

中温干式发酵对互花米草产气和结构特性的影响^{*}

梁越敢^{1,2} 郑 正^{3**} 罗兴章³ 罗 艳¹ 张继彪³

(1. 南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京, 210093;
2. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥, 230036; 3. 复旦大学环境科学与工程系, 上海, 200433)

摘 要 利用渗滤床中温、干式发酵互花米草, 考察其技术可行性和产气特性; 通过元素分析、XRD 和 FT-IR 分析, 考察干式发酵及石灰堆沤预处理后互花米草物化性质的变化. 研究结果表明, 中温、干式发酵互花米草在技术上是可行的, 60 d 单位累积产气量为 $178.4 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \text{VS}$ (0°C , $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$), 总 TS 与 VS 去除率分别为 59.30% 和 60.11%; 互花米草的纤维结晶体为纤维素 I 型, 预处理和厌氧发酵未改变纤维素的晶型, 但结晶指数在预处理后降低了 15.42%; 由红外光谱可知, 预处理使聚糖解聚与木质素结构改变; 发酵主要使聚糖进一步的解聚、降解.

关键词 互花米草, 干式发酵, 产气特性, 结构变化.

互花米草是广泛分布在沿海滩涂的耐盐、耐淹的禾本科米草属多年生的草本植物^[1], 是保滩护堤的主要物种^[2]. 由于其繁殖能力强、生产能力高, 已造成了如绞杀土著物种、侵占航道、危害水产品养殖和诱发赤潮等^[3]一系列的环境问题, 因此被原国家环保局于 2003 年列入 16 种外来入侵物种之一. 互花米草主要由纤维素、半纤维素和木质素组成, 纤维素和半纤维素占到总量 65%—75%^[4], 碳、氢含量高, 有助于获得高热值的燃气^[5]. 厌氧发酵互花米草, 生产清洁的沼气是控制其过度扩张的有力措施之一.

目前对互花米草的厌氧发酵研究, 主要局限于湿式发酵, 如总固体浓度对发酵产气的影响^[6], 预处理^[6,7]和混合发酵对产气的强化^[8]; 以及半干式发酵下, 温度对发酵产气的影响^[9]. 由于干式发酵投料量大、节省池容、减少废水排放等优点, 引起广泛关注^[10]. 互花米草的干式发酵特性及其结构变化鲜见报道, 尚有待深入研究. 渗滤床反应器被公认为有发展潜力和应用前途的干式厌氧反应器^[11].

本文采用渗滤床中温、干式发酵互花米草, 考察互花米草干式发酵产沼气和物化性质与化学结构的变化, 重点考察发酵前后互花米草的组成、纤维素的结晶度和化学结构的变化.

1 材料与方法

1.1 试验材料与装置

供试的互花米草采自江苏省大丰县滩涂, 经晾晒干燥后切碎 (长度为 3—4 cm 左右) 待用. 互花米草中半纤维素、纤维素和木质素含量分别为 34.22%、32.88% 和 10.86%; C、H、N 元素的含量分别为 43.89%、6.30% 和 0.54%, 总固体 (TS) 与挥发性固体 (VS) 含量分别为 92.36%、92.42% TS, C/N 为 81.28. 试验用接种污泥是前次厌氧消化试验的消化液经沉淀后的浓缩液, 接种污泥的 TS、VS 分别为 3.76%、45.2% TS.

渗滤床厌氧反应器如图 1 所示, 内径 140 mm, 高度 590 mm, 总容积 9.2 L, 有效容积 6.0 L; 外套热水夹套, 循环热水保持反应器温度 $35 \pm 1^\circ\text{C}$, 夹套外包裹保温材料. 装置分为上、中、下三部分: 上部为布水区, 包括电动驱动布水器和水封盖, 水封盖与反应装置外壁通过扣板固定; 中部是反应区, 反应区产生液体经底部穿孔板进入下部; 下部是渗滤液贮存区, 反应器底部坡向渗滤液出口.

