

# 生物氢烷工程沼渣用于油菜及菠菜育苗的效果

刘爽, 王宇欣<sup>\*</sup>, 刘志丹

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为探究将生物氢烷工程沼渣应用于蔬菜育苗基质生产的可行性, 以油菜品种“华绿四号”、菠菜品种“先锋菠菜”为材料, 按不同体积比将生物氢烷工程沼渣与土壤或草炭、蛭石和珍珠岩三者混配作为育苗基质, 通过穴盘育苗试验研究生物氢烷工程沼渣对基质理化性质和油菜、菠菜幼苗生长的影响。结果表明: 添加生物氢烷工程沼渣可显著改善基质的容重、总孔隙度、有机质含量、pH值和电导率EC (electrical conductivity) 值等理化性质; 适宜配比的生物氢烷工程沼渣对幼苗生长发育有一定的促进作用, 其中T6 (生物氢烷工程沼渣20%、草炭30%、蛭石25%、珍珠岩25%) 的基质配方较为适宜, T6中油菜出苗率显著高于CK3 (草炭50%、蛭石25%、珍珠岩25%) ( $P < 0.05$ ), 提高了14.3%, 菠菜出苗率提高了12.4%, 幼苗的株高、茎粗、单株叶面积显著高于或接近CK3 ( $P < 0.05$ ), 幼苗根冠比和壮苗指数与CK3无显著差异; 添加生物氢烷工程沼渣可使幼苗地下部生物量显著升高 ( $P < 0.05$ ), 促进根系生长, 使幼苗地上部、地下部生物量分配更加均衡。因此, 生物氢烷工程沼渣具有一定的肥效, 可部分替代草炭用于叶菜育苗基质生产, 但使用前可考虑进行好氧堆肥处理进一步腐熟或与氮肥配施以提高肥效。

**关键词:** 沼气; 肥料; 应用; 生物氢烷工程; 沼渣; 穴盘育苗

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.11.028

中图分类号: S634.3; S636.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-11-0225-08

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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(11): 225-232. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

近年来, 随着环境污染与能源短缺问题的日益加剧, 厌氧发酵技术在沼气、氢气、氢烷燃气等可再生能源的开发、污水处理及有机废弃物处理等方面得到广泛应用。沼渣是厌氧发酵残留物底层的泥状沉渣, 随着沼气工程、生物制氢工程及生物氢烷工程等的不断发展, 沼渣产量稳步上升, 沼渣大量堆积会造成资源浪费与环境的二次污染。现有研究表明, 沼气工程沼渣有机质含量丰富、营养成分全面, 肥效显著, 作为一种固态有机肥, 既可作为基肥与追肥<sup>[1-2]</sup>, 也可作为有机栽培基质的原料<sup>[3]</sup>。目前, 沼气工程沼渣已被广泛应用于作物的有机栽培,

可有效促进作物生长发育, 在提高作物产量的同时改善作物品质, 并可改善土壤及基质的理化性质、促进养分转化<sup>[4-6]</sup>。

生物氢烷工程是一种通过两阶段厌氧暗发酵技术处理废弃生物质以联产氢气和甲烷的工程技术, 在处理有机废弃物的同时又可获得清洁能源, 制得的以生物氢气和生物甲烷为主要成分的混合气 (生物氢烷) 可作为清洁的车用燃料, 且能源回收效率高于单一的生物制氢或生物制甲烷<sup>[7]</sup>。目前, 对生物氢烷工程的研究主要集中在两阶段厌氧发酵工艺的反应底物、微生物菌群、反应器结构和H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>比例等方面<sup>[7]</sup>, 对生物氢烷工程沼渣在蔬菜育苗中应用效果的研究则相对较少。随着生物氢烷工程研究的不断发展和规模的逐渐扩大, 将生物氢烷工程沼渣应用于蔬菜育苗基质的生产可为生物氢烷工程的沼渣消纳提供一种有效途径。本研究以油菜和菠菜2种叶菜为试材, 以生物氢烷工程沼渣为有机基质原料, 研究不同沼渣对比对基质理化特性及油菜和菠菜幼苗生长发育的影响, 旨在初步探究将生物氢烷工程沼渣应用于蔬菜育苗基质生产的可行性, 并筛选出适宜油菜、菠菜等叶菜幼苗生

收稿日期: 2013-09-18 修订日期: 2014-05-09

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目 (3132026); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2013YJ009)。

作者简介: 刘爽 (1990—), 女, 山东潍坊人, 主要从事农业生物质与能源工程方面的研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院 100083。Email: seekerliu@163.com

\*通信作者: 王宇欣 (1967—), 男, 河南平顶山人, 博士, 副教授, 主要研究方向为农业生物环境与能源工程。北京 中国农业大学水利与土木工程学院农业生物环境与能源工程系, 100083。

Email: wangyuxin@cau.edu.cn

长的生物氢烷工程沼渣育苗基质配方。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 供试蔬菜

供试蔬菜为油菜和菠菜。油菜品种为杂交油菜“华绿四号”（北京京益种苗蔬菜研究中心），种子发芽率（7 d）95%以上；菠菜品种为杂交菠菜品种 F1“先锋菠菜”（北京市特种蔬菜种苗公司），种子发芽率（21 d）85%以上。

#### 1.1.2 供试土壤、沼渣与基质材料

供试土壤取自中国农业大学东校区以北小片荒地，在自然通风状态下风干后粉碎备用。供试生物氢烷工程沼渣主要为玉米秸秆经产氢阶段（在弱酸性、中温发酵条件下厌氧发酵制取氢气）后的发酵残余物，将发酵残渣和发酵液进行分离，并将分离得到的沼渣风干、粉碎后备用。用筛分法测得粉碎后生物氢烷工程沼渣的粒度区间分布情况为：0~0.30 mm

