

Study on Producing Activated Carbon from One-year-old *Eucommia Ulmoides* Oliv Branch of *Eucommia Ulmoides* Oliv Cultivated by Leaf-oriented Tree Model

Yinquan Su, Mingqiang Zhu, Xiuhong Li, Ximingxu, Haixia Gao, Li Wang, Defei He

College of Forestry, Northwest AF University, Yangling, Shaanxi 712100, China

E-mail: syq009@126.com, zmqsx@163.com, lixiuhong@nwsuaf.edu.cn, xxming74@126.com, moon0108ghx@163.com, wlsomeone@126.com, vs.fly@126.com

Abstract: The technological conditions were prepared for activated carbon from one-year-old *Eucommia Ulmoides* Oliv branch cultivated from Leaf-oriented Tree Model by zinc chloride activation. The effects of zinc chloride concentration, mass ratio of solvent to material, dip time, activation temperature and activation time on the adsorption capacity of the adsorbent were studied. The optimum conditions were obtained as follows: zinc chloride mass concentration 35 %, mass ratio of solvent to material ratio 5.0 : 1, dip time 15 h, activation temperature 550 °C, activation time 180 min. The yield of the adsorbent was 42.38 %. The iodine value was 1116 mg/g.

Key words: Leaf-oriented Tree Model; *Eucommia ulmoides* Oliv; activated carbon; adsorbent; zinc chloride

杜仲叶林枝木制备活性炭的研究

苏印泉, 朱铭强, 李秀红, 许喜明, 高海霞, 王 丽, 何德飞

西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100

E-mail: syq009@126.com, zmqsx@163.com, lixiuhong@nwsuaf.edu.cn, xxming74@126.com, moon0108ghx@163.com, wlsomeone@126.com, vs.fly@126.com

摘 要: 采用氯化锌活化法制备杜仲叶林枝木活性炭的工艺条件, 探讨了氯化锌活化剂溶液浓度、液料质量比、浸渍时间、活化温度和活化时间对吸附剂吸附性能的影响。实验结果表明, 氯化锌活化法制备杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的最佳工艺条件为: 氯化锌溶液质量分数为 35 %, 液料质量比为 5.0 : 1, 浸渍时间 15 h, 活化温度 550 °C、活化时间 180 min。所得杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的得率为 42.38 %, 碘吸附值为 1116 mg/g。

关键词: 叶林栽培模式, 杜仲; 活性炭; 吸附剂; 氯化锌

1 引言

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv), 单科、单属、单种, 是中国特有的名贵经济树种, 也是很有前途的医用和工业原料, 在我国大部分地区均可栽培^[1-2]。杜仲乔林模式属于传统的栽培模式, 树体高大, 种子或叶子采集困难, 产业化成本高, 若要利用树皮或者枝木, 就要毁林, 产业化开发难度较大。为克服传统栽培模式的缺陷, 西北农林科技大学林学院按照国际市场对杜仲叶的需求,

基金项目: 陕西省日元贷款项目 (K332020023)

研发出以产叶为目的的商品林, 简称“杜仲叶林栽培模式”(leaf-oriented tree model of *Eucommia ulmoides* Oliv)^[3]。杜仲叶林栽培模式即改高大乔木为灌木的经营模式, 利用杜仲萌芽能力强的特性, 定植后每年春天从靠近地面处平茬, 并在主干上萌生出的枝条中选育3个不同方向、分布均匀的萌条构成开放型树冠, 以后每年春天树液流动时平茬^[4]。该模式具有“当年栽植, 当年收益; 一次栽植, 年年收益”的特点。定植后三年开始, 每年生产干叶大约 15.0 t/hm²; 干皮 7.5 t/hm²; 木材 22.5 t/hm², 叶林模式可生产大量的生物质能, 其枝木组织致

密,大量的杜仲叶林枝木不有效利用的话,就会造成生物质能源的极大浪费和污染环境。

活性炭(activated carbon,简称 AC)是一种具有较丰富的内部孔隙结构和较高的比表面积的优质吸附剂,广泛应用于化工、食品加工、制药、冶金、农业、环保等多个领域。目前我国主要是以煤炭、木材、城市固体有机废弃物、椰子壳、果壳、稻壳等^[5-10]材料作为生产活性炭的原料,但以杜仲叶林枝木为原料制备活性炭的研究尚未见相关报道。本研究以去皮后的杜仲叶林枝木为原料,以氯化锌为活化剂制备了杜仲叶林枝木活性炭吸附剂,用这种方法制成的活性炭的吸附性能主要受 ZnCl_2 溶液浓度,浸渍时间,炭化时间,炭化温度和料液比等因素的影响^[11-12],实验重点考察以上五个因素的影响对其产品吸附性能和得率的影响,在确定某个因素时,固定其他几个因素不变,从而确定各因素的最佳值。现将报告结果如下:

