙烯酰胺改性水泥砂浆的强度与工艺研究[J]. 公路交通科技, 2006,23(4):33-36.
- Sun Zengzhi, Shen Aiqin, Hu Changshun, et al. Study on technology and strength of polyacrylamide modified cement mortar[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006,23(4):33-36. (in Chinese)
- 17 张玉佩, 申向东. 聚丙烯酰胺对水泥土强度影响的试验研究[J]. 硅酸盐通报, 2012,31(6):1636-1640.
- Zhang Yupe, Shen Xiangdong. Experimental study the impacts of PAM on cement soil strength[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2012,31(6):1636-1640. (in Chinese)
- 18 朱素娟, 陈永, 邓湘云, 等. 膨润土含量对石英质多孔陶瓷强度的影响[J]. 材料导报, 2010,24(14):70-73,88.
- Zhu Sujuan, Chen Yong, Deng Xiangyun, et al. Influence of bentonite dosage on strength of porous ceramic with quartz sand[J]. Material Review, 2010,24(14):70-73,88. (in Chinese)
- 19 卢其明, 罗志刚, 刘安勋, 等. 聚丙烯酰胺/膨润土复合水凝胶的结构及粘弹性[J]. 高分子材料科学与工程, 2005,21(6):158-161.
- Lu Qiming, Luo Zhigang, Liu Anxun, et al. Structure and viscoelasticity of polyacrylamide/ bentonite composite hydrogels[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2005,21(6):158-161. (in Chinese)
- 20 GB 18877—2009 有机-无机复混肥料[S]. 2009.
- 21 张玉柱, 刘鹏君, 曹朝真, 等. 膨润土综合利用[J]. 河北理工学院学报, 2006,28(3):13-17.
- Zhang Yuzhu, Liu Pengjun, Cao Chaozhen, et al. Synthesis in utilizing bentonite[J]. Journal of Hebei Institute of Technology, 2006,28(3):13-17. (in Chinese)
- 22 刘学贵, 付建飞, 邵红, 等. 新型交联聚丙烯酰胺/膨润土复合防水材料的研究[J]. 矿冶工程, 2008,28(5):89-93.
- Liu Xuegui, Fu Jianfei, Shao Hong, et al. Study on new type cross-linked polyacrylamide/bentonite waterproof composite[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2008,28(5):89-93. (in Chinese)
- 23 赵田红, 夏吉佳, 耿向飞, 等. 膨润土-聚丙烯酰胺型复合凝胶的合成及性能[J]. 精细石油化工, 2013,30(4):14-18.
- Zhao Tianhong, Xia Jijia, Geng Xiangfei, et al. Synthesis and performance evaluation of bentonite - PAM compound gel grain [J]. Speciality Petrochemicals, 2013,30(4):14-18. (in Chinese)
- 24 刘学贵, 刘长风, 高品一, 等. 聚丙烯酰胺改性膨润土防渗材料的制备及其表征[J]. 新型建筑材料, 2012(4):10-13.
- Liu Xuegui, Liu Changfeng, Gao Pinyi, et al. Preparation and characterization of polyacrylamide modified bentonite as impermeability material[J]. New Building Materials, 2012(4):10-13. (in Chinese)
- 25 刘娜. 秸秆制备土壤保水剂及其性能表征[D]. 太原: 中北大学, 2010.
- Liu Na. Straw preparation and characterization of soil water retaining agent[D]. Taiyuan: North University of China, 2010. (in Chinese)
- 26 张秀兰, 栗印环. 微波辅助膨润土-纤维素系复合保水剂的制备研究[C]//河南省化学会 2012 年学术年会论文集, 2012: 357-357.
- 27 何熙, 张玉涛, 李佳佳, 等. 秸秆-膨润土-PAM 改良材料对不同类型土壤田间持水能力的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012,34(11):76-80.
- He Xi, Zhang Yutao, Li Jiajia, et al. Effects of straw - bentonite - PAM improved materials on the water-holding capacity of different soils[J]. Journal of Southwest University: Natural Science, 2012,34(11):76-80. (in Chinese)
- 28 李映廷, 刘双营, 赵秀兰, 等. 秸秆-膨润土-聚丙烯酰胺对砂质土壤吸附氮素的影响[J]. 农业工程学报, 2012,28(7):111-116.
- Li Yingting, Liu Shuangying, Zhao Xiulan, et al. Effect of straw - bentonite - polyacrylamide composites on nitrogen adsorption of sandy soil[J]. Transaction of the CSAE, 2012,28(7):111-116. (in Chinese)