2010 年 7 月 15 日收稿.

* 十一·五太湖水专项, “复合污染型入湖河流武进港及小流域污染控制技术与工程示范” (2008ZX07101-004) 资助.

** 通讯联系人, E-mail: zzhengh@fudan.edu.cn

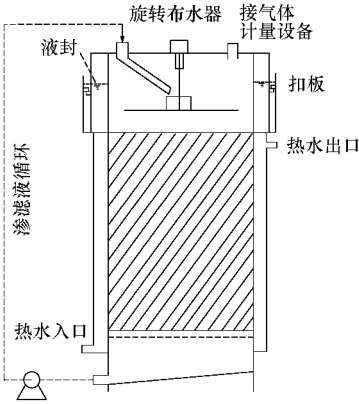


图 1 渗滤床反应装置图

Fig 1 Schematic diagram of leaching bed reactor

1.2 试验方法

干式发酵步骤: 首先互花米草用石灰、水和部分接种污泥 (质量比按, 互花米草 (湿重) : 石灰 : 水 : 污泥 = 1 : 0.05 : 1 : 0.6) 在塑料桶中混合均匀、封盖, 在 35℃下堆沤 10d 然后在堆沤后的物料中再添加污泥、水 (质量比按, 互花米草 : 污泥 : 水 = 1 : 2 : 0.5) 混合均匀后装入渗滤床反应器, 在 35℃下进行厌氧发酵, 厌氧反应的 TS 浓度约为 21%.

反应器渗滤液每天回流 2 次, 每次回流量 450 mL, 产生气体由湿式气体流量计测量. 每天测定渗滤液的 pH, 定期测定渗滤液的挥发酸; 取原、堆沤后和发酵 60d 后互花米草进行元素、X 衍射和红外光谱分析.

1.3 测定方法

湿式流量计计量气体产量, 转化为标准状态下 (0℃, 1.01 × 10⁵ Pa) 的气体体积, 气体组分分析采用化学吸收方法的奥式气体分析仪; 将消化液在 4℃下, 以 12000 r·min⁻¹ 离心 20 min, 取上清液过 0.45 μm 滤膜用于测定乙酸、丙酸和丁酸 (GC-2014 气相色谱仪), 总挥发酸按公式 (1) 计算^[12]; 消化液 pH 值用精密 pH 计测定 (METER 6219); 105℃烘 24 h 差重法测定 TS 马弗炉中 550℃灼烧 4 h 差重法测定 VS. 互花米草样品 45℃烘 48 h 后粉碎过 100 目筛, 用于元素分析 (CHN-O-Rapid 型元素分析仪)、X 射线衍射分析 (X'TRA 型 X 射线衍射仪)、红外光谱分析 (Nexus 870 型红外光谱仪).

[总挥发酸] = [乙酸] + 1.75 × $\frac{60.05}{74.08}$ × [丙酸] + 2.5 × $\frac{60.05}{88.11}$ × [丁酸]

(1)

纤维素的结晶指数 (Crl) 是指纤维素构成的结晶区占纤维素整体的百分率, 它反映了纤维素聚集时形成结晶的程度, 按公式 (2) 计算^[13].

$$Crl = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}}$$

(2)

式中, Crl 为结晶指数; I₀₀₂ 为 (002) 晶面衍射强度; I_{am} 为无定形区衍射强度.

2 结果与讨论

2.1 渗滤床产气特性

图 2 为渗滤床厌氧发酵互花米草标准状态下单位日产气量和累积产气量的变化曲线. 由图 2 可知, 单位日产气量经历了先快速增长后降低的过程, 在厌氧发酵的第 5 天, 达到了日产气量的最大值 16.1 mL·g⁻¹VS d⁻¹; 相应的单位累积产气量也经历先快速后缓慢的增长, 60d 厌氧发酵的单位累积产气量为 178.4 mL·g⁻¹VS (标准状态下). 与中温、湿式厌氧发酵互花米草的产气量相比, 本试验产气量低于 6% TS 下 (35℃下 358 mL·g⁻¹VS 折算成标准条件为 317.3 mL·g⁻¹VS) 的产气量^[6]、1.5 MPa 下高速汽爆法预处理的互花米草 293.6 mL·g⁻¹VS^[7]与混合发酵 309.05 mL·g⁻¹VS^[8]的产气量, 这可能主要与干式发酵传质受到限制相关, 同时也与不同预处理对木质纤维素结构影响程度不同有关; 也低于中温、半干式