2 实验部分

2.1 材料

试验材料为西北农林科技大学林学院杜仲叶林试制备杜仲叶林枝木活性炭的工艺流程简图,见图 1

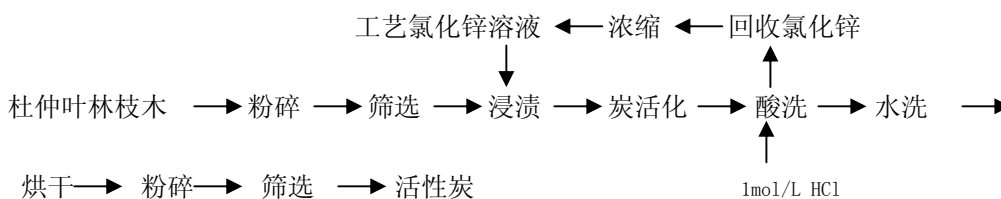


Fig.1 Technical process of preparing activated carbon

图 1 制备活性炭的工艺流程

将剥皮后阴干的杜仲叶林枝木粉碎,过 40 目筛,称取 8.00g 准备好的材料与一定浓度的 ZnCl_2 溶液按一定的料液比混合,充分搅拌后,将浸渍一定时间的料液移至坩埚中,放置在马弗炉里烧制活化,冷却,活化得到的样品用 1 mol/L 的 HCl 溶液煮沸 30min 后,继续用 1mol/L 的 HCl 溶液反复清洗,再用热水洗涤至中性,最后将所得活性炭样品在 120 °C 温度下干燥 12 h^[13,14],将试样粉碎过 200 目筛,即得到杜仲叶林枝木活性炭产品。

2.4 活性炭性能检验

活性炭的吸附性能是评价活性炭质量的最主要指

验地,4 月初萌芽前平茬的一年生杜仲叶林枝木。整个试验在陕西省经济植物资源开发利用重点实验室进行。

2.2 主要试剂和仪器

试剂:氯化锌,盐酸,硫酸,氢氧化钠,碘,碘化钾,硫代硫酸钠,可溶性淀粉,重铬酸钾,均为分析纯。

仪器:722 型光栅分光光度计(上海精密科学仪器有限公司),SX2-4-10 型马弗炉(上海试验仪器厂),梅特勒 AB204-S 型电子天平,SHA-B 型水浴恒温振荡器(江苏省金坛市精达仪器制造厂),DHG-9240A 型电热恒温干燥箱(上海精宏实验设备有限公司),SHB-B95 型循环水式多用途真空泵(郑州长城科工贸有限公司),万用电炉(北京科伟永兴仪器有限公司),LD4-2 型低速离心机(北京医用离心机厂),F120 型粉碎机(北京中兴伟业仪器有限公司),40 目和 200 目筛(浙江省上虞市大亨桥化验仪器厂)。

2.3 活性炭的制备

标。活性炭的吸附性能取决于活性炭的孔隙结构和比表面积。活性炭的微孔、过渡孔、大孔的发达程度通常用碘吸附值、亚甲基蓝吸附值、焦糖脱色率的高低来分别评价^[15]。本试验选择碘吸附值进行测定^[16](GB/T 12496.8—1999);杜仲叶林枝木活性炭吸附剂得率计算如下:

最终产品得率(%)=(杜仲叶林枝木活性炭吸附剂质量/杜仲叶林枝木质量)×100%。

3 结果与讨论

3.1 氯化锌溶液质量分数对杜仲叶林枝木活性炭吸附性能和得率的影响

在液料质量比 4.5 : 1、浸渍时间 9 h、活化温度 550 °C、活化时间 120 min 条件下, 氯化锌溶液质量

分数对活性炭吸附性能和得率的影响, 结果见图 2 和图 3。

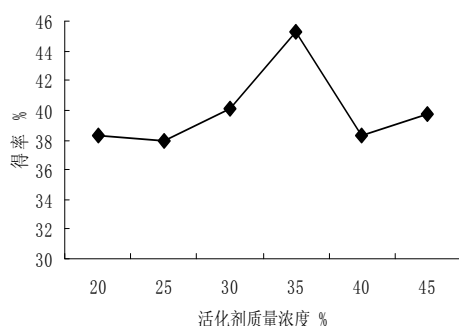


Fig.2 Effect of concentration of ZnCl_2 solution on yield of activated carbon

图 2 氯化锌质量浓度对活性炭得率的影响

由图 2 可见, 在一定的氯化锌质量浓度范围内, 随着氯化锌溶液质量分数的增大, 杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的得率逐渐增加。这可能是由于活化剂浓度的增加, 有利于更多的有机碳活化成活性炭, 减少了酚类和醛类等物质的形成, 增加了活性炭得率。当质量分数大于 35%, 所有能够形成活性炭的有机碳全部被活化, 即使再增加活化剂的浓度, 得率也不再增加。

由图 3 可见, 氯化锌溶液质量分数由 20 % 增大到 30 % 时, 碘吸附值逐渐增加; 氯化锌溶液质量分数大于 30 % 后, 碘吸附值开始下降。这可能是由于大量的 ZnCl_2 覆盖在材料的外表面, 不利于氢、氧的脱出而形成大量微孔结构, 从而减小吸附力; 另一方面,

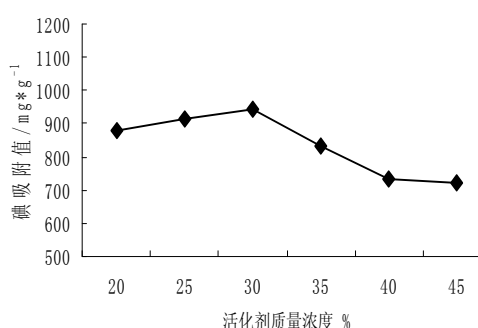


Fig.3 Effect of concentration of ZnCl_2 on property of activated carbon

图 3 氯化锌质量浓度对活性炭性能的影响

过量的金属离子造成温度升高, 炭的烧失严重, 微孔破坏严重, 部分转化为大孔, 使其得率和碘吸附值都有所下降。这说明在浓度较低的范围内, 活化剂有利于微孔的形成^[10], 也有利用降低生产成本。

3.2 液料质量比对杜仲叶林枝木活性炭吸附性能和得率的影响

在氯化锌溶液质量浓度分数为 35 %、浸渍时间为 9 h、活化温度为 550 °C、活化时间 120 min 条件下, 研究液料质量比对活性炭吸附性能和得率的影响, 结果见图 4 和图 5。

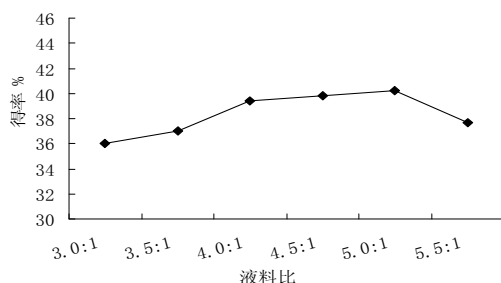


Fig.4 Effect of mass ratio of solvent to material ratio on yield of activated carbon

图 4 液料比对活性炭得率的影响

由图 4 可见, 在一定的浸渍液料比范围内, 随着浸渍液料比的增加, 杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的得率逐渐增加。这是因为在炭化过程中, 大量的氯化锌

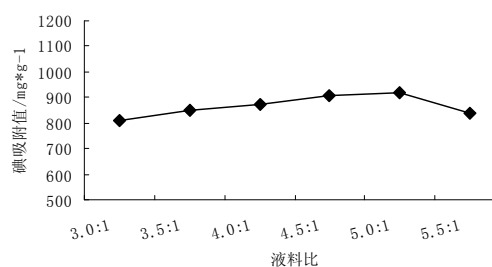


Fig.5 Effect of mass ratio of solvent to material ratio on property of activated carbon

