

Research on the Application of Tea and Waste Tea Products in Reducing Formaldehyde of Particleboards

Youying Tu¹, Xiaohong Cai¹, Le Ying¹, Youming Yu², Jianlin Tao³

¹Department of Tea Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

²School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, China;

³Hangzhou Easily Biotechnology Limited Company, Hangzhou 310029, China.

Email: youyutu@zju.edu.cn, ivycail@zju.edu.cn

Abstract: It has been a very important topic about the release of free formaldehyde from artificial board in this century. In this study black tea residue, green tea residue, oolong tea stalk, pruned tea branch and stale green tea were designed to absorb free formaldehyde in the artificial board. The effects of different types and additional proportion of tea and waste tea products on particleboard properties were analyzed, the relationship between the decreasing level of free formaldehyde emission and the main contents of additive samples were discussed also. We found tea and waste tea products can reduce significantly formaldehyde-emission from particleboards, and improve other properties of particleboard. The results suggested that there are positive correlations between the reducing amount of free formaldehyde emission and the contents of three main compounds of tea polyphenols, amino acids and theaflavins. The free formaldehyde emission in pruned tea branch group and stale green tea group reduced to 51.3% and 35.5% respectively to compare with blank group. The effect of different additional proportion of tea and waste tea product on the formaldehyde absorptivity of particleboards was 15% > 10% > 5%. To add green tea residue, pruned tea branch, or stale green tea could improve the particleboard quality.

Keywords: free formaldehyde emission; waste tea products; polyphenol; particleboard

利用茶制品废弃物降低刨花板甲醛的研究*

屠幼英¹, 蔡晓红¹, 应乐¹, 俞友明², 陶建林³

¹浙江大学农业与生物技术学院茶学系, 杭州 310029;

²浙江林学院工程学院, 临安 311300;

³浙江杭州英仕利生物科技有限公司, 杭州 310029

Email: youyutu@zju.edu.cn, ivycail@zju.edu.cn

摘要: 刨花板质优价廉, 但其游离甲醛的释放问题一直是业内人士关注的焦点。通过将红茶渣、绿茶渣、乌龙茶梗、陈绿茶和茶树修剪枝这五种茶及茶制品废弃物应用于刨花板生产, 研究不同类型废弃物和添加量对刨花板游离甲醛释放量等理化性能的影响, 并探讨化合物成分与降低游离甲醛释放量的相关性。结果表明, 添加茶及茶制品废弃物显著降低了刨花板的游离甲醛释放量, 并不同程度地改善了刨花板的其他理化性能。茶及茶制品废弃物的主要内含成分中, 茶多酚、氨基酸和茶黄素的含量与游离甲醛释放量的降低具有线性正相关性。陈绿茶组和茶树修剪枝组的游离甲醛释放量分别降至对照组的 51.3% 和 35.5%, 添加量对游离甲醛释放量的吸收效果为: 15% > 10% > 5%; 添加陈绿茶、茶树修剪枝和绿茶渣对刨花板的其他理化性能均有显著增强作用。

关键词: 甲醛释放; 茶制品废弃物; 茶多酚; 刨花板

1 引言

刨花板是一种广泛应用于室内装修、家具制造等的

基金项目: 杭州留学生创新人才启动项目, 浙江大学第二期国家大学生创新性实验计划。

* 屠幼英为通讯作者。

常见人造板材, 其使用的大部分胶粘剂以甲醛为主要原料。研究发现, 胶粘剂中未完全参与反应的甲醛往往以游离状态存在而逐渐向周围环境释放出来, 造成室内环境污染、威胁人类健康。目前基于胶粘剂工艺改良、化

学吸收、降解或吸附去除的方法均存在成本高、不利于大规模生产、添加物本身有毒性及甲醛吸附效果不理想等问题。因此,寻找有效降低刨花板游离甲醛,开发经济环保板材已成为人造板行业发展的重要方向。

