

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.06.018

水葫芦资源化利用综述

蒋伟军, 颜幼平, 李 萍

(广东工业大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006)

摘要 综述水葫芦在制备能源燃料(固体燃料、液体燃料及气体燃料)、饲料、肥料和提取其中的叶蛋白和叶绿素进行食品医药加工合成或直接制成吸附剂等方面情况。指出由于水葫芦木质素、纤维素含量高,含水率大,限制了部分资源化利用技术的推广。认为今后应重点研究如何快速降低水葫芦的含水率,提高水葫芦的产气率,筛选出更易分解纤维素的菌种,提高水葫芦资源化利用的可行性。

关键词 水葫芦;资源化利用;产气率;含水率;发酵

中图分类号 :X171.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2010)06-0079-05

Progress in resources utilization of eichharnia crassipes

JIANG Wei-jun, YAN You-ping, LI Ping

(College of Environment Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract : According to the current study status of resources utilization of eichharnia crassipes, the uses of eichharnia crassipes for producing energy fuel (solid fuel, liquid fuel, and gaseous fuel), fodder and manure, making use of the protein and chlorophyll in the leaves to produce food and medicine or directly making sorbent are summarized. Some recycling techniques for eichharnia crassipes are limited due to its high levels of lignin, cellulose, and water content. In order to greatly enhance the feasibility of eichharnia crassipes recycling, research should be focused on reducing the percentage of moisture in plants, improving the rate of gas production, and screening out the bacteria that easily break down cellulose.

Key words : eichharnia crassipes; resources utilization; rate of gas production; moisture content; fermentation

目前水葫芦广泛分布于我国广东、云南、江苏、浙江、四川、湖南、湖北、福建等省,而且还继续快速向周边地区蔓延、扩散。我国一些重要水域,如滇池、太湖、武汉东湖、长江和珠江的入江水系和黄浦江等都出现水葫芦泛滥成灾的情景,江河入海口到处漂浮着冲积下来的水葫芦^[1]。

水葫芦吸收了江河水体中的 N、P 营养元素后疯狂生长,已经严重地影响到河道航运,必须对河道中的水葫芦进行捞取,以保持江河中水生植物的合理密度;同时,如果水葫芦不加捞取,在湖泊中就会腐烂,从而污染饮用水水源地水质。水体中捞取的水葫芦若能加以综合利用,找到其资源化利用的最

佳途径,则在解决其出路的同时获得一定的经济效益,则可减低水生生态系统维护费用,实现生态恢复的长效可持续发展。

笔者综述国内外有关水葫芦资源化利用的研究现状,分析目前存在的不足之处及未来发展方向,旨在为水葫芦的彻底有效资源化利用提供参考。

1 水葫芦简介

水葫芦(eichhornia crassipes sloms)又名水浮莲、凤眼莲,属雨久花科,凤眼莲属,为多年水生植物,原产南美,是目前世界上危害最严重的水生植物。广泛分布于亚洲、北美、大洋洲和非洲的很多国家和地

区^[2-3]。水葫芦是一种喜温好湿植物,能耐5℃左右的低温,气温在13℃开始生长,25℃以上生长较快,30℃左右时生长最快,39℃以上难以生长。在热带亚热带地区,水葫芦可以全年生长,自然越冬^[4]。水葫芦可以进行无性和有性繁殖。无性繁殖通过匍匐茎增殖,在条件允许的情况下平均每5d产生1棵新株,按照这个速度计算,1株水葫芦1年之内经过繁殖就可以达到1.4亿株,可以铺满140hm²的水面,鲜质量可达28000t^[5]。故水葫芦生物资源可谓相当丰富且易得,且其中的营养成分丰富,不仅含有蛋白质、钙、磷等常规营养成分,而且还含有铁、镁等微量元素,以及赖氨酸、缬氨酸等氨基酸。