厌氧发酵互花米草 $220\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}\text{VS}$ 的产气量^[9], 可能与原料本身差异性和本试验的 TS 浓度高有关. 根据原互花米草纤维素和半纤维素的含量, 根据 Buswell 和 Mueller 的方法^[14] 估算其理论产气量为 $498.2\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$, 60d 中温、干式厌氧发酵产气量占到理论产气量的 35.8%; 这也表明互花米草产气潜力尚有待进一步提高. 前 50d 发酵累计产气量达到 $169.8\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}\text{VS}_{\text{added}}$, 约为总产量的 95.2%, 为了节约池容, 渗滤床发酵互花米草的水力停留时间 (HRT) 可以缩减到 50d 发酵过程中甲烷含量在 54.2%—78.4% 之间变动, 甲烷含量较高, 可能与残余石灰吸收部分 CO_2 有关.

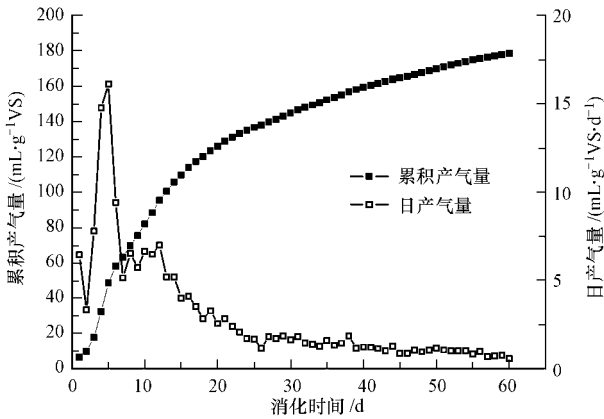


图 2 单位日产气量和累积产气量 (标准状态下 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.01\times 10^5\text{ Pa}$) 的变化曲线

Fig 2 Daily biogas yield and cumulative biogas yield in standard state during dry digestion

2.2 pH 与挥发性脂肪酸 (VFA) 的变化

图 3 为渗滤床厌氧发酵互花米草, 渗滤液中挥发酸与 pH 的变化曲线. 由图 3 可以看出总挥发酸在 $5099\text{--}779\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间变化, 除第 3、6、26 和 48 天超过 $2000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 其余浓度均在 $1650\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下. 发酵期间, 各种挥发酸的浓度按乙酸、丙酸和丁酸顺序依次降低. 乙酸浓度在发酵第 6 天达到最大值, 为 $3665\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 是由于堆沤对互花米草结构破坏使其易降解部分暴露, 被产酸微生物利用, 其产物超过产甲烷菌的利用, 导致酸的积累, 随后几天被很快地消耗掉; 发酵过程乙酸浓度多数在 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下. 丙酸、丁酸浓度均有起伏, 在第 48 天达到最大浓度分别在 725 和 $268\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 低挥发酸浓度表明互花米草等木质纤维素类水解产酸阶段是厌氧发酵的限速步骤^[15]. 由于互花米草的木质素含量较高, 它包裹纤维素和半纤维素, 阻碍微生物接近聚糖; 同时堆沤后的互花米草的结晶指数为 54.83%, 高的结晶指数表明纤维素高度有序, 结晶区比例占到 1/2 以上, 也限制了微生物的水解. 35.8% 理论产气量的低挥发酸浓度暗示互花米草预处理效果仍需要进一步提高, 以便更多地降低纤维素的结晶度和破坏木质素的包裹限制作用, 从而增加互花米草厌氧发酵的生物可利用性.