（60 目）的颗粒占总质量的（48.49±1.18）%，0.30~0.90 mm（20 目）的颗粒占总质量的（46.34±1.94）%，大于 0.90 mm 的颗粒占总质量的（5.17±0.41）%。经北京市农林科学院植物营养与资源研究所检测，该生物氢烷工程沼渣所含不同营养成分的质量分数约为有机质 75.9%、腐植酸 27.9%、全碳 46.6%、全氮 0.90%、全磷（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）0.57%、全钾（K<sub>2</sub>O）0.59%、全钙 1.94%、全镁 0.76%、有效磷（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）0.44%、有效钾（K<sub>2</sub>O）0.53%，其中有机质与腐植酸含量均高于沼气工程沼渣<sup>[1]</sup>，C/N 为 51.8，另外还含有铁、锌、钼、铜、锰、硼等丰富的微量元素，重金属元素（镉、铬、铅、汞、砷）含量符合中国农业行业标准有机肥料重金属含量限量指标要求<sup>[8]</sup>。供试基质材料草炭、蛭石和珍珠岩均由北京振泰园艺设施有限公司提供，草炭产自东北长白山，蛭石为园艺用蛭石，粒度规格 1~2 mm；珍珠岩为园艺用珍珠岩，粒度规格 3~5 mm。供试土壤、沼渣与基质材料的基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤、沼渣、基质材料基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil, biohythane residue and substrate materials

供试材料 Sample	容重 Bulk density/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度 Total porosity/%	有机质质量分数 Organic matter content/%	pH 值 pH value	电导率 EC Electronical conductivity/(mS·cm <sup>-1</sup> )
土壤 Soil	1.17±0.03	49.33±2.87	2.84±0.16	7.42±0.05	0.11±0.01
生物氢烷工程沼渣 Biohythane residue	0.13±0.01	81.55±2.51	94.30±0.19	6.04±0.14	0.68±0.03
草炭 Peat	0.76±0.03	57.16±1.18	20.90±0.30	6.26±0.05	2.39±0.03
蛭石 Vermiculite	0.19±0.05	71.49±0.8	1.22±0.15	7.23±0.04	0.03±0.02
珍珠岩 Perlite	0.10±0.01	58.57±2.09	2.13±0.22	7.59±0.09	0.13±0.02

### 1.2 试验设计

#### 1.2.1 试验时间与地点

本试验于 2013 年 1 月 8 日至 2013 年 2 月 4 日在中国农业大学水利与土木工程学院顶楼温室进行油菜与菠菜穴盘育苗试验，共计 28 d。

#### 1.2.2 试验方案

试验以土壤（CK1）、生物氢烷工程沼渣（CK2）及普通基质配方 CK3（草炭、蛭石、珍珠岩体积比为 2:1:1）为对照，设计了将沼渣按不同体积百分比与土壤混合或以相同比例替代普通基质配方中草炭的共计 9 个处理，每个处理 3 个重复。试验各处理具体配比如表 2 所示，按沼渣配比的不同可将 12 个处理分为 CK1、T1~T4（沼渣与土壤混配的营养土基质）、CK2 和 CK3、T5~T9（沼渣与草炭、蛭石、珍珠岩混配的有机复合基质）2 组：T1~T4、CK2 按不同体积百分比以供试沼渣替代 CK1 中的土壤，T5~T9 按不同体积百分比以供试沼渣替代 CK3 中的草炭，2 组所取体积百分比均依次为 20%、40%、60%、80%和 100%。

表 2 不同处理基质体积配比

Table 2 Volume ratio of compound substrate formula for different treatments

处理 Treatments	体积配比 Volume percentage/%				
	土壤 Soil	沼渣 Biohythane residue	草炭 Peat	蛭石 Vermiculite	珍珠岩 Perlite
CK1 (0)	100	0	0	0	0
T1 (20%)	80	20	0	0	0
T2 (40%)	60	40	0	0	0
T3 (60%)	40	60	0	0	0
T4 (80%)	20	80	0	0	0
CK2 (100%)	0	100	0	0	0
CK3 (0)	0	0	50	25	25
T5 (20%)	0	10	40	25	25
T6 (40%)	0	20	30	25	25
T7 (60%)	0	30	20	25	25
T8 (80%)	0	40	10	25	25
T9 (100%)	0	50	0	25	25

注：CK1、T1~T4、CK2 括号内数值表示基质所含供试沼渣占 CK1 中土壤的体积百分比，CK3、T5~T9 括号内数值表示基质所含供试沼渣占 CK3 中草炭体积百分比。

Note: Percentages in the parentheses of CK1, T1-T4, CK2 indicate volume ratios of biohythane residue in different substrates to soil in CK1. Percentages in the parentheses of CK3, T5-T9 refer to volume ratios of biohythane residue in the substrates to peat in CK3.