表1 水葫芦含有的氨基酸种类^[6]

| 必需氨基酸 | | 非必需氨基酸 |
|-------|------|--------|
| 精氨酸 | 异亮氨酸 | 谷氨酸 |
| 蛋氨酸 | 亮氨酸 | 天冬氨酸 |
| 苯丙氨酸 | 缬氨酸 | 丝氨酸 |
| 赖氨酸 | 苏氨酸 | 腹氨酸 |
| 色氨酸 | | 丙氨酸 |

表2 水葫芦的营养成分^[7] %

| 样品 | 水分 | 粗蛋白 | 粗脂肪 | 粗纤维 | 无氮浸出物 | 粗灰分 |
|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 鲜质量 | 93.9 | 1.20 | 0.20 | 1.10 | 2.30 | 1.30 |
| 干质量 | 0 | 19.67 | 3.28 | 18.03 | 37.70 | 21.32 |

表3 水葫芦常量元素、微量元素含量^[8]

| 常量元素含量/% | | | | | | 微量元素质量比/(mg·kg ⁻¹) | | | | |
|----------|-------------------------------|------------------|------|------|------|--------------------------------|-----|------|------|--|
| N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | S | Ca | Fe | Cu | Zn | Ni | Cr | |
| 3.30 | 1.28 | 3.36 | 0.40 | 1.66 | 0.72 | 36.0 | 170 | 57.8 | 12.3 | |

2 水葫芦在我国的分布及危害

水葫芦于20世纪30年代传入我国,60年代、70年代曾作为畜禽饲料推广,为我国的养殖业发展作出了贡献。近年来由于其营养价值不高和饲料的普及而逸为野生,尤其是内河、内湖的富营养化水体使其生长速度近乎疯狂,又因为长期无人打捞而腐败变臭污染了水质,成为一大公害^[9]。水葫芦已在我国南方19个省(市、自治区)泛滥成灾,造成了一系列的危害,是目前世界上危害最严重的多年生水生杂草之一^[5]。

水葫芦泛滥的危害有:①阻断航道,影响航运和排泄;②限制了水体流动,水体没有阳光照射,发臭,使水体中的溶氧量减少,抑制了浮游生物的生长;③为病菌提供了滋生地,滋生蚊蝇,为蚊子的幼虫提供了呼吸和繁殖的机会;④破坏饮水资源,水葫芦腐烂浸入水中,使水体发臭,加剧富营养化程度。

3 水葫芦资源化利用现状

目前水葫芦资源化利用技术大致有制造能源燃

料、肥料,或利用其高营养物质含量而作为饲料应用等几种,每种技术各有优缺点,下面分别加以阐述。

3.1 能源燃料

3.1.1 液体燃料

由于纤维素是生物质能源化中主要的利用物质,木质素则为能源化利用后剩余残渣的主要成分。水葫芦纤维素含量高于木屑和甘蔗屑,而木质素的含量低于木屑和甘蔗屑,这表明水葫芦在生物质能源化的过程中,可利用的纤维素高于木屑和甘蔗屑,而剩余的残渣少于木屑和甘蔗屑。所以水葫芦经过晾晒或降低含水率后,具备了生物质能源转化的条件^[4]。

采用水解和发酵技术可以生产液体燃料——乙醇。水解和发酵水葫芦中的纤维素生成可供酵母发酵的糖类,而这些糖类在水葫芦中的含量很低,因此要对发酵原料进行一定的预处理,使其中的糖类更加适合水解过程需要。水解酶是可供选择的方法之一,但水葫芦较高的木质素含量影响了水解酶的作用^[10]。Mishima等^[11]利用水葫芦生产乙醇,结果表明,利用水葫芦生产乙醇的产量与其他农业废物生产乙醇的产量相当,故在发酵条件成熟后生产乙醇还是可行的。而Thomas^[12]认为水葫芦水解发酵需要进行预处理,这需要较大能源,生产成本高,故其实用性不高。