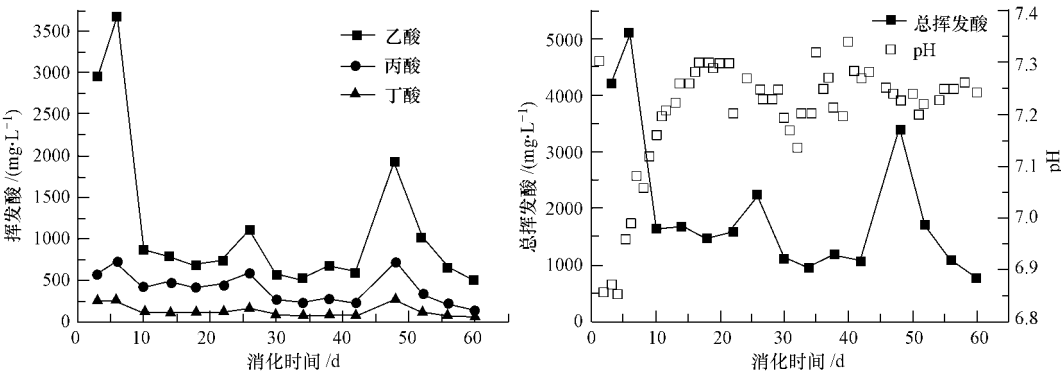


图 3 渗滤床干发酵过程中渗滤液中挥发酸和 pH 的变化

Fig 3 Change of VFA and pH in leaching liquor during dry digestion in leaching bed reactor

发酵过程 pH 值从开始的 7.30 降低第 2 天的 6.86 然后逐渐升高, 第 7 天升到 7.08 第 11 天升到 7.20 然后维持在 7.15—7.30 之间. 这是由于经过堆沤易降解部分被水解产酸细菌快速降解、产生酸,

随着酸被微生物的利用, pH 值逐渐升高, 这与图 3 中乙酸和总挥发酸浓度在第 3—6 天升高和第 6—22 天逐渐降低相对应. 与文献 [7-9] 相比, 石灰堆沤预处理大大降低了 pH 值的波动性, 避免高 TS 浓度下厌氧发酵酸化的危险.

2 3 固体组分的变化

互花米草在堆沤和发酵过程中的元素含量、总挥发固体变化见表 1. 由表 1 可以看出, 堆沤使互花米草的 C、H 元素含量略有降低, N 元素相对含量大幅度降低了 46.30%, 这可能与堆沤过程石灰对木质纤维结构的皂化作用^[16], 导致木质素结构破坏与溶出有关. 与堆沤相比, 发酵过程相应的 C、H 和 N 元素的相对含量分别升高了 9.13%、6.84% 和 72.41%, 这是因为发酵过程, 微生物对半纤维素和纤维素的利用与消耗; 堆沤和发酵整个过程中, TS 与 VS 相对含量分别增加了 3.12% 和 1.49%. 扣除堆沤后取样量 36.20 g 则堆沤和发酵过程, 总 TS 与 VS 去除率分别为 59.30% 和 60.11%. 同时从表 1 可以看出, 不同阶段的互花米草 C/N 比都远离厌氧发酵最佳的 (20—30): 1 范围, 这也解释了文献 [8] 通过混合发酵调整 C/N 后, 高于本试验产气量的部分原因.

表 1 互花米草的基本组分变化

Table 1 The changes of the basic properties of raw and treated smooth cordgrass

	C / %	H / %	N / %	O ^a / %	C / N	TS / %	VS / TS	总固体 / g
原互花米草	43.89	6.30	0.54	49.28	81.28	90.52	0.9315	500.90
堆沤后	43.81	6.29	0.29	49.62	153.70	93.19	0.9383	
消化后	47.81	6.72	0.50	44.98	95.62	93.34	0.9454	182.40

注: a O = 100 - C - H - N.