### 1.2.3 试验实施与管理

选种并用凉水浸泡 12 h 后, 将油菜和菠菜种子播入穴盘, 覆盖厚度 0.5 cm 左右相应基质后浇透水, 置于温室中育苗。整个育苗期内各处理均不施加任何肥料, 只每 2 d 浇一次清水, 视天气情况调整并保证各处理间灌水量相同。出苗后, 每天记录出苗率直至出苗稳定。于育苗第 18 天起, 每隔 2 d 观察记录幼苗的形态指标。育苗第 28 天时测定幼苗生物量, 并计算幼苗根冠比、壮苗指数, 同时测定不同处理基质的理化性质。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 基质理化性质测定

对不同基质基本理化性状的测定主要包括容重、总孔隙度、有机质含量、pH 值和电导率 EC (electrical conductivity) 值 5 项指标。以常用基本方法进行容重与总孔隙度的测定<sup>[9]</sup>。有机质含量测定在箱式电阻炉 (型号 SX2-12-10, 天津市中环实验电炉有限公司) 中进行, 采用灼烧法 (105℃ 下烘干基质在 550℃ 下灼烧 2 h)。pH 值和 EC 值的测量采用风干基质与去离子水体积比 1:5 稀释法, 充分搅拌 15 min 后静置 1 h, 用笔式 pH 值/EC 值测定仪 (型号 HI 98130, 意大利哈纳 HANNA 公司) 测得上清液的 pH 值和 EC 值。

#### 1.3.2 幼苗生长指标测定

幼苗生长指标主要包括出苗率、株高、茎粗、单株叶面积、地上部和地下部干鲜质量等。自播种 18 d (2 叶 1 心) 起, 每隔 2 d 记录一次株高、茎粗和单株叶面积至苗龄 27 d。株高用直尺测量, 为自基质表面至幼苗心叶顶端的距离。茎粗用游标卡尺

测量, 测点为子叶下端。叶面积测量采用长宽系数法, 计算幼苗单株真叶叶面积之和。苗龄 28 d 时用精确度为 0.0001 g 的电子分析天平称量幼苗地上部、地下部干鲜质量: 将幼苗洗净吸干水分后称量得地上部、地下部鲜质量, 将幼苗地上部与地下部置于 105℃ 下杀青 0.5 h, 80℃ 下烘干 12 h 至恒质量后, 称量得幼苗地上部与地下部干质量<sup>[10]</sup>。根冠比 = 地下部干质量/地上部干质量<sup>[11]</sup>。壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干质量/地上部干质量) × 全株干质量<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用软件 Microsoft Excel 2003 进行试验数据的整理与作图, 采用软件 SPSS 19.0 进行单因素方差分析, 以 Duncan 新复极差法检验各处理平均数之间差异的显著性, 从而进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同沼渣对比对基质理化性质的影响

由表 3 可知, CK2 (生物氢烷工程沼渣) 的容重显著低于 CK1 (土壤) 和 CK3 (普通基质), 总孔隙度显著高于 CK1、CK3。随着沼渣配比的增加, 处理 T1~T4 及 T5~T9 容重均显著下降, 且当沼渣配比为 0~80% 时, 相同沼渣配比下营养土基质的容重显著大于有机复合基质; T1~T4 总孔隙度显著增大, T5~T9 总孔隙度则无显著差异。这说明添加供试沼渣可显著降低基质容重; 可显著提高营养土基质的总孔隙度, 但对有机复合基质的总孔隙度无显著影响, 这主要是由于沼渣粒径偏小, 容重小, 相较于土壤而言, 与普通基质组分的粒径、容重及孔隙度较为接近。

表 3 各处理基质的理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of compound substrates from different treatments

处理 Treatments	容重 Bulk density/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度 Total porosity/%	有机质质量分数 Organic matters content/%	pH 值 pH value	电导率 EC Electronical conductivity/(mS·cm <sup>-1</sup> )
CK1	1.17±0.03 a	49.33±2.87 f	2.84±0.16 j	7.42±0.05 a	0.11±0.01 h
CK2	0.13±0.01 j	81.55±2.51 a	94.30±0.19 a	6.04±0.14 cd	0.68±0.03 cd
CK3	0.48±0.02 e	60.49±3.56 de	14.68±0.59 g	6.21±0.10 b	1.26±0.03 a
T1	0.98±0.02 b	46.62±7.52 f	6.73±0.52 i	7.42±0.01 a	0.27±0.01 g
T2	0.77±0.02 c	57.00±1.45 e	9.21±0.08 h	7.43±0.04 a	0.36±0.04 f
T3	0.54±0.02 d	64.80±2.13 cd	16.79±0.71 f	7.41±0.01 a	0.52±0.12 e
T4	0.32±0.02 g	72.12±1.59 b	29.09±3.13 c	7.33±0.05 a	0.65±0.02 d
T5	0.39±0.01 f	62.01±0.84 cde	20.83±1.48 e	6.15±0.05 bc	1.20±0.09 a
T6	0.34±0.01 g	62.87±0.62 cde	22.40±0.38 de	6.10±0.03 bc	0.80±0.08 b
T7	0.25±0.01 h	63.88±0.64 cd	24.05±0.28 d	6.04±0.04 cd	0.75±0.06 bc
T8	0.20±0.02 i	65.35±0.59 cd	29.79±0.44 c	5.93±0.02 d	0.62±0.05 d
T9	0.15±0.01 j	67.85±4.57 bc	38.75±0.98 b	5.49±0.04 e	0.43±0.01 f

注: 每列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Means of each column followed by the same letters is not significantly different ( $P < 0.05$ ). The same as below.