3.1.2 固体燃料

a. 干料焚烧。将水葫芦晒干后直接焚烧,在能源比较紧缺的地方这是处置水葫芦快而又有效的方式。但水葫芦成海绵空心状茎体,使得新鲜水葫芦含水率高达90%左右^[13],即使将水葫芦含水率降低到10%,直接燃烧其热值也不超过1.3GJ/m³^[11],与木材的热值9.8GJ/m³相比,将水葫芦焚烧处理经济上利用价值不大。然而将晒干的水葫芦粉碎后过筛,切成6mm长的小段,再经机械压缩制成块状或球状的固体燃料,这将大大提高燃料的燃烧值^[12]。成品燃烧值达到了8.3GJ/m³,几乎可以与燃烧值为9.6GJ/m³的木炭相当。但是该固化成型技术要求原料产品的含水率在10%~15%之间^[14],而一般水葫芦的含水率高达90%左右,故在降低水葫芦含水率的过程中将需要消耗较大的人力和物力,则增加了该技术的处理成本。

b. 制作木炭。水葫芦含有大量的木质素和纤维素,经过高温、气化分解和碳化后可以制得木炭,同时可以收获副产物气态气作为能量利用^[15]。水葫芦干物质中的灰分含量高达40%^[11],故不能生产出高质量高热值的木炭。并且在制作时所需要的高温条件和水葫芦脱水也会消耗很大的能源,投资成本加大,所以推广应用起来有一定的难度。

3.1.3 气体燃料

厌氧硝化法是指在断绝与空气接触的条件下,依赖兼性厌氧菌和专性厌氧菌的生物化学作用,对有机物进行生化降解的过程。将水葫芦厌氧硝化处理产气是目前研究的热点,在解决水葫芦出路问题的同时,还可以获得环境友好型的清洁能源以及优质的有机肥料-沼渣,符合环保循环经济的要求。根据所产气体的不同可分为厌氧产氢和厌氧产甲烷两类。

a. 厌氧产氢。厌氧发酵产氢,是指通过产氢发酵细菌的生理代谢作用进行,通过对有机物的脱氢作用,平衡氧化还原过程中的剩余电子,保证代谢过程的顺利进行^[16]。

国内外有关水葫芦厌氧产氢的报道不多,如果能够采取一定的预处理措施提高水葫芦中糖类含量,水葫芦厌氧产氢将有很好的发展前景^[10]。程军等^[17]以沼气池污泥和水葫芦为混合发酵底物研究厌氧产氢特性,结果表明,必须在沼气池污泥底物中加入优势产氢菌株作接种物才能产生大量氢气;但水葫芦高纤维素、低糖类的特性增加了产氢难度和限制了产氢气量。

b. 厌氧产甲烷。厌氧产甲烷又称为厌氧发酵或甲烷发酵,是指有机物质(如人畜家禽粪便、秸秆、杂草等)在一定的水分、温度和厌氧条件下,通过种类繁多、数量巨大、且功能不同的各类微生物的(主要是产甲烷菌)分解代谢,实质上就是微生物的物质代谢和能量转换过程,在分解代谢过程中沼气微生物获得能量和物质,以满足自身生长繁殖,同时大部分物质转化为甲烷。

目前厌氧产沼气常用的接种物有新鲜牛粪、老沼气的沼渣、腐败河泥或城市污水处理厂的硝化污泥等^[18]。一般将水葫芦与其他畜禽粪便或人粪尿混合发酵,因粪便可以为水葫芦发酵提供更多微生物数量,更丰富的生物多样性以及更多的养分,可增加水葫芦的产气量与产气效率^[19-20]。而 Matsumura^[21]研究利用超临界水提取水葫芦体内的有机物后,再经过厌氧产甲烷气体,但是成本高而可行性低。兰吉武等^[22]认为,在 35℃ 与 55℃ 相同接种比例条件下,55℃ 条件下产气量更大,产气速度明显加快,但系统酸化阶段没有明显缩短,并表明切分比粉碎的产气量要大,因为切分孔隙率高,气体容易溢出从而促进了厌氧发酵反应的进行。魏世清等^[23]研究得出水葫芦与猪粪比例为 2:1 时,既保证了沼气产量与质量,又有较高的水葫芦比例;且认为温度为影响沼气产气量的重要因素。查国君^[24-25]实验得出,在 25℃ 恒温条件下,水葫芦总固体产气