2 4 互花米草的 XRD 分析

纤维素聚集态结构是由结晶区与无定形区交错连接而成的两相体系, 预处理和厌氧发酵使纤维素发生结构改变和组分降解, 从而改变纤维素晶体结构. 图 4 为互花米草发酵前后和原互花米草的 XRD 图.

图 4 可以出, 原互花米草、堆沤与发酵后互花米草的 002 面分别在 $2\theta = 22.22^\circ$ 、 22.60° 和 22.24° 处, 表明互花米草纤维结晶体为典型的纤维素 I 型结构, 同时也可以看出在堆沤预处理和消化后没有改变纤维素的晶型. 堆沤和消化后互花米草比原互花米草 002 面衍射峰峰高降低, 半高宽都有所增大, 表明强度都有所降低、纤维素有序程度下降. 根据 Segal 方法^[13] 计算得到原互花米草、堆沤和消化后的结晶指数为 64.83%、54.83% 和 54.83%, 与观察结果相一致. 与原互花米草相比, 堆沤后互花米草的结晶指数分别降低了 15.42%, 发酵没有改变结晶指数. 这是因为石灰的堆沤对纤维素的溶胀与聚合度的降低作用^[16], 使得结晶指数降低; 厌氧发酵微生物接近纤维素的非结晶区与结晶区的表面, 使其部分发生降解, 从而没有改变互花米草结晶指数, 但对其 (022) 晶面位置略有影响. 图 4 上在 $2\theta = 29.4^\circ$ 处为碳酸钙的峰^[17], 堆沤过程中投加石灰, 石灰吸附在互花米草上^[18], 使其含量增加, 导致堆沤后碳酸钙的峰强度增加.

2 5 红外光谱分析

分别对原互花米草、堆沤与发酵后互花米草粉末进行红外光谱分析, 结果见图 5 根据文献 [19-22], 各峰归属及其相对强度变化如表 2.

由表 2 和图 5 可以看出, $2918.7\text{--}2920.6\text{ cm}^{-1}$ 处为分子间氢键强度减弱, 表明纤维素聚合体和晶体结构破坏^[23]; $3348.7\text{--}3413.7\text{ cm}^{-1}$ 处为分子内氢键, 堆沤与发酵使该峰强度增加, 表明碱处理过程纤维素链发生重排, 导致分子内氢键增强^[24]. 堆沤使 $1733.5\text{--}1733.9\text{ cm}^{-1}$ 处木聚糖的未饱和 C=O 峰、 $1106.6\text{--}1108.1\text{ cm}^{-1}$ 多糖的 C—O 峰和 $1040.3\text{--}1045.4\text{ cm}^{-1}$ 处多糖的 C—O 伸缩振动强度减弱, 表明石灰堆沤对多糖结构的破坏; 堆沤也使 $1513.2\text{--}1514.1\text{ cm}^{-1}$ 苯环 C—C 振动、 $1249.8\text{--}1256.5\text{ cm}^{-1}$ 峰强度减弱, 表明石灰对木质纤维皂化作用, 引起木质素聚合体破坏^[16 23]. 聚糖的 $1372.6\text{--}1377.4\text{ cm}^{-1}$ 处 C—H 峰、 $1161.4\text{--}1163.1\text{ cm}^{-1}$ 处多糖的 C—O—C 不对称振动峰和强度的减弱, 表明聚糖在堆沤和发酵过程发生降解; $896.9\text{--}897.2\text{ cm}^{-1}$ 处 β -1, 4 糖苷键振动吸收峰在堆沤和厌氧发酵后峰的强度减弱, 说明堆沤和厌氧发酵过程发生 β -1, 4 糖苷键的断裂^[25]. 同时由表 2 看出, 在发酵过程中 1321.5--

1326 7 cm^{-1} 处多糖的 O—H 弯曲振动峰减弱, 也表明厌氧发酵过程聚糖降解. 堆沤和发酵过程中纤维素与半纤维素结构变化也可从峰面积比值 (A_{1425}/A_{896} 和 A_{1373}/A_{2918}) 的变化中体现, 木质素官能团比值 (A_{1513}/A_{1640}) 的变化也反映了堆沤和厌氧发酵过程中木质素结构的改变.