如表 3 所示, 生物氢烷工程沼渣有机质含量最高, 显著高于 CK1、CK3; 呈微酸性, pH 值显著

低于 CK1、CK3; EC 值则显著高于 CK1、显著低于 CK3。随沼渣配比增加, 处理 T1~T4 有机质含

量和 EC 值显著上升, 基质始终偏碱性且 pH 值无显著差异; T5~T9 基质的有机质含量显著升高, pH 值和 EC 值显著下降。说明添加供试沼渣可显著提高育苗基质的有机质含量, 可显著提高土壤的 EC 值, 并使有机复合基质的 EC 值显著下降, 可显著降低复合基质 pH 值, 但对供试土壤 pH 值无显著影响, 这可能是由于供试沼渣中所含有机弱酸对偏碱性土壤 pH 值的改善效果不显著。

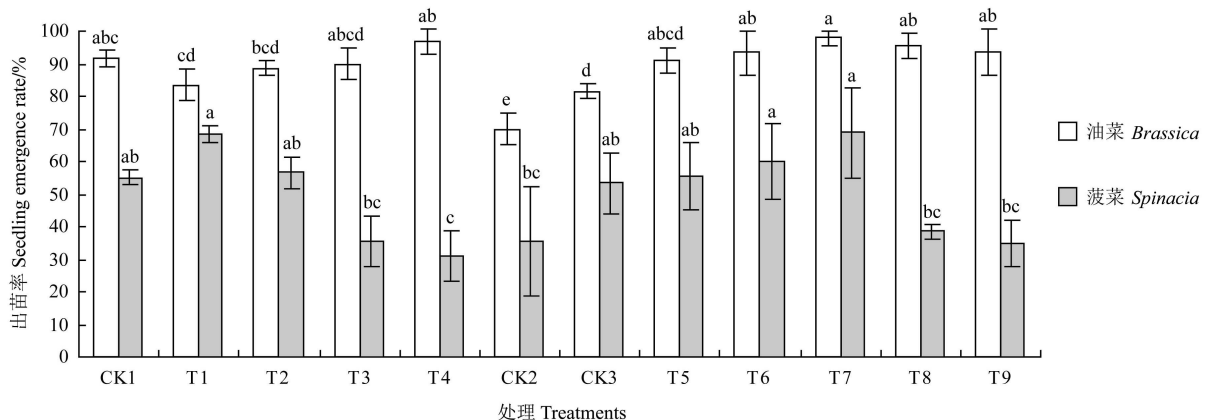
蔬菜育苗基质的适宜容重范围为 0.20~0.60 g/cm<sup>3</sup>, 总孔隙度需大于 60%<sup>[9]</sup>, pH 值以微酸性至中性为宜, 为 6.0~7.0 时适宜大多数蔬菜的生长<sup>[13]</sup>, EC 值则以 0.5~1.25 mS/cm 为宜<sup>[14]</sup>, 因此, 可初步筛选出对照 CK3 及处理 T5~T7 的基质配比较为适宜蔬菜幼苗的生长。在相同沼渣配比下, 添加生物甲烷工程沼渣的有机复合基质相较于营养土基质, 具有显著较低的容重和 pH 值, 较高的总孔隙度、有机质含量和 EC 值, 更符合蔬菜育苗基质的理化性状指标要求<sup>[9]</sup>。

## 2.2 不同沼渣对比对油菜和菠菜幼苗生长的影响

### 2.2.1 不同沼渣对比对油菜和菠菜出苗的影响

播种后, 油菜自第 2 天开始出苗, 至第 9 天所

有处理出苗稳定, 菠菜自第 4 天开始出苗, 至第 14 天出苗稳定。如图 1 所示, 处理 T7、T6 基质配比下油菜和菠菜的出苗率均较高, 最有利于油菜和菠菜出苗。中国农业行业蔬菜育苗基质标准要求, 种子发芽率 95% 以上时, 出苗率不应小于 90%<sup>[9]</sup>。各处理中, CK1、T3~T9 的油菜出苗率均不小于 90%, 其中出苗率最大的处理为 T7, 高于 CK1 组 6.8%、显著高于 CK3 组 19.8%, 其次为 T4、T8、T6。菠菜出苗率最大的处理同样为 T7, 分别比 CK1、CK3 高 25.3%、29.0%, 其次为 T1 和 T6。随沼渣配比升高, 在 T1~T4, CK2 和 T5~T9 两组中, 油菜和菠菜出苗率均呈先升后降的趋势。这与常鹏等<sup>[15]</sup>的沼气工程沼渣番茄育苗试验结果相似, 说明在一定范围内, 基质沼渣配比的升高有利于油菜、菠菜出苗, 但沼渣添加量过高则会对出苗产生抑制作用。随供试沼渣用量增加, 菠菜出苗率显著下降, 且下降趋势比油菜更早出现, 这说明沼渣配比升高对供试菠菜品种出苗的抑制作用比油菜品种更为明显。此外, 油菜、菠菜在有机复合基质中的出苗状况优于营养土基质, 这可能是由于粉碎后的土壤团粒结构被破坏, 营养土基质相对较差的通气状况影响了种子出苗<sup>[16]</sup>。



注: 每系列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。CK1~CK3、T1~T9 代表 12 种不同基质体积配方: CK1, 100% 土壤; CK2, 100% 供试沼渣; CK3, 50% 草炭、25% 蛭石、25% 珍珠岩; T1~T4, 以供试沼渣按 20%、40%、60% 和 80% 替代 CK1 中土壤; T5~T9, 以供试沼渣按 20%、40%、60%、80% 和 100% 替代 CK3 中的草炭。

Note: Columns with the same color followed by the same letters is not significantly different ( $P < 0.05$ ). CK1-CK3 and T1-T9 refer to 12 different substrate formulas in volume: CK1, 100% soil; CK2, 100% biohythane residue; CK3 refers to 50% peat, 25% vermiculite and 25% perlite; T1-T4, 20%, 40%, 60% and 80% of soil in CK1 were substituted with biohythane residue; T5-T9, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of peat in CK3 were substituted.