潜力为 634 mL/g,VS 产气潜力为 834 mL/g,新鲜原料产气潜力为 33.36 mL/g。而在水葫芦固液分离后的沼气发酵研究中,水葫芦渣与猪粪结合进行批量发酵试验,原料产气率为 504.04 L/g,甲烷含量 65%;水葫芦汁的产气潜力为 2.192 mL/g,COD 降解率达到 91.27%。胡晓明等^[26]以鲜水葫芦汁为原料,在 30℃ 恒温下,采用批量发酵工艺进行发酵产沼气实验。水葫芦汁的 COD 降解率为 86.43%;COD 产气值为 312 mL/g,甲烷含量能稳定在 55% 左右,气体可以持续燃烧。

3.2 生产饲料

水葫芦作为饲料原材料有很大的利用价值,其营养成分和所含氨基酸种类可以参考表 1.2。某些地区直接捞取水葫芦切碎后,投入鱼塘喂鱼或饲养鸡鸭。但是直接投喂畜禽的做法也存在许多弊端。因水葫芦生长的适应性太强,吃剩的残枝如不经妥善处理,仍可生长造成二次危害。另外,水葫芦植株体内含水量高达 90%,纤维也较短,直接饲用并非适宜^[27]。

一般将水葫芦干燥后碾制成粉,或者通过应用微生物工程和采用固体发酵技术,提高水葫芦蛋白质含量,开发出以水葫芦为原料、营养价值高、口味佳的微生物饲料产品^[28]。将水葫芦切碎好氧发酵时,水分保持在 80%~85% 时则青贮饲料质量最好,此时粗蛋白质含量达到 10.83%,粗脂肪为 7.73%^[6]。庄益芬等^[29]研究了不同添加剂对水葫芦青贮饲料品质的影响,试验设对照组、添加绿汁发酵液、蔗糖、甲酸、四蚁酸铵、绿汁发酵液+蔗糖共计 6 个处理。结果表明,各种添加剂均不同程度地改善了青贮饲料的品质,其中以添加绿汁发酵液+蔗糖的效果最佳。Mukherjee 等^[30]先是将水葫芦发酵,然后利用两种侧耳属菌对发酵产物进行脱木质素处理,产生了易于反刍动物消化和含有高菌蛋白的饲料。

3.3 制备肥料

水葫芦中氮磷钾养分含量很高(表 3),且植株易腐烂,可切碎直接施于田中耕翻入土^[31]。也可与其他有机物料混合堆制有机肥料,或直接利用其干粉作为有机肥料或土壤改良剂,或将干水葫芦燃烧后的灰分作为肥料使用。利用水葫芦中含有大量氮磷钾的特点,制作有机、无机复合肥也可以与其他有机物制作优质有机肥和有机-无机复混肥^[32]。

国外也有学者将水葫芦作为钾肥与化学肥料混合,追施于沙质土壤中,结果显示,与单独施用化学肥料相比,能增加小麦和大麦的产量和品质(矿物质和蛋白质的含量高)^[33]。黄东风等^[34]采用“微生物好氧发酵堆肥化技术”工艺生产出来的水葫芦有机

肥料产品,其中水葫芦有机肥的有机质含量高达49.88%,氮磷钾总养分含量为11.423%,属优质的作物有机肥料。而每公顷水葫芦干质量有30t,可产75t复合混合肥,中国科学院水生生物研究所已成功生产出水葫芦复合肥料^[1]。