图 5 液料比对活性炭性能的影响

溶液能起到催化脱羟基和脱水的作用, 使杜仲叶林枝木中氢和氧以水蒸气形式排出, 并减少了焦油、酚和醛等物质的生成, 使更多碳活化成活性炭, 从而提高

活性炭得率。

图 5 可见,随着浸渍液料比的增加,杜仲叶林枝木活性炭吸附剂碘吸附值逐渐增加,当液料比达到 5.0:1 后,活性炭吸附剂的碘吸附值开始减小。这可能是由于在氯化锌溶液浸渍杜仲叶林枝木的过程中,氯化锌溶液中的锌离子进入纤维孔隙中间,在炭化、活化过程中使纤维发生润胀水解、氧化降解、催化脱水等反应,有利于杜仲叶林枝木炭化物孔隙结构的形成^[17]。所以随着浸渍液料比的增加,越来越多的锌离子伴随着溶液进入纤维素孔隙中间。当液料比达到 5.0:1 后,活化反应更为剧烈,生成的微孔被刻蚀成为中孔甚至大孔,比表面积略有下降,因此碘吸附值下降,得率也有所下降(图 4)。

这就说明,改变液料质量比,对活性炭的孔径分

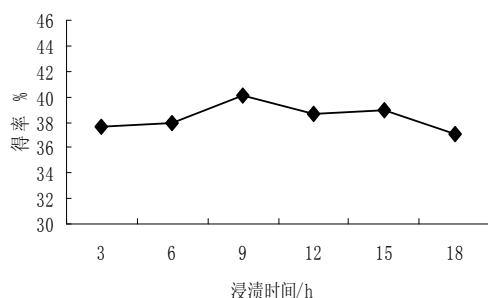


Fig.6 Effect of dip time on yield of activated carbon

图 6 浸渍时间对活性炭得率的影响

由图 6 可见,在一定浸渍时间范围内,随着浸渍时间的增加,杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的得率增加。这是因为时间加长,工艺氯化锌溶液更好的向木屑颗粒内部渗透,伴随着水解反应和氧化反应,使部分半纤维素及纤维素逐渐解聚成多糖及单糖,最终使原料变成了均匀的可塑性物料,从而使杜仲枝木活性炭的得率增加。

图 7 可见,随着浸渍时间的增加,杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的碘吸附值逐渐增加。这是由于在氯化锌溶液浸渍杜仲叶林枝木的过程中,浸渍时间增加使氯化锌溶液中的锌离子进入纤维孔隙中间,有利于杜仲叶林枝木炭化物孔隙结构的形成^[17]。但当浸渍时间

布有影响。液料质量比较小时,所得的活性炭的微孔比较发达,而液料质量比较大时,可以制得过渡孔和大孔比较发达的活性炭。但料液质量比的增大,将带来生产成本也随之升高,另外,产品的强度也会随之降低^[18]。所以,杜仲叶林枝木的液料质量比以不超过 5.0:1 为宜。

3.3 浸渍时间对杜仲叶林枝木活性炭吸附性能和得率的影响

在液料质量比为 4.5:1、活化剂质量分数为 35%、活化时间 120 min、活化温度为 550 °C 条件下,研究了浸渍时间对活性炭吸附性能和得率的影响,结果见图 6 和图 7。

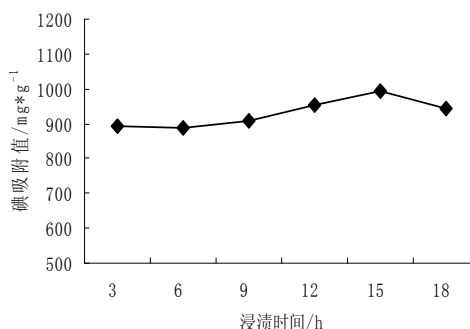


Fig.7 Effect of dip time on property of activated carbon

图 7 浸渍时间对活性炭性能的影响

到达 15 h 后,越来越多的锌离子进入纤维素孔隙中间,活化反应加剧,大量的微孔被刻蚀成为过渡孔甚至大孔,致使比表面积下降,碘吸附值下降,同时也使得率降低(图 6)。

3.4 活化温度对杜仲叶林枝木活性炭吸附性能和得率的影响

在液料质量比 4.5:1、氯化锌溶液质量分数 35%、浸渍时间 9 h、活化时间 120 min 的条件下,研究活化温度对活性炭吸附性能和得率的影响,结果见图 5 和图 6。