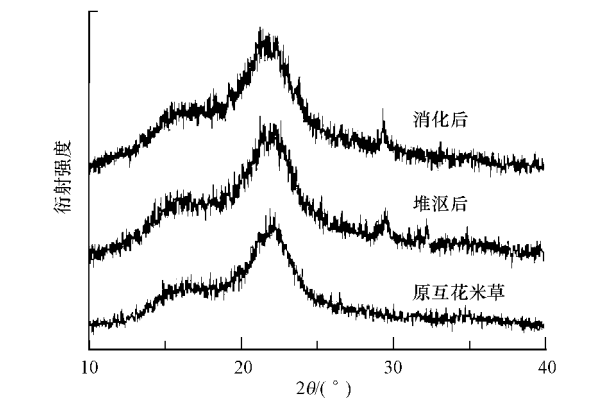


图 4 原互花米草与发酵前、后互花米草的 XRD 谱图

Fig 4 X-ray diffractogram of smooth cordgrass obtained in the raw, initial and final digestion phase

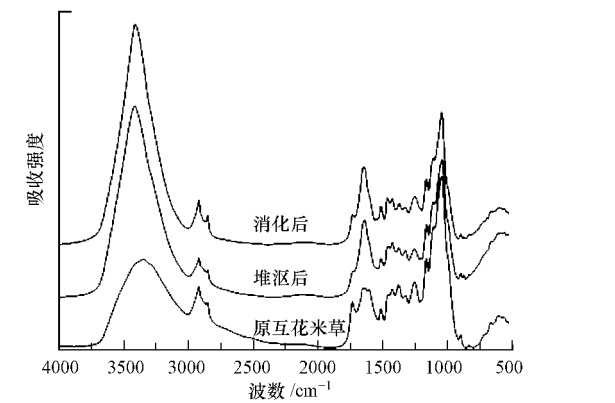


图 5 原互花米草与发酵前、后互花米草的红外光谱变化

Fig 5 FT-IR spectra of smooth cordgrass obtained in the raw, initial and final digestion phase

表 2 红外光谱吸收峰的归属及其吸收相对强度的变化				
Table 2 Assignment of FT-IR absorption bands and their intensity change				
波数 / cm^{-1}	谱峰归属	原强度 ^a	相对变化 ^b	
			堆沤后	消化后
3348 7—3413 7	分子内羟基 O—H 键的伸缩振动	0.787	1.588	2.028
2918 7—2920 6	CH 和 CH_2 伸缩振动	0.48	−0.627	−0.431
1733 5—1733 9	木聚糖未饱和 C=O 伸缩振动	0.23	−1.000	−0.587
1640 4—1646 9	芳香 C—C 伸缩振动和吸附水	0.091	5.275	11.725
1513 2—1514 1	苯环骨架伸缩振动	0.127	−0.598	−0.039
1457 8—1463 8	木质素和多糖的 C—H 弯曲振动	0.106	−0.358	−0.113
1425 2—1426 4	木质素和碳水化合物中 C—H 弯曲振动	0.073	−0.041	0.137
1372 6—1377 4	多糖中 C—H 弯曲振动	0.136	−0.618	−0.721
1321 5—1326 7	多糖的 O—H 弯曲振动	0.052	0.327	−0.346
1249 8—1256 5	苯环骨架和 C—O 的伸缩振动	0.227	−0.471	−0.344
1161 4—1163 1	多糖的 C—O—C 不对称振动	0.262	−0.176	−0.302
1106 6—1108 1	多糖的 C—O 伸缩振动	0.141	−0.305	1.475
1040 3—1045 4	多糖的 C—O 伸缩振动	0.926	−0.213	−0.125
896 9—898 1	纤维素中 C—H 弯曲振动	0.061	−0.475	−0.557
	A_{1425}/A_{896} ^c	1.197	2.188	3.074
	A_{1373}/A_{2918}	0.283	0.291	0.139
	A_{1513}/A_{1640}	1.396	0.514	0.214

注: a 表示峰面积; b 相对变化 = (本波数堆沤或消化后强度 − 本波数的原强度) / 本波数的原强度; 正值表示增加, 反之降低;
c 两波数处峰面积的比值.