3.4 食品加工提取

水葫芦含有十分丰富的蛋白质、氨基酸(包括人类生存所需又不能自身制造的8种氨基酸)、胡萝卜素、总黄酮和微量元素^[35-36],完全可用作食品、饮料添加剂,还可精加工提炼成保健品、药品,极具食用和药用价值。武汉一家企业用其研制开发出人用的饮料,口感好,通过了国家权威部门的检测,获准批量上市^[1]。吴文标等^[37]分析评价了水葫芦叶蛋白的营养价值、提取工艺、毒性和功能性质,可见水葫芦叶蛋白的提取还是很有价值的。卢景顺等^[38]研究了用水葫芦叶中的叶绿素来制作叶绿素铜钠的生产工艺,并确定了工艺的最佳条件为:70℃下用40mL、5%的NaOH溶液在水中浸提3h,然后将皂化液酸化至pH=3,与10%的硫酸铜溶液,以体积比为2:3的比例在60℃水浴中铜化30min。Barai等^[39]以水葫芦为纤维素原料可制得羧甲基纤维素,在最佳工艺条件下已制得低黏度、取代度DS=0.72的食品级羧甲基纤维素(Na-CMC)。Bodo等^[40]利用优化一步固-液提取法从干水葫芦叶子中提取蛋白质以获取谷胱甘肽,并认为可以从水葫芦中提取抗氧化体。

3.5 其他利用方式

随着研究的深入,水葫芦资源化利用的方向也越来越广。如水葫芦晒干后,可以作为造纸原料^[41]。水葫芦含有丰富的纤维素、蛋白质、脂肪及灰分,可用作培育草菇的原料。张祖堂等^[42]就利用水葫芦代替部分稻草栽培草菇,但用量以20%~60%为宜。也有人将水葫芦的纤维用作天然橡胶的填料,所得橡胶产品的强度和模数增加,张力下降,但产品的耐磨损强度低于掺混其他化合物的橡胶^[43]。水葫芦活体对水体中重金属有较强的去除作用,故可将收获后水葫芦加工成重金属或染料的或吸附剂。Peng等^[44]将水葫芦处理成木质纤维素-甲醛离子交换树脂用于对重金属进行吸附。

4 展望

水葫芦资源化利用的前景广阔,在其解决水葫芦出路问题的同时,又可获得可观的清洁能源和高蛋白含量的动物饲料。目前,有关水葫芦的资源化利用主要集中在产生甲烷气体和生产饲料方面。由于水葫芦中的木质素、纤维素含量高,难于降解,所以产气时提升产气量和甲烷浓度是当前的主

要技术难题。在生产饲料方面,由于水葫芦的蛋白含量相对偏低,动物的适口性较差,而且水葫芦有含水率高、挥发性固体含量低的特点,使得炭化、焚烧、气化和固化成型技术不是热值太低就是成本太高,技术推广受到了限制。

如何降低水葫芦的含水率,对其进行一定的物化或生化预处理,再进行厌氧消化提高水葫芦的能量转化率也是今后研究方向。如果水葫芦进行微生物发酵,应筛选出更好更易分解纤维素的菌种以增加水葫芦的蛋白质、脂肪和糖的含量,以此降低饲料的总成本和提高饲料的可适性。

参考文献:

- [1] 孙小燕,丁洪.水葫芦的综合利用与防治技术[J].农业环境与发展,2004(5):35-38.
- [2] HOLMS L G,PLUEKNETT D L,PANCHO J V,et al. The world's worst weed: distribution and biology[M]. Hawaii, Honolulu: University Press Publication, 1977: 609.
- [3] ABBSI S A, RAMASAMY E V. Biotechnological methods of pollution control[M]. Hyderabad: Orient Longman Universities Press India Ltd, 1999: 168-168.
- [4] 刘欣萍.浅谈水葫芦治理与利用[J].中国环境管理,2004(4):60-62.
- [5] 朱磊,胡国梁,卢剑波,等.水葫芦的资源化利用[J].浙江农业科学,2006(4):460-463.
- [6] 余有成.水葫芦的营养成分及青贮方法[J].畜产研究,1988(2):38-41.
- [7] 周文宗.水葫芦的放养与利用[J].特种经济动植物,2003(9):31.
- [8] 郎咏梅,刘勃,季华东,等.水葫芦在污水处理中的应用[J].节能与环保,2006(12):33-35.
- [9] 白剑峰.水葫芦导致水生动物死亡[N].人民日报,2002-05-23(6).
- [10] 陈广银,郑正,邹星星.水葫芦资源化利用研究进展[J].江苏农业科学,2008(3):5-9.
- [11] MISHIMA D, KUNIKI M, SEI K. Ethanol production from candidate energy crops: water hyacinth (Eichhornia crassipes) and water lettuce (Pistia stratiotes L.)[J]. Bioresource Technology, 2007, 98: 56-62.
- [12] THOMAS T H, EDEN R D. Water hyacinth: a major neglected resource, material science and energy[J]. Biomass Technology, 1990(3): 2092-2096.
- [13] ABDELHAMID A M, GABR A A. Evaluation of water hyacinth as feed for ruminant[J]. Archives of Animal Nutrition, 1991, 41(7/8): 745-756.
- [14] 吴创之,马隆龙.生物质能现代化利用技术[M].北京:化学工业出版社,2003: 82.
- [15] 徐祖信,高月霞,王晟.水葫芦资源化处置与综合利用研究评述[J].长江流域资源与环境,2008,17(2):202-205.

[16] 任南琪, 王宝贞. 有机废水处理生物制氢技术 [J]. 中国环境科学, 1994, 14(6) : 411-415.

[17] 程军, 潘华引, 戚峰, 等. 污泥和水葫芦混合发酵产氢的影响因素分析 [J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(2) : 209-214.

[18] 陈小华, 朱洪光. 农作物秸秆产沼气研究进展与展望 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(3) : 279-283.

[19] EL-SHINNAWI M M, ALAAEL-DIN M N, EL-SHIMI S A, et al. Biogas production from crop residues and aquatic weeds [J]. Resources Conservation and Recycling, 1989, 3(1) : 33-45.

[20] KUMAR S. Studies on efficiencies of bio gas production in anaerobic digesters using water hyacinth and night-soil alone as well as in combination [J]. Asian J Chem, 2005, 17 : 934-938.

[21] MATSUMURA Y. Evaluation of supercritical water gasification and biomethanation for wet biomass utilization in Japan [J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43 : 1301-1310.

[22] 兰吉武, 陈彬, 曹伟华, 等. 水葫芦厌氧发酵产气规律 [J]. 黑龙江科技学院学报, 2004, 14(1) : 18-21.

[23] 魏世清, 覃文能, 李金怀, 等. 水葫芦与猪粪混合厌氧发酵产沼气研究 [J]. 广西林业科学, 2008, 37(2) : 81-83.

[24] 查国君, 曾国揆, 张无敌, 等. 水葫芦发酵产气潜力的实验研究 [J]. 能源工程, 2006(6) : 50-51.

[25] 查国君, 张无敌, 尹芳, 等. 滇池水葫芦固液分离后的沼气发酵研究 [J]. 中国野生植物资源, 2008, 27(1) : 36-38.

[26] 胡晓明, 查国君, 张无敌, 等. 水葫芦汁中温沼气发酵的实验研究 [J]. 能源工程, 2008(2) : 36-38.

[27] 王庆海. 水葫芦的综合利用 [J]. 杂草科学, 2006(3) : 6-9.

[28] 国家海洋局第三海洋研究所. 利用新技术将水葫芦变成新的饲料来源 [J]. 福建农业科技, 2005(2) : 60-60.

[29] 庄益芬, 张文昌, 张丽, 等. 添加剂对水葫芦青贮品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(9) : 32-35.

[30] MUKHERJEE R, NANDI B. Improvement of in vitro digestibility through biological treatment of water hyacinth biomass by two pleurotus species [J]. International Biodeterior & Biodegradation, 2004, 53 : 7-12.

[31] 卢隆杰, 苏浓, 岳森. 低投入、高产、多用途的凤眼莲 [J]. 吉林畜牧兽医, 2003(12) : 26-27.