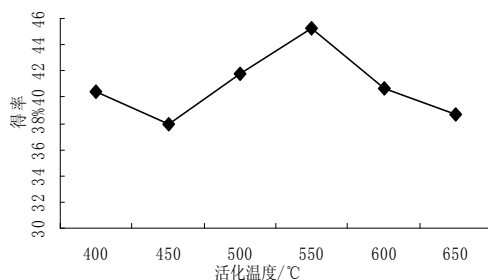


Fig.8 Effect of activation temperature on yield of activated carbon

图 8 活化温度对活性炭得率的影响

由图 8 可见,随着活化温度的不断升高,得率呈逐渐先升高后下降的趋势。这是因为随着杜仲叶林枝木活化温度的增加,会使越来越多的炭烧失,因而得率先升高后下降。

由图 9 可见,开始阶段碘吸附值随着温度升高而升高,在温度为 600 °C 时,柚子皮活性炭碘吸附值达到最大值,温度再升高,碘吸附值反而下降。这是因为较低温度下,活化温度的升高,有利于活化剂造孔的形成,升高温度能得到更多的微孔;但活化温度过高,使得微孔壁烧蚀,形成较大的孔洞,吸附剂总比表面积下降,碘吸附值减小^[19],这也说明了活化剂得率先升高后下降的原因。

另外,活化温度超过 600 °C 时,使氯化锌的急剧蒸发,导致环境污染、成本增加。研究表明,氯化锌在 428 °C 时,其蒸气分压为 133.3 Pa (1mmHg),在 610 °C 时为 1333.2 Pa (10mmHg),两者相比温度升

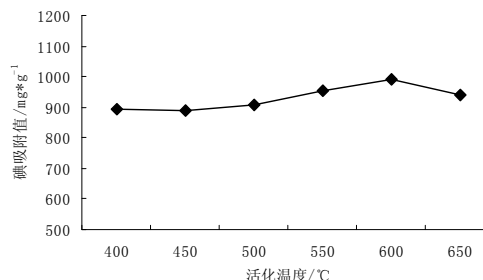


Fig.9 Effect of activation temperature on property of activated carbon

图 9 活化温度对活性炭碘吸附值的影响

0.4 倍,蒸气分压升高 9 倍,而氯化锌的单位时间蒸发量与其蒸气压力成正比。另外,氯化锌有毒性,他的蒸汽可以引起鼻膜和呼吸道受伤。若温度过高,不仅氯化锌的消耗增加,同时还增加了环境的污染,因此活化温度以不超过 600 °C 为宜。温度低,锌耗虽有所下降,但活化时间过长,能耗增大,同时还可能使活性炭强度降低^[18]。

3.5 活化时间对杜仲叶林枝木活性炭吸附性能和得率的影响

在液料质量比为 4.5 : 1、活化剂质量分数为 35 %、浸渍时间 9 h、活化温度为 550 °C 条件下,研究了活化时间对活性炭吸附性能和得率的影响,结果见图 7 和图 8。