近几年来,我国茶产业发展迅猛,茶叶深加工和综合利用所占比重也日益增大,由此产生大量的茶及茶制品废弃物,如滞销陈茶、低档茶、茶叶下脚料、茶梗、茶树修剪枝、茶有效成分提取和速溶茶产生的茶渣等,这些废弃资源造成了环境污染和资源的严重浪费。国内外大量研究表明,茶叶中特有的茶多酚、茶色素等物质能与甲醛发生反应,从而吸收板材或食品中的游离甲醛,并对其反应机理进行探究^[1-5],研究表明,儿茶素类化合物(L-EGCG, L-EGC, L-ECG, L-EC)易与甲醛结构式上的醛基在 C-6 和 C-8 位上发生羟醛缩合反应,氨基酸含有的多个活性氨基基团、茶黄素结构中保留的多个羟基,也能与甲醛发生反应^[5-6]。另据报道,茶渣刨花板对厌氧性真菌具有很高的抗性,同时茶叶中的多酚类物质能防止板材中产生白蚁^[7]。因此,若能将茶及茶制品废弃物应用于刨花板生产领域,用于降低人造板材的甲醛释放,不但能变废为宝、降低成本,提高板材理化性能,也迎合了当前绿色、可持续发展的科学观。

目前,已有不少报道和研究成果,如 Shi Jin-shu 等人进行了茶渣添加入刨花板胶粘剂后的性能研究^[8],废茶叶能减少板材中甲醛的释放量。刨花板的密度是影响其静曲强度、弹性模量和内结合强度的一个重要因素,李建章、徐力峥等将茶叶废料代替面粉作为填料加入胶合板,结果显示上述添加基本不降低胶合板的胶合强度,且能有效减少胶合板中甲醛的释放量^[9-10]。另外在茶多酚甲醛捕捉剂,脲醛树脂茶叶废料添加剂等方面已有相关专利^[11-13]。同时,也有将茶叶废料用于纤维板和碎料板的生产发明专利^[14-15]。尽管如此,目前的研究主要仅停留在对茶多酚吸收甲醛的机理初步探究,茶叶废弃物作为甲醛捕捉剂或添加剂应用于脲醛树脂的试验,以及茶叶废料的初步生产实践;尚未对茶及茶制品废弃物应用于人造板及其对人造板的理化性能的影响展开深入的相关研究。本研究将茶及茶制品废弃物(茶树修剪枝、陈绿茶、乌龙茶梗、红茶渣、绿茶渣)五种样品应用于刨花板生产,研究废弃物类型和添加量对刨花板理化性能的影响,探讨添加的茶及茶制品废弃物主要内含成分与降低游离甲醛释放量的相关性以及对板材质量的影响,为茶废弃物的利用、低游离甲醛释放和高理化品质的环保型刨花板等人造板的开发提供实践依据。

2 材料与方法

2008-2009 年在浙江大学茶学系生化实验室进行脲醛树脂胶的制备和检测;茶及茶制品废弃物的处理和成分测定;刨花板试件游离甲醛释放量的测定。在浙江林学院木材科学与技术实验室进行刨花板试件的预压和理化性能测定。

2.1 材料

原料:木刨花,由杭州地板市场提供;脲醛树脂 BX-100 胶粉,由森宝实业有限公司提供;茶及茶叶废弃物包括红茶渣、绿茶渣、乌龙茶梗、陈绿茶和茶树修剪枝,茶树修剪枝由浙江大学茶学系茶园取样制备,其余样品由浙江茗皇天然食品开发有限公司提供。