图 1 不同沼渣对比对油菜、菠菜出苗率的影响

Fig.1 Effect of different proportions of biohythane residue on emergence rates of *Brassica* and *Spinacia*

### 2.2.2 不同沼渣对比对油菜和菠菜幼苗形态指标的影响

叶菜苗期以营养生长为主, 幼苗的株高、茎粗和单株叶面积是衡量幼苗地上部生长的重要形态指标。沼渣配比为 0~80% 时, 观察到试验期内相同沼渣配比下有机复合基质叶菜幼苗的形态指标始终优于营养土基质 (数据未列出), 且沼渣配比

增加对 T1~T4 和 T5~T9 的幼苗形态指标影响不同。由表 4 可知, T1~T4 油菜和菠菜幼苗地上部长势整体较弱, 株高、茎粗、单株叶面积值均显著低于 CK1 或与 CK1 无显著差异, 这可能是由于基质有机质含量较低、pH 值为弱碱性, 不利于幼苗的生长, 同时风干粉碎处理破坏了土壤原有的团粒结构, 造成基质通气孔隙不足、总孔隙度偏低, 影

响了幼苗根系的呼吸作用及营养物质吸收<sup>[17]</sup>。此外，随沼渣配比升高，T5~T9 幼苗的形态指标均大致呈先升后降的趋势。这说明，一定范围内，有机复合基质中供试沼渣用量的增加有利于叶菜幼苗的生长发育，但沼渣用量过大则会使幼苗生长变缓，致使幼苗生长矮小，常鹏等<sup>[15]</sup>及张永峰等<sup>[18]</sup>

的蔬菜育苗试验均得出了类似结论。如表 4 所示，T1~T9 中油菜和菠菜幼苗株高、茎粗、单株叶面积最大的处理均为 T6，其次为 T5、T7。各处理中 T6 叶菜幼苗地上部整体长势最优，与 CK3 差异最小，说明 T6 基质对叶菜幼苗地上部的生长可实现与 CK3 相近的栽培效果。

表 4 不同沼渣配比油菜、菠菜幼苗形态指标的影响 (27 d)

Table 4 Effect of different proportions of biohythane residue on morphological indices of *Brassica* and *Spinacia* seedlings (27 d)

处理 Treatments	油菜 <i>Brassica</i>			菠菜 <i>Spinacia</i>		
	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	单株叶面积 Leaf area per plant/cm <sup>2</sup>	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	单株叶面积 Leaf area per plant/cm <sup>2</sup>
CK1	5.83±0.15 c	1.55±0.06 b	2.82±0.49 d	5.00±0.20 d	1.19±0.07 ab	1.57±0.33 b
CK2	3.70±0.10 def	1.29±0.04 c	1.22±0.37 e	2.67±0.31 f	1.06±0.05 c	0.38±0.06 c
CK3	7.50±0.56 a	1.76±0.10 a	7.59±0.66 a	6.17±0.45 ab	1.17±0.05 abc	2.85±0.71 a
T1	3.63±0.15 def	1.29±0.03 c	0.83±0.12 e	3.63±0.25 e	1.17±0.09 abc	1.01±0.10 bc
T2	3.57±0.12 ef	1.24±0.03 c	0.85±0.08 e	3.50±0.10 e	1.15±0.05 abc	0.99±0.13 bc
T3	3.43±0.15 ef	1.23±0.02 c	0.75±0.17 e	2.67±0.06 f	1.10±0.02 bc	0.71±0.16 c
T4	3.33±0.23 f	1.22±0.02 c	0.69±0.06 e	2.90±0.26 f	1.09±0.03 bc	0.54±0.06 c
T5	7.57±0.21 a	1.82±0.03 a	5.58±1.03 b	5.63±0.38 bc	1.21±0.06 ab	2.61±0.56 a
T6	7.60±0.10 a	1.83±0.01 a	5.92±0.28 b	6.27±0.21 a	1.23±0.15 a	3.13±0.18 a
T7	6.50±0.01 b	1.75±0.03 a	4.19±0.58 c	5.67±0.12 c	1.19±0.08 ab	2.54±0.03 a
T8	3.97±0.12 d	1.31±0.08 c	0.79±0.10 e	3.30±0.10 e	1.13±0.02 abc	1.12±0.10 bc
T9	3.77±0.06 de	1.23±0.01 c	0.53±0.04 e	2.67±0.15 f	1.15±0.05 abc	0.78±0.15 bc

### 2.3 不同沼渣比对油菜和菠菜幼苗生物量的影响

由表 5、表 6 可知，沼渣配比增加对 T1~T4 和 T5~T9 油菜和菠菜幼苗生物量的影响不同。随沼渣配比的增加，处理 T1~T4 中，油菜幼苗的地上部、地下部生物量无显著差异，根冠比显著下降；菠菜幼苗生物量则除地上部干质量下降不显著外，其余均显著下降，且壮苗指数显著下降。说明向土壤中生物氢烷工程沼渣量的增加对叶菜幼苗的生物量积累无法起到显著促进作用，甚至会将对根系生

长和壮苗生长产生一定的抑制作用，这与幼苗形态指标的变化趋势一致。处理 T5~T9 油菜、菠菜幼苗的地上部生物量虽显著低于对照 CK3，但地下部生物量显著高于 CK3 或与 CK3 无显著差异，根冠比显著上升，且菠菜幼苗壮苗指数也显著上升，说明有机复合基质中适宜的生物氢烷工程沼渣添加量可相对促进叶菜幼苗根系的生长与干物质积累，使幼苗地上部与地下部生物量分配更加均衡，从而有利于培育壮苗，原因可能是生物氢烷工程沼渣中所含的丰富腐植酸促进了幼苗根系的生长发育。

表 5 不同沼渣比对油菜幼苗生物量的影响

Table 5 Effect of different proportions of biohythane residue on *Brassica* seedling biomass

