

陈辉辉, 金磊磊, 喻 静, 等. 互花米草生物质及其侵染性海洋真菌特性研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 494–498.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.142

互花米草生物质及其侵染性海洋真菌特性研究

陈辉辉^{1,2}, 金磊磊², 喻 静², 喻镇东^{1,2}, 姜晓龙^{1,2}, 许 伟², 陈集双¹, 绍 荣²

(1. 盐城工学院, 江苏盐城 224005; 2. 南京工业大学生物资源工程研究所, 江苏南京 210009)

摘要:测定了互花米草秸秆主要的化学组成: 灰分 8.73%, 热水抽提物 10.97%, 1% NaOH 抽提物 37.95%, 苯-醇抽提物 4.22%, 克拉森木素 24.62%, 综纤维素 69.60%, 戊聚糖 23.75%; 互花米草的纤维形态特征: 平均纤维长度 1.06 mm, 长宽比 92.00, 壁腔比 0.37; 研究结果预测互花米草若应用于化学制浆, 用碱量较高, 化学药剂用量高, 导致成本加大, 灰分含量较高, 黑液性能可能较差, 黑液碱回收困难, 将对环境造成污染。利用互花米草热磨机械浆与化学浆板复配生产纸浆模塑产品为互花米草的利用开辟了一条新的道路。侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 为兼性海洋真菌, 最适生长的盐浓度为 2.5%; 该海洋真菌侵染互花米草秸秆可以使其纤维素、半纤维素和木质素的含量降低。互花米草生物质及侵染互花米草的海洋真菌特性的基础性研究对实现互花米草的资源化利用具有重要的铺垫作用。

关键词:互花米草; 化学成分; 纤维形态; 海洋真菌; 最适盐浓度; 纤维分解

中图分类号: S182; S184 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0494-05

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 自 1979 年引入我国以来, 在很多方面发挥着积极作用, 如减缓风暴潮压力、保护滩堤、促进围垦、消除近海污染等^[1], 但是由于互花米草的耐受力 and 繁殖能力等都比较强, 也有许多消极的影响出现, 如占据贝类栖息地、导致生物多样性降低、导致沿海滩涂景观改变、和当地物种形成竞争等方面^[2], 因此已经逐渐成为影响我国沿海的最主要的入侵物种^[3]。

制浆造纸过程中, 植物纤维本身的化学组成和生物结构直接影响所得浆的品质^[4], 通过对纤维形态、长宽度的测定、纤维细胞形态特点、化学成分分析等方面进行研究, 为利用互花米草制浆提供理论根据。

从具有重要生态价值的盐沼物种互花米草中分离的相关海洋真菌并没有被彻底研究清楚, 根据对 Kohlmeyer 1979

年^[5]发表的相关资料的更新以及 Kohlmeyer 和 Volkmann – Kohlmeyer 1991 年^[6]相关报道的补充和纠正, 发现目前已经报道的来自互花米草的专性和兼性海洋真菌有 39 种^[7-8], 但前人对互花米草中海洋真菌的长期研究告诉我们仍有很多未知海洋真菌有待于被发现。

真菌已经被证实沿海沼泽地 C、N 的生化循环中扮演着非常重要的角色, 例如美国东南部的沼泽地区真菌的产量达到了 500 g/(m²·年)^[9], 并且菌丝生物量相当于冬季沼泽地所有活体有机物的 1/3^[10]。真菌执行分解作用, 它们可以有效地将植物有机物转化为以真菌菌丝或生殖结构存在的真菌生物量^[10], 更确切地说真菌建立了一个从真菌到细菌到动植物粉碎机的一个最具生产力的海洋生态循环系统^[9-10]。美国东南部盐沼地的互花米草分解系统是少有的真菌发挥作用的天然生态系统, 直接通过显微观察, 一些子囊菌物种已经被证实是互花米草植株的主要分解者^[10-12]。同时, 这些海洋真菌具有很强的分解木质纤维素和动植物尸体的能力^[13-14], 具有潜在的应用价值。

本研究以江苏沿海滩涂盐碱地互花米草植株及前期研究得到的侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 为材料, 一方面对互花米草的化学组成和纤维形态进

收稿日期: 2015-09-11

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 30971898)。

作者简介: 陈辉辉(1988—), 男, 江苏南京人, 硕士, 主要从事植物真菌及真菌病毒的相关研究。E-mail: huihui_chen2012@163.com。

通信作者: 邵 荣, 博士, 教授, 主要从事生物化工方面研究。

E-mail: shaor1973@163.com。

[19] 刘国伟. 长期施用生物有机肥对土壤理化性质影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.