2.2 方法

2.2.1 茶及茶制品废弃物预处理和成分测定

将茶树修剪枝、陈绿茶、乌龙茶梗、红茶渣、绿茶渣用 DFY-500 中药粉碎机 and 50 目标准筛进行适当粉碎过筛处理,使其粒度均 ≤ 50 目。用 Mettler Toledo AL104 电子天平, BECKMAN J2-HS 超速离心机,福玛 DGX-9073 恒温干燥箱,测定其含水率、茶多酚、茶色素和氨基酸含量。含水率、茶多酚和游离氨基酸总量测定参照国家标准^[16-18];茶黄素、茶红素和茶褐素采用 HP G1115AA 紫外分光光度仪比色测定^[19]。

2.2.2 脲醛树脂胶的制备和检测

取 BX-100 脲醛树脂胶粉与水 1:1 混合,加适量固化剂(氯化铵)配成脲醛树脂胶,在搅拌器中搅拌均匀。用芬氏粘度计,HH-6 恒温水浴锅,Delta320 台式 pH 计,酸碱滴定管等检测脲醛树脂胶的密度、pH、固体含量、游离甲醛、水混合性、固化时间、贮存稳定性、羟甲基含量、适用期和粘度等基本指标,检测方法参照国家标准^[20]。

2.2.3 刨花板试件的压制和理化性能测定

设计添加物类型和比例为两变量,进行添加比例为 5%,10%和 15%三个水平的正交试验,添加物分别为茶树修剪枝、陈绿茶、乌龙茶梗、红茶渣和绿茶渣,颗粒度均 ≤ 50 目,空白组为不添加任何茶叶废弃物粉末的压制刨花板试件。压制仪器为 DD-S01 拌胶机和 QD-100 实验热压机,试件制作规格为 40cm $\times$ 40cm $\times$

1.6cm(长×宽×厚),密度为 0.7g/cm^3 , 喷胶量为 360g, 约试件质量的 10%, 热压工艺参数为: 温度 186.5°C , 压强 15~5Mpa, 时间 6min。

刨花板检测试件的制作规格以及指标检测参照通用标准^[21-22], 相关检测指标包括刨花板试件的密度、含水率、吸水厚度膨胀率、弹性模量、静曲强度、内结合强度这些理化性能以及游离甲醛释放量。试验仪器采用木材切割机、MW-4 木材万能力学试验机 and 2798A 穿孔萃取仪。

2.2.4 数据处理与统计分析

实验数据用软件 SAS v9.1.3 和 SPSS v15.0 处理。

3 结果与分析

3.1 添加物对刨花板理化性能的影响

3.1.1 茶及茶制品废弃物的成分测定

试验所选用红茶渣、绿茶渣、乌龙茶梗、陈绿茶和茶树修剪枝的茶多酚等成分的含量测定结果见图 1。结果显示, 五种原料的茶多酚、茶红素含量相对较高, 茶多酚含量为陈绿茶>乌龙茶梗>茶树修剪枝>绿茶渣>红茶渣。其中, 陈绿茶的主要内含成分较高, 而茶树枝和乌龙茶梗次之, 茶渣则由于经过了多次提取, 内含成分保留较少。