处理 Treatment	地上部鲜质量 Shoot fresh weight/mg	地上部干质量 Shoot dry weight/mg	地下部鲜质量 Root fresh weight/mg	地下部干质量 Root dry weight/mg	根冠比 Root-shoot ratio	壮苗指数 Seedling index/mg
CK1	104.2±5.3 d	7.5±0.5 d	13.1±3.3 d	2.6±0.1 ab	0.35±0.01 de	6.17±0.21 ab
CK2	61.9±4.2 d	4.7±0.2 de	26.0±0.1 bc	3.0±0.1 a	0.65±0.03 bc	7.55±0.05 a
CK3	421.7±31.6 a	24.4±2.5 a	23.6±3.0 cd	1.4±0.7 c	0.05±0.02 f	6.65±0.07 ab
T1	44.8±4.7 d	2.3±0.5 e	22.8±2.5 cd	2.7±0.5 ab	1.09±0.24 a	6.65±0.46 ab
T2	61.6±8.1 d	5.1±0.9 de	24.7±3.1 cd	2.0±0.1 abc	0.36±0.08 de	5.28±0.01 ab
T3	47.2±5.3 d	4.0±0.2 de	28.0±1.3 bc	1.7±0.3 bc	0.42±0.05 cde	4.47±0.54 b
T4	45.8±7.8 d	4.6±1.4 de	26.1±1.4 bc	2.3±0.8 abc	0.53±0.18 bcd	6.09±1.75 ab
T5	310.1±63.9 b	18.2±4.6 b	19.8±0.4 cd	1.2±0.3 c	0.07±0.01 f	6.83±0.69 ab
T6	327.5±77.9 b	20.6±3.8 b	30.7±13.0 bc	2.2±0.5 abc	0.10±0.01 f	7.67±1.49 a
T7	181.9±7.0 c	13.2±0.3 c	43.0±12.9 a	2.6±0.5 ab	0.20±0.04 ef	7.38±0.75 a
T8	61.2±5.2 d	4.8±0.4 de	38.6±5.4 ab	2.6±0.1 ab	0.52±0.04 bcd	6.41±0.38 ab
T9	47.6±7.9 d	3.8±1.1 de	30.2±6.5 bc	2.7±0.8 ab	0.75±0.22 b	6.94±2.06 ab

表6 不同沼渣配比对菠菜幼苗生物量的影响  
Table 6 Effect of different proportions of biohythane residue on *Spinacia* seedling biomass

处理 Treatment	地上部鲜质量 Shoot fresh weight/mg	地上部干质量 Shoot dry weight/mg	地下部鲜质量 Root fresh weight/mg	地下部干质量 Root dry weight/mg	根冠比 Root-shoot ratio	壮苗指数 Seedling index/mg
CK1	71.5±2.6 c	4.3±1.0 d	16.3±3.8 ef	1.0±0.2 ef	0.24±0.03 cd	2.55±0.56 e
CK2	29.9±7.8 f	2.9±1.8 d	13.4±2.7 ef	1.1±0.2 ef	0.46±0.22 bc	3.04±0.50 e
CK3	151.4±1.3 a	9.3±0.7 b	10.2±2.5 f	0.7±0.1 f	0.08±0.02 d	2.65±0.18 e
T1	61.6±5.3 cd	4.9±0.4 d	51.2±6.1 a	3.5±1.1 a	0.70±0.18 ab	8.80±2.94 a
T2	54.6±6.7 cde	3.2±0.6 d	36.3±3.2 b	2.1±0.2 bcd	0.66±0.07 ab	5.14±0.26 bcde
T3	45.5±9.6 def	3.1±0.6 d	36.6±3.1 b	1.8±0.2 bcde	0.62±0.19 ab	5.02±0.65 bcde
T4	43.0±15.1 ef	3.0±0.3 d	19.1±1.8 de	1.3±0.2 def	0.44±0.10 bc	3.36±0.32 de
T5	130.7±15.7 b	7.2±1.1 c	12.1±1.1 ef	1.1±0.4 ef	0.15±0.07 d	2.97±0.35 e
T6	135.6±6.6 ab	8.3±0.8 bc	24.1±0.7 cd	1.7±0.3 cde	0.21±0.02 cd	4.10±0.35 cde
T7	131.9±6.4 b	11.2±0.6 a	45.3±3.7 a	2.5±0.2 bc	0.22±0.01 cd	5.91±0.53 bcd
T8	51.5±9.6 de	3.5±1.5 d	27.4±6.4 c	2.6±0.2 b	0.71±0.06 ab	6.39±2.74 abc
T9	45.4±11.4 def	3.2±1.1 d	27.8±3.0 c	2.6±0.1 b	0.83±0.25 a	7.17±0.45 ab

如表5所示,处理T1~T9中,油菜幼苗地上部干、鲜质量以T6、T5显著高于其余各处理,其次为T7;幼苗地下部鲜质量最大的处理为T7,其次为T8、T6,分别比CK3高约82.2%、63.6%、30.1%;地下部干质量最大的处理为T1和T9,其次为T8和T7、T4、T6,其中T9、T8、T7显著高于CK3约92.9%、85.7%、85.7%,T6高于CK3约57.1%。整体而言,处理T6基质配比下油菜幼苗地上部与地下部的生物量积累状况最佳,与对照CK3相近,其次为T7。