[20] 胡 诚, 曹志平, 胡 菊, 等. 长期施用生物有机肥土壤的氮矿化[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2080–2086.

[21] 范洁群, 褚长彬, 吴淑杭, 等. 不同微生物菌肥对桃园土壤微生物活性和果实品质的影响[J]. 上海农业学报, 2013(1): 51–54.

[22] 孙 婧, 田永强, 高丽红, 等. 秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响[J]. 农业工程学报, 2014(6): 153–164.

[23] 王 涛, 辛世杰, 乔卫花, 等. 几种微生物菌肥对连作黄瓜生长及土壤理化性状的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(18): 52–57.

[24] 刘总堂, 许 敏, 林云青, 等. 有机黏土对污染土中 HCH 的固定

及黑麦草生长的影响[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4): 533–538.

[25] 任旭琴, 高 军, 陈伯清, 等. 凹土对辣椒自毒作用修复的生理生化机制研究[J]. 土壤, 2014, 46(5): 908–912.

[26] 任旭琴, 高 军, 陈伯清, 等. 辣椒 DBP/DIBP 胁迫及其修复剂优化和机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(6): 1121–1126.

[27] 赵玉萍, 黄颖娟, 吴 洁, 等. 以凹土为载体的新型益生菌制剂的制备[J]. 食品工业科技, 2013, 34(19): 141–144.

[28] 马喜君. 凹土陶粒固定微生物对农村生活污水的处理效果[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14612–14613.

行了分析,另一方面对该真菌的最适盐浓度及其侵染互花米草秸秆后互花米草纤维成分的变化进行了相关研究。

1 材料与方 法

1.1 材料

试验用互花米草秸秆于 2012 年 10 月 9 日采自江苏省盐城市大丰区大丰港沿海滩涂盐碱地;侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 于 2014 年 3 月经分离纯化得到。

1.2 试剂与仪器

微型高速植物粉碎机,普通光学显微镜,物镜测微计,目镜测微计,烘箱,玻璃滤器,电子天平,索氏抽提器等;碘化钾,碘,氢氧化钠,氯酸钾,硝酸,苯,亚氯酸钠,无水氯化锌,磷酸氢二钠,氯化铵,氯化钙,三氯化铁,硫酸镁,硫酸亚铁,氯化钠,硫酸,丙酮,十二烷基硫酸钠,四硼酸钠,乙二醇乙醚,无水磷酸氢二钠, α -淀粉酶,无水亚硫酸钠,十六烷三甲基溴化胺,微型高速植物粉碎机,纤维分析仪,精密 pH 计,高浓节能磨浆机,数显鼓风干燥箱,冰箱。

PDA 配方:1 000 mL 蒸馏水中加入 200 g 去皮马铃薯、18 g 葡萄糖(蔗糖),18 g 琼脂,121 ℃,灭菌 20 min。

中性洗涤剂(g/L):称取 18.61 g 乙二胺四乙酸二钠和 6.81 g 四硼酸钠于 1 000 mL 烧杯中,溶解后再加入 30 g 十二烷基硫酸钠和 10 mL 乙二醇乙醚,同时取 4.65 g 无水磷酸氢二钠于另一烧杯中,加水溶解后倾于第一个烧杯中稀释至 1 000 mL,此时溶液 pH 值为 6.9~7.0^[15]。酸性洗涤剂(g/L):称取 20 g 十六烷三甲基溴化胺于 1 000 mL 已标定过的 0.50 mol/L 硫酸溶液中,加热搅拌使其溶解。0.50 mol/L 硫酸溶液:取 27 mL 浓硫酸加入盛有 500 mL 水的烧杯中,冷却后注入 1 000 mL 容量瓶中,加水至刻度,标定。72% 硫酸溶液:取 734.69 mL 浓硫酸,倒入 200 mL 水中,冷却后稀释至 1 000 mL。

赫兹别格染色剂^[16]:称取 20 g 无水氯化锌加入到 10 mL 的蒸馏水中配制成饱和溶液,作为 A 溶液;称取 2.1 g 碘化钾和 0.1 g 碘溶解在蒸馏水中,作为 B 溶液;冷却后,在搅拌条件下将 B 加入到 A 溶液中,最后把混合液放置暗处 24 h,倒出上清液,并加入少量碘;然后存入棕色试剂瓶中,在暗处存放 48 h 后备用^[17]。