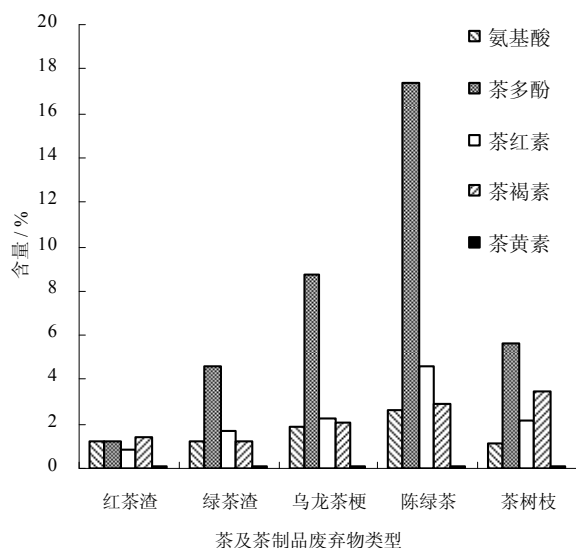


Figure 1. The content of tea and waste tea products
图 1. 茶及茶制品废弃物的主要成分

3.1.2 脲醛树脂胶粘剂的缓冲能力的测定

实验制备得到的脲醛树脂胶粘剂为乳白色无杂质均匀液体。其游离甲醛含量 0.65%、粘度 $226.44\text{ Pa}\cdot\text{s}$, 固化时间 98 s, 羟甲基含量 11.46%, 适用期>340 min, 均达到刨花板胶粘剂的指标要求。该脲醛树脂胶的起始 pH 值为 8.55, 加入 0.1mol/L NaOH 为 2.4mL 时, 树脂胶的 pH 值为 10.26, 变化值为 1.71; 加入的 0.1mol/L HCl 为 2.2mL 时, 树脂胶的 pH 值为 6.94, 变化值为 1.61; 加入 0.1mol/L HCl 为 6.7mL 时, 树脂胶的 pH 值为 6.25, 变化值为 2.3。结果表明, 该脲醛树脂胶的酸碱缓冲能力良好, 尤其对酸具有良好的缓冲能力(见图 2)。因此保证了在刨花板生产过程中, 茶制品废弃物的添加不会对脲醛树脂 pH 造成很大的影响, 同时, 脲醛树脂胶的 pH 也基本不会破坏茶叶中的有效活性成分。

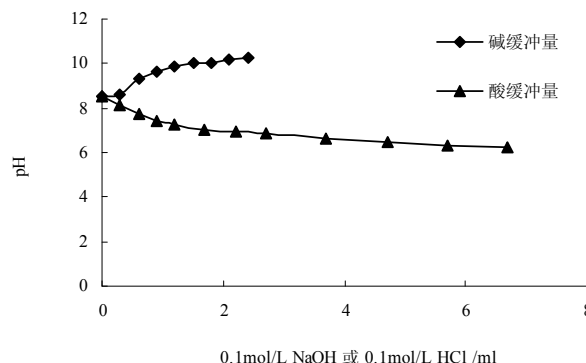


Figure 2. The pH potential ability of urea-formaldehyde resin
图 2. BX-100 脲醛树脂胶的 pH 缓冲能力 (胶: 水=1: 1)

3.1.3 刨花板的理化性能分析

刨花板的游离甲醛释放量是考察板材级别的最重要的化学指标, 一定时间下单位质量刨花板材的游离甲醛含量, 其值越小, 性能越好, 刨花板的优级指标为 $<30\text{mg}/100\text{g}$ 。吸水厚度膨胀率是板材吸水前后的厚度比, 是力学指标之一, 其值越小, 性能越好。相反, 内结合强度是垂直于板材表面的最大破坏力和板材面积之比, 也是力学指标之一, 其值越大, 力学性能越好。静曲强度是板材在最大载荷作用时弯矩和抗弯截面模量之比, 其值越大材料性能越好。弹性模量是确定板材在材料的弹性极限范围内, 载荷产生的应力与应变之比, 弹性模量和板材的性能也成正相关。

表 1 是五种茶及茶制品废弃物添加物对刨花板试件各理化性能影响的统计分析结果。由表 1 可以看出, 与对照组相比, 红茶渣的添加能显著降低试件的吸水厚度膨胀率, 具有提高板材性能的效果, 其余四组与对照组相比无显著差异; 同时, 陈绿茶组和茶树修剪枝组的值略高于空白组, 可能与其所含的茶多酚、蛋白质、果胶、糖等亲水性组分含量较高有关。与对照组相比, 各组的内结合强度均有不同程度的降低, 这可能是因为处理成分较多, 分配不均匀导致。与对照