3 结论

(1) 中温、干式发酵互花米草是技术可行的, 60d 产气量为 $178.4 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \text{VS}$ (标准状态下); 发酵过程发酵液总挥发酸浓度多数处于 $1650 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下.

(2) 石灰堆沤预处理降低了互花米草的 C、H 和 N 元素含量, 而发酵增加了三元素的相对含量; 堆沤与厌氧发酵过程, 总 TS 与 VS 去除率分别为 59.30% 和 60.11%.

(3) 互花米草纤维结晶体为纤维素 I 型, 预处理和发酵未改变纤维素晶型; 堆沤降低了 15.42% 的结晶度.

(4) 由红外光谱可以得到, 堆沤预处理使聚糖解聚和木质素溶出与结构修正; 发酵主要是聚糖解聚和降解.

参 考 文 献

- [1] 王卿, 安树青, 马志军, 等. 入侵植物互花米草生物学、生态学及管理[J]. 植物分类学报, 2006, 44(5): 559-588
- [2] 张晟途, 钦佩, 谢民. 不同海滨港湾环境条件下互花米草总黄酮积累动态研究[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 587-590
- [3] 李加林, 杨晓平, 童亿勤, 等. 互花米草入侵对潮滩生态系统服务功能的影响及其管理[J]. 海洋通报, 2005, 10(5): 33-38
- [4] 朱洪光. 发展海洋种植业拓展生物质能源新渠道[J]. 农业工程技术·新能源产业, 2007, 3: 13-16
- [5] 董玉平, 董磊, 景元琢, 等. 大米草气、电、热三联供技术研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 222-226
- [6] 李继红, 杨世关, 郑正, 等. 互花米草厌氧发酵产沼气初步试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 1254-1258
- [7] 邹星星, 郑正, 杨世关, 等. 汽爆预处理对互花米草厌氧发酵产气特性的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(10): 1117-1120
- [8] 陈广银, 郑正, 邹星星, 等. 牛粪对互花米草混合厌氧消化过程的影响研究[J]. 环境科学, 2009, 25(3): 1230-1235
- [9] 朱洪光, 陈小华, 唐集兴. 以互花米草为原料生产沼气的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 201-204
- [10] Sdärfer W, Lehto M, Teye F. Dry anaerobic digestion of organic residues on-farm: a feasibility study[EB/OL]. 2006, [2010-4-10]. <http://statwww.fi/cgi-bin/stat2?redir=www.mtt.fi/met/pd/fmet77.pdf&serv=mtt&page=met77.pdf>
- [11] Dogan E, Dunaev T, Enguder T H, et al. Performance of leaching bed reactor converting the organic fraction of municipal solid waste to organic acids and alcohols[J]. Chemosphere, 2008, 74(6): 797-803
- [12] Thanakos P, Black A S, Holtzapfel M T. Fermentation of corn stover to carboxylic acids[J]. Biotechnology and Bioengineering, 2003, 83(2): 191-200
- [13] Segal L, Creely J J, Martin A E, et al. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer[J]. Textile Research Journal, 1959, 29(10): 786-794
- [14] Buswell A M, Mueller H F. Mechanism of methane fermentation[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1952, 44(3): 550-552
- [15] Retmann B E, McCarty P L 著, 文湘华, 王建龙等译. 环境生物技术原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004, 502-539
- [16] Hendriks A T W M, Zeeman G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(01): 10-18
- [17] Roncero M B, Torres A L, Colom J F, et al. TCF bleaching of wheat straw pulp using ozone and xylanase. Part A: Paper quality assessment[J]. Bioresource Technology, 2003, 87(3): 305-314
- [18] Chang S. Line pretreatment of lignocellulosic biomass[D]. Texas A&M University, USA, 1999
- [19] Tseng D V, Vir R, Traina S J, et al. A Fourier transform infrared spectroscopic analysis of organic matter degradation in a bench-scale solid substrate fermentation (composting) system[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1996, 52(6): 661-671
- [20] Faix O. Fourier transform infrared spectroscopy//L in S Y, Dence C W (Eds.). Methods in Lignin Chemistry[M]. Berlin: Springer, 1992, 83-109
- [21] Popescu C M, Popescu M C, Vasile C. Structural changes in biodegraded linden wood[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(2): 362-372
- [22] Pandey K K, Pinnau A J. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi[J]. International Biodeterioration and Biodegradation, 2003, 52(3): 151-160
- [23] Laureano-Perez L, Teymour E, Alizadeh H, et al. Understanding factors that limit enzymatic hydrolysis of biomass: Characterization of pretreated corn stover[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2005, 124(1-3): 1081-1099
- [24] Ray D, Sarkar B K, Rana A K, et al. The mechanical properties of vinyl ester resin matrix composites reinforced with alkali-treated jute fibres[J]. Composites: Part A, 2001, 32(1): 119-127
- [25] 鲁杰, 石淑兰, 杨汝男, 等. 纤维素酶解苇浆纤维微观结构和结晶结构的变化[J]. 中国造纸学报, 2005, 20(2): 85-90