1.3 互花米草的化学组成和纤维形态分析

1.3.1 化学组成的测定 原料水分含量根据 GB/T 2677.2—1993 标准测定;原料纤维素含量的测定采用硝酸-乙醇纤维素测定方法;原料酸溶木素含量根据 GB/T 10337—1989 标准测定;原料聚戊糖含量根据 GB/T 2677.9—1994 标准测定;原料灰分含量根据 GB/T 2677.3—1993 标准测定;苯醇抽提物根据 GB/T 2677.6—1994 标准测定;原料热水抽提物根据 GB/T 2677.4—1993 标准测定;冷水和 1% NaOH 抽提物按 ISO 造纸工业国际标准(1993)测定。

1.3.2 纤维形态分析 纤维解离样品的制备过程为:(1)将互花米草秸秆切成长度约 1 cm,并且尽可能薄的细丝条状,置于小烧杯中,沸水中煮沸 0.5 h,使其软化。(2)将上述烧杯中的液体弃去,加入浓度为 35% 的硝酸直到把原料盖住,然后加适量的氯酸钾,并在温度为 65 ℃左右的水浴锅中温

浴,直到秸秆丝变为白色。(3)将上述秸秆丝洗涤后取少许放入小试管中,加入适量蒸馏水,然后剧烈摇动试管,使其解离成单根纤维。(4)最后用赫氏别格染色剂进行染色制片,显微镜观察^[16]。

切片样品的制备过程为:互花米草秸秆经水中煮沸排气、氢氟酸软化、切片、番红染色、不同浓度乙醇脱色、二甲苯透明,最后制片供观察^[16]。

1.4 侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 特性分析

1.4.1 最适盐浓度测定 海洋微生物耐受盐浓度的范围为 1.0%~7.0%,适宜生长的盐浓度为 2.0%~4.0%^[18]。一般认为,从海洋环境中分离得到的微生物,生长必须在一定盐浓度下,这类微生物被视为严格的海洋微生物^[19]。若在不含盐分的情况下都能生长,则是适应了非海洋环境的兼性海洋真菌^[20]。

将该真菌分别接种到盐浓度为 0%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5% 和 4.0% 的 PDA 培养皿中,每组盐浓度设 3 个平行,于 28.0 ℃ 的恒温培养箱中培养 5 d,观察菌落生长情况,判定该真菌的类型及其最适的盐浓度。

1.4.2 侵染后互花米草秸秆纤维测定 侵染前后互花米草秸秆的纤维成分测定采用的是范氏洗涤纤维分析法,它可以准确地获得生物质中所含的半纤维素、纤维素、木质素以及酸不溶灰分的含量,图 1 为范氏洗涤纤维分析法原理,可以清晰地了解各部分操作的具体情况,也可以为生物质原料各组分含量的计算提供明确的步骤^[21~22]。试验称取适量经烘干处理的互花米草秸秆接种到组培瓶中,经高温高压灭菌后于超净工作台中接种该海洋真菌菌块,共 3 组分别为接种互花米草秸秆和真菌菌块、只接种互花米草秸秆和只接种真菌菌块,于 28 ℃ 的恒温培养箱中分别培养 30 d 后观察其生长情况并测定其纤维成分。

2 结果与分析

2.1 化学组成测定结果

抽取物是植物原料中的少量成分之一,它包括脂肪族和芳香族的相关物质,其中包括碱水化合物、酸、萜烯类、酚类、树脂酸、脂肪酸、乙醚油、树脂和脂肪等。由表 1 可见,热水抽提物含量与芦苇接近;1% NaOH 抽提物含量介于麦秸、芦苇之间;苯-醇抽提物含量较高,比麦秸略低,较其他高。

灰分对普通纸张的质量及生产过程有一定影响。一般来说,灰分含量越高,碱回收难度越大,化学药品消耗越大。互花米草的灰分含量明显高于其他原料(表 2),这是因为互花米草生长在潮间带,海水中含有较多的无机盐类。

禾本科植物的半纤维素主要指戊聚糖,因此通过测定戊聚糖可以进一步明确禾本科植物中半纤维素含量。结果表明,互花米草综纤维素含量较麦秸高,略低于皇竹草、杨木;戊聚糖含量较高,略低于麦秸,较杨木、芦苇、皇竹草高(表 2)。