组相比, 绿茶渣组、陈绿茶组和茶树修剪枝组的刨花板静曲强度显著提高, 板材性能改良, 而红茶渣组和乌龙茶梗组与空白组无显著差异。板材的弹性模量值, 除添加红茶渣和绿茶渣两组试件指标显著降低外, 其他处理与空白组无显著差异, 并且陈绿茶组和茶树修剪枝组的值高于空白组。由上述指标分析可见, 添加茶及茶制品废弃物后, 刨花板的游离甲醛释放量显著降低, 并能改善板材的理化性能。

Table 1. The effects of tea additives on properties of particleboard samples
表 1. 添加物对刨花板试件理化性能的影响分析

理化性能指标	空白对照	红茶渣	绿茶渣	乌龙茶梗	陈绿茶	茶树修剪枝
游离甲醛释放量 / mg/100g	74.10	68.10 *↑	60.07 *↑	64.63 *↑	26.27 *↑	38.03 *↑
吸水厚度膨胀率 / %	17.13	15.21 *↑	16.28 ns	16.29 ns	18.39 ns	18.82 ns
内结合强度 / Mpa	0.35	0.18 *↓	0.17 *↓	0.13 *↓	0.22 *↓	0.20 *↓
静曲强度 / Mpa	16.80	18.06 ns	19.14 *↑	16.08 ns	21.36 *↑	20.44 *↑
弹性模量 / Mpa	2820.00	2147.80 *↓	2193.30 *↓	2700.00 ns	2971.10 ns	3018.90 ns

Note: $\alpha=0.05$; *↑: the property of treatment is significantly higher than blank group; *↓: the property of treatment is significantly lower than blank group; ns: no significantly different between treatment and blank groups.

注: $\alpha=0.05$; *↑: 与对照相比, 处理组显著提高了板材性能; *↓: 与对照相比, 处理组显著降低了板材性能; ns: 处理与对照组没有显著差异

3.2 添加物与游离甲醛释放量的相关性分析

3.2.1 茶及茶制品废弃物类型和比例的比较

茶及茶制品废弃物类型对刨花板游离甲醛释放量的影响分析见表 2。结果显示在三种添加比例下, 五组处理对游离甲醛的吸收效果具有高度一致性, 均为陈绿茶组>茶树修剪枝组>绿茶渣组>乌龙茶梗组>红茶渣组。同时, 对茶及茶制品废弃物添加原料类型、添加比例与游离甲醛吸附效果进行相关性分析, 从标准 F 值和均值可以看出, 添加类型和添加比例均对刨花板游离甲醛释放有显著影响, 且原料类型对甲醛释放影响大于添加比例。10%和 15%的添加比例与 5%的添加比例存在显著差异, 前两者的游离甲醛释放量较低, 而 10%和 15%的添加比例之间基本无显著差异。同时统计结果也表明, 添加原料类型和添加比例不同存在互作效应, 这说明合理选择添加原料类型和添加比例能经济有效地降低刨花板的游离甲醛释放量。

Table 2. The effects of different material and ratios of additives on free formaldehyde emission of particleboard
表 2. 添加原料类型和比例对刨花板游离甲醛释放量的影响

游离甲醛释放量 / mg/100g		茶及茶制品废弃物的添加比例 / %		
原料类型		5	10	15
	红茶渣	74.94 A a	63.87 A b	65.49 A b
	绿茶渣	67.57 B a	59.30 B b	53.31 C c
	乌龙茶梗	69.34 B a	64.05 A b	60.54 B c
	陈绿茶	29.93 D a	25.21 D b	23.71 E b
	茶树修剪枝	45.70 C a	32.60 C b	35.80 D b
F 值	原料类型	Infty **		
F 值	原料比例	Infty **		
均方	原料类型	3013.81		
均方	原料比例	419.09		

Note: Tukey's Studentized Range (HSD) Test to effect of different materials and ratios of tea additives on free formaldehyde emission. Means of the same column with different capital letters are significantly different at $P<0.05$ level. Means of the same line with different lowercase letters are significantly different at $P<0.05$ level. Infty: infinity; **: bally significantly different at $P<0.01$ level.