[32] 刘剑彤. 有机-无机复合肥 [J]. 科技开发动态, 2004(12) : 20.

[33] MEKAIL M, MAWLY S, ZANOUNY I. The application of water hyacinth as a supplemental source of K for wheat and barley grown on a sandy soil [J]. Assiut Journal of Agricultural Sciences, 1999, 30(2) : 73-82.

[34] 黄东风, 李清华, 陈超. 水葫芦有机肥料的研制与应用效果 [J]. 中国土壤与肥料, 2007(5) : 48-52.

[35] 彭青林. 水葫芦的开发利用 [J]. 资源开发与市场, 2003, 19(1) : 32-33.

[36] 汪禄祥, 刘家富, 束继红, 等. 有害杂草的微量元素分析 [J]. 广东微量元素科学, 2002, 5(6) : 68-71.

[37] 吴文标, 刘伟. 水葫芦叶蛋白开发研究现状及发展趋势 [J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19(S1) : 373-377.

[38] 卢景顺, 吴贻群, 邓素英, 等. 水葫芦叶制取叶绿素铜盐的工艺研究 [J]. 现代食品科技, 2006, 22(4) : 173-174.

[39] BARAI B K, SINGHAL R S, KULKARNI P R. Optimization of a process for preparing carbon xymethyl cellulose from water hyacinth (eichhornia crassipes) [J]. Carbohydrate Polymers, 1997, 32 : 229-231.

[40] BODO R, AHMANACHE K, HAUSLER R, et al. Optimized extraction of total proteic mass from water hyacinth dry leaves [J]. Journal of Environmental Engineering Science, 2004, 3(6) : 529-536.

[41] GOSWAMI T, SAIKIA C N. Water hyacinth a potential source of raw material for greaseproof paper [J]. Bioresource Technology, 1994, 50(3) : 235-238.

[42] 张祖堂, 林革, 方金辉, 等. 利用水葫芦栽培草菇实验初探 [J]. 福建农业科技, 1997(6) : 15.

[43] POTTYARAJ P, PANEHADPEEH P, CHUAYJULJIT S. Using watel hyacinth fiber as a filler in natural rubber [J]. Journal of Scientific Research of Chulalong Korn University, 2001, 26(1) : 11-18.

[44] PENG P S, CHAWAKITELHAREON P, KRASINSRI R. Removal of heavy metal ions by lignocellulosic-formaldehyde ion exchange resin produced from water hyacinth [J]. J Sei Res, 1997, 22(1) : 35-42.

(收稿日期 2009-08-04 编辑: 高渭文)

.....
(上接第 65 页)

参考文献 :

[1] 刘晨, 伍丽萍. 水污染造成的经济损失分析计算 [J]. 水资源保护, 1998(2) : 26-30.

[2] 倪红珍. 水经济价值和政策影响研究 [D]. 北京 : 中国水利水电科学研究院, 2007.

[3] 张增强. 我国水污染经济损失研究 [D]. 北京 : 中国水利水电科学研究院, 2005.

[4] 倪红珍. 基于绿色核算的水资源价值与价格研究 [D]. 北京 : 中国水利水电科学研究院, 2004.

[5] 中国水利水电科学研究院. 水利与国民经济协调发展研究项目 [R]. 北京 : 中国水利水电科学研究院, 2004.

[6] 李锦秀, 徐嵩龄. 流域水污染经济损失计量模型 [J]. 水利学报, 2003(10) : 68-74.

[7] 吴泽宁. 郑州市水资源及其开发利用综合评价 [R]. 郑州 : 郑州大学, 2006.

[8] 郑州市水利局. 郑州市水资源公报 [R]. 郑州 : 郑州市水利局, 2000-2005.

[9] 郑州市统计局. 郑州市统计年鉴 [M]. 北京 : 中国统计出版社, 2000-2005.

[10] 葛吉琦. 江苏太湖地区水污染损失估算 [J]. 环境科学, 1991, 13(2) : 68-72.

(收稿日期 2009-08-03 编辑: 高渭文)