植物原料中的主要化学成分之一就是木素,木素的化学结构在不同类型的原料中各不相同。一般来说,原料中的木素含量越少则制浆漂白越容易,并且所需要的化学品也越少。结果表明,互花米草克拉森木素含量较高,略低于芦苇,高于麦秸、皇族草、杨木(表 2)。

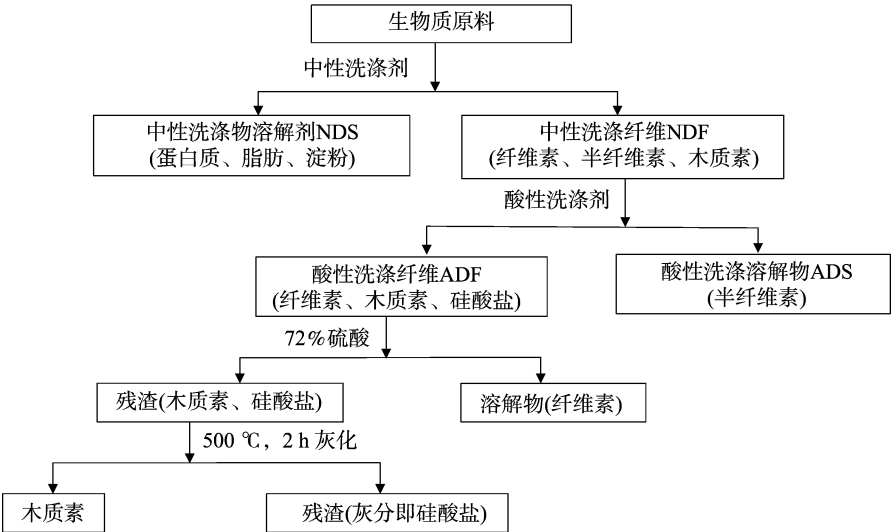


图1 范氏洗涤纤维分析法原理^[22]

表 1 互花米草及相关原料抽提物含量

原料	抽提物含量(%)			
	冷水	热水	1% NaOH	苯－醇
互花米草	4.19	10.97	37.95	4.22
麦秸 [*]	5.36	11.53	42.59	4.37
芦苇	2.12	10.69	31.51	0.74
皇竹草	4.43	7.61	32.39	4.01
杨木 ^{[17]**}	1.88	3.24	22.00	1.64

注: * 产自山东; ** 产自北京。

表 2 互花米草及相关原料各成分含量

原料	含量(%)			
	灰分	综纤维素	戊聚糖	克拉森木素
互花米草	8.73	69.60	23.75	24.62
麦秸 [*]	8.28	68.72	24.04	18.12
芦苇 [*]	2.96	77.96	22.46	25.40
皇竹草	3.77	78.15	19.50	20.82
杨木 ^{[17]**}	1.02	80.32	21.25	24.14

注: * 产自山东; ** 产自北京。

2.2 纤维形态分析结果

原料的纤维形态和浆的性能具有极其重要的关系。本研究测得的互花米草及其他相关原料的纤维尺寸列于表 3;互花米草及其他相关原料的纤维长度统计处理结果列于表 4;

互花米草茎秆纤维细胞壁厚、腔径列于表 5。纤维长度与纤维宽度的比值,称为长宽比。一般认为,长宽比大的纤维,成纸时单位面积中纤维之间相互交织的次数多,纤维分布细密,成纸强度高,特别是撕裂度、裂断长、耐折度等指标。

表 3 互花米草及相关原料的纤维尺寸

原料	纤维长度(mm)				纤维宽度(μm)				长宽比
	平均	最大	最小	一般	平均	最大	最小	一般	
互花米草	1.06	3.94	0.31	0.60~1.28	11.56	30.58	4.80	6.88~14.78	92.00
麦秸	1.39	2.88	0.58	1.02~1.57	13.00	25.20	8.00	9.00~16.00	107.00
芦苇	1.16	4.17	0.40	0.63~1.30	10.00	26.70	4.30	6.00~14.00	116.00
皇竹草	1.26	3.96	0.40	0.55~1.55	11.12	56.25	7.03	8.79~17.58	113.00
杨木 ^{[17]*}	0.71~0.97				18.66~25.40				34.60~47.50