EFFECT OF MESOPHILIC DRY DIGESTION ON CHARACTERISTICS OF BIOGAS PRODUCTION AND STRUCTURE OF SMOOTH CORDGRASS

LIANG Yuegan^{1,2} ZHENG Zheng³ LUO Xingzhang³ LUO Yan¹ ZHANG Jibiao³

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. School of the Resource and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

ABSTRACT

The characteristics of biogas production from mesophilic dry digestion of smooth cordgrass (SC) in leaching bed reactor were investigated, and the changes of the chemical composition, crystalline structure and chemical structure of untreated and treated SC were examined by the chemical analysis, X-ray and FT-IR analysis during compost and digestion. The results showed that mesophilic dry digestion of SC was technically feasible and the cumulative biogas yield added up to 178.4 mL·g⁻¹VS (0℃, 1.01×10⁵Pa) during 60d dry digestion. XRD results confirmed that the crystalline structure of SC fibre was cellulose I, which did not change after compost pretreatment and dry digestion, but crystallinity index of cellulose decreased 15.42% after pretreatment. The results of FT-IR spectroscopy study showed that the depolymerization and degradation of polysaccharides and the modification of lignin structure occurred during pretreatment and dry digestion.

Keywords smooth cordgrass; dry digestion; producing biogas characteristics; structure change

2011年《环境化学》变更为月刊

《环境化学》是中国科学院生态环境研究中心主办的学术性刊物。1982年创刊，迄今为止，《环境化学》是我国环境化学学科的惟一科技期刊。

《环境化学》主要刊登大气环境化学、水环境化学、土壤环境化学、固体废物处置及电子废弃物资源化、污染物的生物效应等方面新近取得的创新性研究成果，跟踪最新学术进展，涉及行业有：科研、教育、环境保护、环境监测、污水处理、垃圾处理、市政、印染、化工、造纸、煤炭、食品、医疗、农业等。

随着《环境化学》办刊质量的不断提升，稿件质量和数量都有了较大幅度的提高。为进一步提高论文发表的时效性，提高刊发论文的被引率，更好地发挥期刊在学术交流中的作用，经新闻出版管理部门批准，《环境化学》自2011年(第30卷)开始，刊期由双月刊变更为月刊，出版时间为每月27日。

感谢广大作者对《环境化学》的支持，欢迎对编辑部工作提出宝贵意见，踊跃投稿。

《环境化学》编辑部
2010.6.21