如表6所示,T1~T4中T1菠菜幼苗的生物量积累状况最佳,地上部、地下部生物量均最大,且地下部生物量、根冠比与壮苗指数均显著高于CK1。T5~T9中,菠菜幼苗地上部鲜质量最大的处理是T6,其次为T7、T5;T7的地上部干质量最大,其次为T6、T5;T6~T9幼苗地下部干鲜质量均显著高于CK3。故T5~T9中T6、T7菠菜幼苗的生物量积累状况最佳,且地上部生物量显著高于T1。而T1菠菜幼苗的地下部生物量和根冠比显著高于T6、T7,则可能是T1基质透气性不足等因素导致幼苗短期内在有机质增多情况下的根系增生,或者供试沼渣过高的C/N导致幼苗根系氮素营养亏缺,从而引起根冠比升高<sup>[19]</sup>,即水分和氮素胁迫条件下幼苗根系根冠比的增加<sup>[20]</sup>。因此,整体而言,处理T6、T7菠菜幼苗的生物量积累状况最佳。

### 3 结论

本试验将生物氢烷工程沼渣按不同体积比与土壤或草炭、蛭石、珍珠岩三者混配作为育苗基质,通过穴盘育苗试验研究生物氢烷工程沼渣对育苗基质基本理化性质、油菜和菠菜幼苗生长及生物量积累等的影响。主要得出以下结论:

1) 适宜的生物氢烷工程沼渣配比可有效改善基质的理化性状。以供试沼渣、草炭、蛭石和珍珠岩混配得到有机复合基质的理化性状整体优于以供试沼渣和土壤混配得到的营养土基质,其中CK3(草炭50%、蛭石25%、珍珠岩25%)、T5~T7(沼渣10%~30%、草炭20%~40%、蛭石25%、珍珠岩25%)的基质理化性状较为适宜幼苗生长。

2) 相较于营养土基质,有机复合基质更有利于油菜、菠菜幼苗的生长。其中有机复合基质T6(沼渣20%、草炭30%、蛭石25%、珍珠岩25%)最适宜油菜、菠菜幼苗的生长,幼苗综合生长状况最佳;T6油菜、菠菜出苗率分别比CK3提高14.3%、12.4%,幼苗株高、茎粗、单株叶面积显著高于或接近CK3,幼苗根冠比和壮苗指数与CK3无显著差异。

3) 向基质中添加生物氢烷工程沼渣可显著提高油菜、菠菜幼苗地下部生物量,促进根系生长,从而使幼苗的地上部、地下部生物量分配更加均衡。供试生物氢烷工程沼渣具有一定肥效,可部分替代草炭用于叶菜育苗基质生产,但需考虑将其进行好氧堆肥处理进一步腐熟或与氮肥配施后再用于叶菜育苗基质的生产,以提高沼渣肥效。

#### [参 考 文 献]

- [1] 刘海龙,周琦,刘松奇,等.沼渣做基肥对辣椒日灼病及产量影响试验[J].中国沼气,2010,28(6):50-51.  
Liu Hailong, Zhou Qi, Liu Songqi, et al. Effect of base fertilizer of biogas residue on hot pepper sunscald[J]. China Biogas, 2010, 28(6): 50-51. (in Chinese with English abstract)
- [2] 林斌.菌糠、沼渣有机肥对脐橙产量和品质的影响[J].福建农业学报,2006(3):293-295.  
Lin Bin. Effecting of spent mushroom substrates (SMS)

- and biogas residue on improving navel orange production and its fruit quality[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2006(3): 293–295. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张笑千, 陈卓, 马皓诚, 等. 沼渣人工基质理化性状的典型相关的分析[J]. *北方园艺*, 2010(15): 197–200. Zhang Xiaoqian, Chen Zhuo, Ma Haocheng, et al. The canonical correlation analysis on physical and chemical properties of biogas residue artificial substrate[J]. *Northern Horticulture*, 2010(15): 197–200. (in Chinese with English abstract)
- [4] Abubaker J, Risberg K, Pell M. Biogas residues as fertilizers: Effects on wheat growth and soil microbial activities[J]. *Applied Energy*, 2012, 99: 126–134.
- [5] 高白茹, 常志州, 叶小梅, 等. 稻秸沼渣矿化特征及对青菜生长和品质的影响[J]. *中国环境科学*, 2012(4): 647–652. Gao Bairu, Chang Zhizhou, Ye Xiaomei, et al. Mineralization characteristics of biogas residues of rice straw and its effect on vegetable growth[J]. *China Environmental Science*, 2012(4): 647–652. (in Chinese with English abstract)
- [6] Banik S, Nandi R. Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of oyster mushroom[J]. *Industrial Crops and Products*, 2004, 20(3): 311–319.
- [7] Liu Z, 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.
- [8] NY 525-2011, 有机肥料[S].
- [9] NY/Y 2118-2012, 蔬菜育苗基质[S].
- [10] 葛萍萍, 王宇欣, 庞昌乐. 沼渣复合有机肥对盆栽万寿菊生长和发育的影响[J]. *北方园艺*, 2010(23): 71–74. Ge Pingping, Wang Yuxin, Pang Changle. Effect of residue compound organic fertilizer on the growth and development of marigold[J]. *Northern Horticulture*, 2010(23): 71–74. (in Chinese with English abstract)
- [11] 邢文鑫. 不同无土栽培方式对草莓生长和品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2013. Xing Wenxin. Effect of Different Soilless Culture Method on the Growth and Fruit Quality of Strawberry[D]. Beijing: China Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [12] 曲继松, 郭文忠, 张丽娟, 等. 柠条粉作基质对西瓜幼苗生长发育及干物质积累的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 291–295. Qu Jisong, Guo Wenzhong, Zhang Lijuan, et al. Influence of caragana-straw as nursery substrate on growth and dry matter accumulation of watermelon seedlings[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(8): 291–295. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张志斌, 徐知函, 贺超兴. 日光温室甜椒有机土壤栽培试验研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(增刊 2): 173–177. Zhang Zhibin, Xu Zhihan, He Chaoxing. Experimental study on organic soil cultivation of sweet pepper in solar greenhouse[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2005, 21(Supp.2): 173–177. (in Chinese with English abstract)
- [14] 袁巧霞, 王秀娟, 艾平. 沼渣有机栽培基质理化特性及栽培效果试验研究[J]. *农机化研究*, 2008(3): 157–161. Yuan Qiaoxia, Wang Xiujuan, Ai Ping. Research on physic-chemical properties of biogas residue organic substrate and culture test[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2008(3): 157–161. (in Chinese with English abstract)
- [15] 常鹏, 张英, 李彦明, 等. 沼渣人工基质对番茄幼苗生长的影响[J]. *北方园艺*, 2010(15): 134–137. Chang Peng, Zhang Ying, Li Yanming, et al. Influence of biogas residue of artificial substrates oil tomato seedling[J]. *Northern Horticulture*, 2010(15): 134–137. (in Chinese with English abstract)
- [16] 魏敏芝, 张凯, 高丽红, 等. 不同育苗基质对黄瓜穴盘苗质量的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2004(增刊 2): 245–249. Wei Minzhi, Zhang Kai, Gao Lihong, et al. The effects of different compound substrates on cucumber plug seedling quality[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2004 (Supp.2): 245–249. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] 张永峰, 祝延立, 那伟, 等. 沼渣作青椒育苗床土有机肥的效果[J]. *中国沼气*, 2010(4): 37–38. Zhang Yongfeng, Zhu Yanli, Na Wei, et al. The effect of digestate as organic fertilizer for green pepper seeding bed[J]. *China Biogas*, 2010(4): 37–38. (in Chinese with English abstract)
- [19] 马献发, 宋凤斌, 张继舟, 等. 根系对土壤环境胁迫响应的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(5): 44–48. Ma Xianfa, Song Fengbin, Zhang Jizhou, et al. Advances of research of roots responses to environmental stress on soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(5): 44–48. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王周锋, 玉米根系水导差异的生理生态原因分析[D]. 北京: 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心中国科学院水利部水土保持研究所, 2005. Wang Zhoufeng. Analysis on Physiological and Ecological Reason for Lpr Difference of Root System of Maize[D]. Beijing: Institute of Soil and Water Conversation, CAS & MWR, 2005. (in Chinese with English abstract)