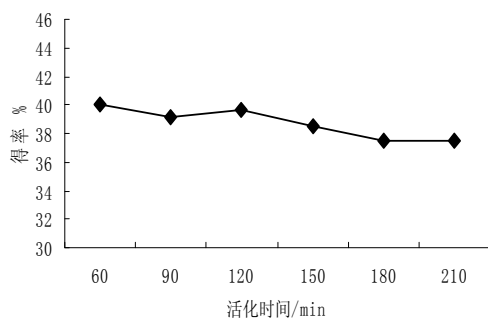


Fig.10 Effect of activation time on yield of activated carbon

图 10 活化时间对活性炭得率的影响

由图 10 可见,随着活化时间延长,在开始阶段得

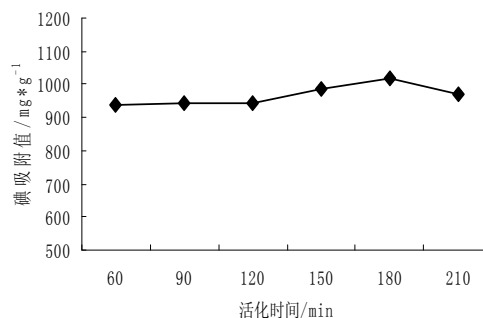


Fig.11 Effect of activation time on property of activated carbon

图 11 活化时间对活性炭碘吸附值的影响

率逐渐减小,而后趋于稳定。这是因为,开始阶段是

碳骨架细孔内的无规则碳被选择性地消耗,失重较迅速,所以得率逐渐减小;而随后阶段是构成碳骨架的碳被消耗,反应速率较慢,在较短时间内失重较小,所以得率变化不大。

由图 11 可见,随着活化时间延长,杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的碘吸附值逐渐增大,但活化时间超过 180 min 后,碘吸附值却开始下降。这是因为在活化初始阶段在活化的初始阶段,由于活化剂的作用,炭化后留在空隙中的焦油等物质和紊乱的碳被除去,暴露出由碳原子组合成的微晶结构间的空隙。随着活化剂继续和微晶结构的反应,孔隙不断加宽,相邻微孔之间的壁完全被烧毁而形成较大的空隙,结果导致过渡孔和大孔容积的增加。因此,孔隙的生成和结构与炭的氧化程度密切相关。根据杜比宁(Dubinni)的观点,当烧失率(活化期间炭质量减少的百分率)小于 50%时,得到的是以微孔为主的活性炭;烧失率大于 75%时,得到的是具有较大孔隙为主活性炭;烧失率在 50%~70%时,活性炭孔隙具有混合结构。因此,可以通过控制活化时间来调节所得活性炭产品的孔径分布范围^[18]。在活化时间较短时,生成的微孔居多,对碘吸附值不利;但若活化时间过长,烧失率过大,会导致产量下降,成本增加,故活化时间以不超过 180 min 为宜。

4 结论

本文主要研究通过氯化锌活化法用杜仲叶林枝木为原料制备活性炭过程中,各主要因素对产品得率和性能的影响,主要结论如下:

(1)氯化锌活化法制备杜仲叶林枝木活性炭吸附剂时,液料质量比、浸渍时间和活化温度的适当增大有利于提高活性炭的碘吸附值。液料质量比选择 5.0:1,浸渍时间选择 15 h,活化温度选择 600 °C 较合适;活化时间随着活化时间的延长,杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的碘吸附值逐渐增大;活化时间超过 180 min 后,碘吸附值开始下降。

(2)液料质量比与浸渍时间的增大有利于提高活性炭的得率;低浓度氯化锌溶液有利于提高活性炭的得率,但浓度太大对其得率的提高有抑制作用;活化温度与活化时间的加大则不利于提高活性炭的得率。

(3)综合考虑活性炭的得率和活性炭的吸附性能,采用氯化锌活化法制备杜仲叶林枝木活性炭吸附剂的最佳工艺条件是:氯化锌溶液质量分数为 30%,液料质量比为 5.0:1,浸渍时间为 15 h,活化温度 550 °C,

活化时间 180 min。所得杜仲叶林枝木活性炭吸附剂得率为 42.38%,碘吸附值为 1116 mg/g。

这一高质量的活性炭的制作,使杜仲叶林模式的生物质能有效地利用在净化环境的产业之中。

References (参考文献)

- [1] Cao Hui-juan. Botany(The second edition)[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992(Ch).
曹慧娟.植物学(第2版)[M].北京:中国林业出版社,1992.
- [2] He Wen-guang, Su Yin-quan, Xu Yong-mei, et al. Effect s of External Hormones on Secondary Metabolites in t he Leaf of Eucommia ulmoides[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(6): 121~123
何文广,苏印泉,徐咏梅,等.外源激素影响杜仲叶中次生代谢物含量的研究[J].西北林学院学报,2009,24(6):121~123.
- [3] Xu Xi-ming, Xu Yong-mei, Peng Feng, et al. Investigation on Field Biomass of Leaf -oriented Tree Model of Eucommia Ulmoides and the Difference of Renewal Model and no Renewal Model[J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2006, (1): 22~24(Ch).
许喜明,徐咏梅,彭锋,等.多年生杜仲叶林栽培模式及其更新复壮[J]. 陕西林业科技,2006, (1):22~24.
- [4] Xu Yong-mei, Su Yin-quan, Peng Feng, et al. Study on the contents of secondary metabolites in the bark of high forest tree model and leaf-oriented tree model of Eucommia ulmoides Oliv[J]. *Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. (Nat. Sci. Ed.)*, 2006,34 (4):55~57(Ch).
徐咏梅,苏印泉,彭锋,等.杜仲乔林与叶林树皮中次生代谢物含量的比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34 (4):55~57.
- [5] Li Xin-zhu, Fan Yan-qing, Chen Wen. Coal resources in Yunnan and the production of activated carbon[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology*, 2003, 18(4): 27-30 (Ch).
李新柱,范艳青,陈雯.云南煤炭资源与活性炭生产[J].昆明理工大学学报(理工版),2003,18(4):27~30.
- [6] Guo Shu-cai. Coal chemical process and technology[M]. Beijing: *Chemical Industry Press*,1995.312~313(Ch).
郭树才.煤化工工艺学[M].北京:化学工业出版社,1995.312~313.
- [7] Gong Jian-ping, Lin Mu-sen, Zhang Yan-ping. Study on activated carbons from the coniferous wood in the South China and the broad-leaved wood in the North China by ZnCl₂ activation[J]. *Biomass Chemical Engineering*, 2008, 48(5): 30-32 (Ch).
龚建平,林木森,张燕萍.氯化锌活化南方针叶材和北方阔叶材制备活性炭的研究[J].生物质化学工程,2008,48(5):30~32.
- [8] Su Wei, Zhou Li, Zhou Ya-ping. Study on activated carbons from the coniferous wood in the South China and the broad-leaved wood in the North China by ZnCl₂ activation[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2006, 26(2): 49-52.
苏伟,周理,周亚平.椰壳炭制备高比表面积活性炭的研究[J].林产化学与工业,2006,26(2): 49~52.
- [9] Li Hai-chao, Liu Shou-xin, Zhang Shi-run. Preparation of high yield nutshell activated carbon[J]. *Forestry Science and Technology*, 2001, (5): 42-44 (Ch).
李海潮,刘守新,张世润.高得率果壳活性炭的研制[J].林业科技,2001,(05):42~44.
- [10] Ning Ping, Peng Jin-hui. Manufacture of activated carbon with the method of zinc chloride-microwave radiation from waste and it's application in treatment of wastewater of containing chromium[J]. *China Environmental Science*, 1999, 19(4): 306~309 (Ch).
宁平,彭金辉.ZCMR法从废物中制取活性炭及在含铬废水处理