注: 采用 Tukey 检验对每一列和每一行数据分别进行比较, 不

同大写字母表示列数据在 $P<0.05$ 水平差异显著, 不同小写字母表示行数据在 $P<0.05$ 水平差异显著; Infty: 表示无限大; **: 在 $P<0.01$ 水平差异极显著。

3.2.2 茶叶化学成分与游离甲醛释放量的相关分析

通过对茶及茶制品废弃物的各种化学成分(氨基酸、茶多酚、茶黄素、茶红素和茶褐素等)与板材游离甲醛释放量的 SPSS 相关性分析发现, 各化学成分与板材游离甲醛释放量存在一定的线性相关性。以化学成分含量为自变量, 游离甲醛释放量为因变量, 建立多元线性回归模型, 通过“逐步剔除”的分析方法优化线性回归模型。最终得到以氨基酸、茶多酚、茶黄素含量为自变量, 游离甲醛释放量为因变量的优化线性回归模型, 模型达到显著水平(R 值为 0.901)。如表 3 所示, 氨基酸、茶多酚、茶黄素三因子的 P 值均 <0.01 , 到极显著水平; 各成分的作用大小, 依次为茶多酚>氨基酸>茶黄素。

Table 3. Analysis of variance for multi-linear regressive model (three main compounds of tea -free formaldehyde emission)

表 3. 优化的多元线性回归模型(各内含成分-游离甲醛释放量)的方差分析

回归模型	t 值	P 值 (显著值)
常量	10.97	<0.001
氨基酸	4.21	0.001
茶多酚	-5.21	<0.001
茶黄素	-3.63	0.004

Note: Linear regressive model: F value=15.77 **; dependent variable: free formaldehyde emission.

注: 线性回归模型; F 值=15.77 **; 因变量: 游离甲醛释放量。

图 3 为茶及茶制品废弃物各内含成分-游离甲醛释放量相关性模型经优化后得到的多元线性回归模型的回归标准化残差 P-P 图(期望值-观察值), 图中散点代表实际观察值, 直线代表线性回归拟合值(期望值), 从图中可以看出, 观察值与线性回归值高度拟合。这说明茶多酚极可能是茶及茶制品废弃物各内含成分中最能吸收吸附甲醛的物质, 同时, 氨基酸和茶黄素也是影响板材游离甲醛释放量的显著因素。

4 讨论

本研究通过将茶及茶制品废弃物应用于环保型刨花板生产, 分析了茶及茶制品废弃物对刨花板理化性

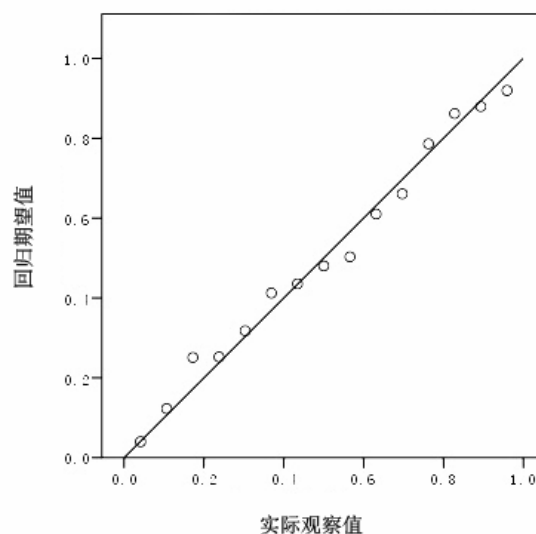


Figure 3. Normal P-P plot of regression standardized residual (expected cum value and observed cum value)

图 3. 回归标准化残差 P-P 图(期望值-观察值)

Note: Dependent variable is free formaldehyde emission.