注: * 不同种的杨木。

由表 3 可知,互花米草纤维的平均长度略短,大于杨木,其纤维宽度较大,大于芦苇、皇竹草等材料,但比杨木窄。其纤维长宽比较小,可预测其制浆较为细腻,其相应的撕裂度、

裂断长、耐折度等指标均适中。由表 4 可知,互花米草纤维长度分布比率变化趋势与芦苇、麦秸和皇竹草大致相同。

表 4 互花米草及相关原料纤维长度统计处理结果

原料	平均长度(mm)	长度分布比率(%)									
		0~0.4 mm	0.4~0.6 mm	0.6~0.8 mm	0.8~1.0 mm	1.0~1.2 mm	1.2~1.4 mm	1.4~1.6 mm	1.6~1.8 mm	1.8~2.0 mm	2.0 mm 以上
互花米草	1.06	18.6	12.2	23.4	13.6	6.5	4.8	3.3	1.1	1.6	1.4
麦秸 [*]	1.39	25.1	14.8	13.7	10.9	8.9	6.8	5.3	4.2	3.4	6.9
芦苇 [*]	1.16	25.0	17.9	16.1	12.2	9.7	6.6	4.4	3.0	1.9	3.6
皇竹草	1.26	11.0	16.0	14.0	14.0	12.0	10.0	7.0	5.0	5.0	6.0

注: * 表示通过 Kajaanj 测定的结果,排除断头纤维细胞和非纤维细胞后经人工测定互花米草纤维和皇竹草纤维长度。

表 5 互花米草及其相关原料纤维的壁厚、腔径

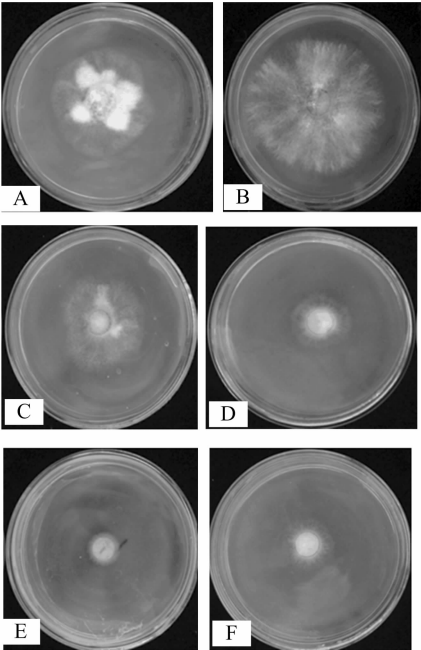
原料	腔径(μm)				壁厚(μm)				壁腔比
	平均	最大	最小	一般	平均	最大	最小	一般	
互花米草	12.70	22.32	6.90	10.90~14.90	2.36	3.45	1.28	1.70~2.80	0.36
麦草	12.30	18.40	8.20	10.20~14.30	2.00			2.00	0.33
芦苇	3.40	12.00	1.00	1.50~1.60	3.00	5.00	1.50	2.00~3.50	0.33
皇竹草	10.22	13.19	7.03	9.00~11.00	2.80	3.52	1.76	2.60~2.90	0.27
杨木 ^[17] *				12.06~17.01				3.93~4.90	0.39~0.81

注：* 不同种的杨木。

纤维细胞厚度和直径的比值(纤维壁腔比)直接影响纸张的柔性程度,比值小则说明纤维柔性较好,制浆时纤维之间的接触面积较大,因此其结合力较强,获得的纸张强度也较高,影响最为显著的是成纸的耐破度。Runkel^[23]在深入研究的基础上提出:很好的原料一般壁腔比都小于1;壁腔比=1为好原料;劣质原料的壁腔比则大于1。不过壁腔比值也并不是越小越好,太小纤维本身的强度就会太差,虽然柔性很好,但是成纸的强度并不是很高。

2.3 最适盐浓度测定结果

侵染互花米草的真菌在盐浓度为0%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%的PDA培养皿中5d后生长情况如图2所示,可以看到该真菌在0%~4.0%的盐浓度范围内都可以生长,并且在盐浓度2.0%时菌落的生长情况最好,说明此真菌为兼性海洋真菌,并且2.0%盐浓度可能为其最适生长盐浓度。