- 理中应用[J].中国环境科学,1999,19(4):306~309.
- [11] Snook L C ·Tagasaste . A productive browse shrub for sustainable agriculture [M]. Shepparton: Night owl Publixbers, 1986.
- [12] Webb C J, Juliete S. Reproductive biology of tree Lucerne (Cham aecytisus palmensis, Leguminosae) [J]. *New Zealand Journal of Botany*, 1985, 23:597~606.
- [13] Rong Da, Zhou Mei-hua. Adsorptive properties of kapok-based activated carbon fiber[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(8): 1419~1424 (Ch).
荣达,周美华.木棉基活性炭纤维吸附性能的研究[J].环境工程学报,2009,3(8):1419~1424.
- [14] Zhang Hui-ping, Ye Li-yi, Yang Li-chun. Orthogonal test analysis for preparation of activated carbon by chemical activation[J]. *Science & Technology In Chemical Industry*, 2004, 12(2): 36~39 (Ch).
张会平,叶李艺,杨立春.化学活化法制备活性炭的正交试验分析[J].化工科技,2004,12(2):36~39.
- [15] Jia Qi-gen. Application of activated carbon[M].Shanghai: *East China University of science and technology press*, 2002(Ch).
郑其庚.活性炭的应用[M].上海:华东理工大学出版社,2002.
- [16] Dai Wei-di , Chang Xia ,Tong Ya-juan, Appraising on liquid adsorption of activated charcoal and measuration of tannin value[J]. *Journal of Chemical Industry of Forest Products (Bimonthly)*, 2004,(5):10~13(Ch).
戴伟娣,常侠,童雅娟,等.活性炭的液相吸附评价与单宁酸值的测定[J].林产化工通讯,2004,(5):10~13.
- [17] Tu Jiu-jie, Jiang Hai. Method of $ZnCl_2$ Actvation To manufacture the Activated Carbon In making sugar from alcohol scum with mollet shells[J]. *Journal of Nanchang University (Natural science)*, 1997, 21(3): 293-298(Ch).
涂久洁,江海. $ZnCl_2$ 活化法酒糟谷壳制取糖用活性炭[J].南昌大学学报(理科版),1997,21(3):293~298.
- [18] Li Yue, Chen Zheng-hang, Manufacturing activated carbon from rice shell[J]. *Shanxi Food Industry*, 2004, (3): 15~19(Ch).
李玥, 陈正行, 稻壳制备活性炭的研究[J].山西食品工业, 2004,(3): 15~19.
- [19] Wang Yuanqing, Zhou Meihua, Rong Da, et al. Preparation and Characterization of a Novel Activated Carbon Fiber Based on Kapok[C].Proceedings of International Conference on Advanced Fibers and Polymer Materials,2007,2:571~574.