## Application effect of biohythane residue on *Brassica* and *Spinacia* seedling production

Liu Shuang, Wang Yuxin<sup>\*</sup>, Liu Zhidan

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

**Abstract:** In order to explore the feasibility of biohythane residue application to plug production of vegetable seedlings, the effects of biohythane residue application on the physical and chemical properties of compound substrates and the growth of *Brassica* and *Spinacia* plug seedlings were investigated. Furthermore, a suitable compound substrate formula for *Brassica* and *Spinacia* seedling production were screened out. *Brassica* (hualv No. 4) and *Spinacia* (xianfeng) seedlings were grown in an experimental greenhouse located at China Agricultural University, irrigated with water once every 2 days. The biohythane residue was mixed with soil or peat, vermiculite and perlite according to different volume ratios. Twelve different substrates were tested: 100% soil (CK1), 100% biohythane residue (CK2), peat-based substrate of 50% peat, 25% vermiculite and 25% perlite (CK3), a mixture of 80% soil and 20% biohythane residue (T1), a mixture of 60% soil and 40% residue (T2), a mixture of 40% soil and 60% residue (T3), a mixture of 20% soil and 80% residue (T4), a mixture of 10% biohythane residue, 40% peat, 25% vermiculite and 25% perlite (T5), a mixture of 20% residue, 30% peat, 25% vermiculite and 25% perlite (T6), a mixture of 30% residue, 20% peat, 25% vermiculite and 25% perlite (T7), a mixture of 40% residue, 10% peat, 25% vermiculite and 25% perlite (T8), as well as a mixture of 50% residue, 25% vermiculite and 25% perlite (T9). The experiment was arranged in a randomized block design with 3 replications. The effects of biohythane residue application on seedling emergence rate, plant height, stem diameter, leaf area and seedling biomass were analysed as well as the physical and chemical properties of different substrates including bulk density, total porosity, organic matter, pH and EC values. The results indicated that the physical and chemical properties together with the growth and development of seedlings can be significantly improved by applying biohythane residue in seedling substrates. It was also suggested that compound substrates with 20% biohythane residue, 30% peat, 25% vermiculite and 25% perlite by volume (T6) were optimal to the growth and development of seedlings. Compared with CK3 (50% peat, 25% vermiculite and 25% perlite), the emergence rates of *Brassica* and *Spinacia* seedlings of T6 were significantly increased by 14.3% and 12.4%, respectively; the plant height, stem diameter and leaf area of *Brassica* and *Spinacia* seedling were all similar to or significantly higher than those of CK3; the root/shoot ratios and seedling indexes of *Brassica* and *Spinacia* seedlings between T6 and CK3 were not significantly different. With proper proportion of biohythane residue in the mixture, the root biomasses of *Brassica* and *Spinacia* seedlings were significantly increased, and the root growth could be promoted, indicating a more balanced distribution between seedling shoot and root biomasses. Consequently, with certain fertilizer efficiency, the biohythane residue can be used as one of substrate components to substitute peat partially or totally in compound substrates for leaf vegetable seedlings production. In order to increase fertilizer efficiency of the biohythane residue, aerobic composting treatment for further fermentation or combined fertilizing with nitrogen fertilizer should be considered before application.

**Key words:** biogas; fertilizers; applications; biohythane engineering; residue; plug seedling production