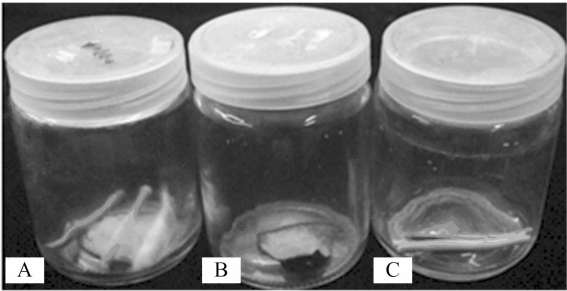
A~F分别代表盐浓度为0%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%的菌落形态

图2 真菌在不同盐浓度 PDA 培养基上的生长情况

2.4 侵染后互花米草秸秆纤维成分测定结果

该海洋真菌对互花米草的侵染如图3所示,可以看出该海洋真菌确实可以在互花米草秸秆上进行生长。经范氏洗涤纤维法测定,互花米草秸秆被真菌侵染前后的纤维成分测定结果如表6所示,可以看出侵染前后互花米草秸秆的纤维素、半纤维素和木质素成分都有减少,说明该海洋真菌侵染互花

米草秸秆并使其干物质量减少的原因主要是分解其纤维素、半纤维素和木质素成分。



A—海洋真菌侵染互花米草秸秆; B—海洋真菌菌块; C—互花米草秸秆

图3 海洋真菌侵染互花米草秸秆情况

表 6 大丰港植物纤维生物质原料纤维各成分含量

材料	纤维素 (%)	半纤维素 (%)	木质素 (%)	酸不溶灰分 (%)
侵染前互花米草秸秆	35.39	27.69	13.23	0.91
侵染后互花米草秸秆	30.20	25.77	10.30	1.72

注:数据为3次试验的平均值。

3 讨论与结论

从互花米草的化学组成方面看:互花米草灰分、热水抽提物、1% NaOH 抽提物、苯-醇抽提物、克拉森木素、综纤维素、戊聚糖含量分别为8.73%、10.97%、37.95%、4.22%、24.62%、69.60%、23.75%。互花米草的灰分含量较高,这是因为互花米草长期生长在滩涂,体内的无机盐含量较高;互花米草克拉森木素含量较高,略低于芦苇,高于麦秸、皇族草、杨木。从表1、表2可以预测互花米草应用于化学制浆时,用碱量较高;灰分含量较高,黑液性能可能较差,黑液碱回收时比较困难;互花米草若应用于大规模化学制浆,化学药剂用量高,会增加生产成本,而且黑液碱回收困难,将对环境造成污染。虽然互花米草也可以用于化学制浆,但从环境保护和经济效益的方面来考虑,不适合大规模工厂化生产。若利用互花米草热磨机械浆与化学浆复配生产纸浆模塑产品,一方面可解决滩涂互花米草有效利用的问题,变废为宝,另一方面利用废报纸、废弃的黄纸板,实现了纤维的二次利用,保护环境。互花米草浆与废弃的报纸浆、黄纸板浆等生产出的纸浆模塑产品是一种环境友好型产品,废弃后短时间内可以实现降解,从技术层面上开辟了有效的废弃纤维生物质资源利用模式。

从互花米草纤维细胞形态方面看:互花米草平均纤维长度1.06 mm,长宽比92.00,壁腔比0.36。其纤维的平均长度相对较短,和杨木比较接近,其纤维宽度相对较大,比芦苇、皇

竹草等材料都大,但和杨木相比较窄。其纤维长宽比较小,比杨木大,比芦苇、皇竹草等小,推测其纤维交织度较好;其纤维壁薄,比芦苇、皇竹草小,壁腔比比麦秸大,与杨木相当,可预测互花米草纤维硬挺度较大,成纸时其纤维之间的接触面积较小,并且其纤维之间的结合力也较小,成纸后其强度可能较低。

对互花米草秸秆的化学组成和纤维形态分析表明:互花米草是一种可利用的造纸纤维原料,而对于大规模的工厂化生产,从成本和保护环境的角度来考虑,互花米草热磨机械浆复配化学浆生产纸浆模塑产品,为互花米草的有效利用开辟了一条新道路。

侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 为兼性海洋真菌,最适生长的盐浓度为 2.5%,并且其可以使互花米草纤维素、半纤维素和木质素的含量降低,针对此特性,不但可以对该海洋真菌的培养条件进行优化,而且可以利用该海洋真菌对互花米草等秸秆进行降解,以便后续工业产品的开发,这样既提高了效率又节省了成本。

目前我们前期的研究已经在江苏大丰港沿海滩涂盐碱地的入侵植物互花米草中发现携带线粒体病毒的海洋真菌,并向 NCBI 提交该真菌 rRNA 的 ITS 序列(GenBank 登录号:KJ459363)以及该真菌携带的线粒体病毒的序列(GenBank 登录号:KJ485703)。本研究对互花米草生物质及其侵染性海洋真菌特性进行了研究,为后续将二者结合起来投入到资源化和产业化利用中提供基础。

参考文献:

- [1] Wang G, Qin P, Wan S, et al. Ecological control and integral utilization of *Spartina alterniflora* [J]. Ecological Engineering Econ, 2008, 32(3): 249 ~ 255.
- [2] Simenstad C A, Thom R M. *Spartina alterniflora* (smooth cordgrass) as an invasive halophyte in Pacific Northwest estuaries [J]. Hortus Northwest, 1995, 6(12): 38 ~ 40.
- [3] 李富荣, 陈俊勤, 陈沐荣, 等. 互花米草防治研究进展 [J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1795 ~ 1800.
- [4] 王菊华, 薛崇昀. 造纸原料纤维分析及其在造纸工业的应用 [J]. 造纸信息, 2006(2): 1 ~ 4.
- [5] Kohlmeier J, Volkmann - Kohlmeier B. Fungi on *Juncus* and *Spartina*: new marine species of *Anthostomella*, with a list of marine fungi known on *Spartina* [J]. Mycologia, 2002, 106(3): 365 ~ 374.
- [6] Gessner R V. Seasonal occurrence and distribution of fungi associated with *Spartina alterniflora* from a Rhode Island Estuary [J]. Mycologia, 1977, 69(3): 477 ~ 491.
- [7] Pena N I, Arambarri A M. Hongos marinos lignícolas de la laguna costera de Mar Chiquita (Provincia de Buenos Aires, Argentina). I. Ascomycotina y Deuteromycotina sobre *Spartina densiflora* [J]. Darwiniana, 1998, 35: 61 ~ 67.
- [8] Pena N I, Arambarri A M. Hongos marinos lignícolas de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). IV [J]. Darwiniana, 1998, 35: 69 ~ 74.
- [9] Miller J D, Whitney N J. Fungi of the Bay of Fundy. V: Fungi from living species of *Spartina* Schreber [J]. Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science, 1983, 33: 75 ~ 83.
- [10] Newell S Y. Multiyear patterns of fungal biomass dynamics and productivity within naturally decaying smooth cordgrass shoots [J]. Limnol Oceanogr, 2001, 46(3): 573 ~ 583.
- [11] Newell S Y, Porter D. Microbial secondary production from saltmarsh - grass shoots, and its known and potential fates [J]. Kluwer Academic, 2000, 72: 159 ~ 185.
- [12] Newell S Y. Spore - expulsion rates and extents of blade occupation by ascomycetes of the smooth - cordgrass standing - decay system [J]. Bot Mar, 2001, 44(3): 277 ~ 285.
- [13] Bergbauer M, Newell S Y. Contribution to lignocellulose degradation and DOC formation from a salt marsh macrophyte by the ascomycete *Phaeosphaeria spartinicola* [J]. FEMS Microbiol Ecol, 1992, 86(4): 341 ~ 348.
- [14] Newell S Y, Porter D, Lingle W L. Lignocellulolysis by ascomycetes (Fungi) of a saltmarsh grass (smooth cordgrass) [J]. Microscopy Res Techn, 1996, 33(1): 32 ~ 46.
- [15] 赵学笃. 农业原料学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986: 61.
- [16] 刘书钗. 制浆造纸分析和检测 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
- [17] 王菊华. 中国造纸原料纤维特性及显微图谱 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [18] 张志华, 康应田. 海洋真菌分类鉴定方法探析 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(21): 9825 ~ 9826.
- [19] Okami Y. Marine microorganisms as a source of bioactive agents [J]. Microb Ecol, 1986, 12: 65 ~ 78.
- [20] 林 鹏. 中国红树林生态系 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 23 ~ 30.
- [21] 王晓艳. 生物油及相关生物质原料的特性分析 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2005.
- [22] 杨 胜. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [23] 杨淑蕙. 植物纤维化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.