注: 因变量为游离甲醛释放量。

能的影响, 结果显示: 添加茶及茶制品废弃物能显著降低刨花板的游离甲醛释放量, 并对刨花板的理化性能有一定的改善。以陈绿茶和茶树修剪枝的添加效果最佳, 其对板材静曲强度和弹性模量具有增强效果, 但对添加后刨花板的内结合强度和吸水厚度膨胀率则有一定的影响, 这可能与添加物中吸水性成分含量较高, 板材成分分配不均有关, 该问题将进行进一步探索。

茶及茶制品废弃物类型和比例及其互作对游离甲醛释放量影响均显著。茶及茶制品废弃物类型对游离甲醛释放量的吸收效果为: 陈绿茶>茶树修剪枝>绿茶渣>乌龙茶梗>红茶渣, 陈绿茶组和茶树修剪枝组降低游离甲醛释放量的效果最佳, 分别降至对照组的 51.3%和 35.5%, 添加陈绿茶的刨花板, 其游离甲醛释放量值达到环保优质板的标准。茶及茶制品废弃物添加量对游离甲醛释放量的吸收效果为: 15%>10%>5%, 15%和 10%的添加水平之间并无显著差异。从成本和材料获得可能性两个方面考虑, 添加 10%的茶树修剪枝是最理想的选择。

添加物主要化学成分茶多酚、氨基酸和茶黄素的含量与降低游离甲醛释放量具有线性正相关。茶多酚对板材游离甲醛释放影响最显著, 同时, 氨基酸和茶黄素也是影响板材游离甲醛释放量的重要因素。这不

仅是由于茶及茶制品废弃物中氨基酸和茶黄素的含量大大低于茶多酚,同时也与一些机理研究结果相一致^[1-5]:儿茶素类化合物(L-EGCG, L-EGC, L-ECG, L-EC)易与甲醛结构式上的醛基在C-6和C-8位上发生羟醛缩合反应,氨基酸含有的多个活性氨基基团,茶黄素结构中保留的多个羟基也能与甲醛发生反应。据报道^[2],其他因素对游离甲醛释放量也有一定的影响。如茶叶结构也可能对甲醛起到一定的吸附作用,其“S”型的多层吸附是可逆无选择性的。茶及茶制品废弃物中的其他成分,如糖类物质具有亲水性,对游离甲醛释放量是否会产生影响尚无定论。而如茶红素、茶褐素等组分是否与甲醛发生反应、其反应的机理尚待进一步的研究。另研究表明^[23],板材游离甲醛含量易受人造板含水率影响,检测时最好对板材进行含水率平衡处理,减少误差。同时,在板材的存放过程中,其甲醛吸附动力学也有待进一步研究。

致 谢

本研究中刨花板试验测定工作在浙江林学院完成,金永明教授给予了大力支持,林鹏硕士、胡勇庆硕士、黄皓哲硕士承担了大量试验,对他们谨致谢意!

References (参考文献)

- [1] Wang Jinquan, Luo Jianzhong, Zhang Ming, *et al.* Experiment research on treatment of formaldehyde pollution by tea[J], *Environmental Engineering*, 2005, 23(4), P47-48 (Ch).
王金权, 罗建中, 张明等, 茶叶在甲醛污染治理中的试验性研究[J], *环境工程*, 2005, 23(4), P47-48.
- [2] Deng Feiying, Luo Jianzhong, Li Huijun, Preliminary study on the mechanism of indoor formaldehyde removed by tea-leaf [J], *Guangdong Chemical Industry*, 2007, 10, P67-68 (Ch).
邓飞英, 罗建中, 李慧君, 茶叶除室内甲醛的机理初探[J], *广东化工*, 2007, 10, P67-68.
- [3] Toshiyuki Takano, Tomomi Murakami, Hiroshi Kamitakahara, Fumiaki Nakatsubo. Mechanism of formaldehyde adsorption of (+)-catechin[J]. The Japan Wood Research Society, 2008, 54, 329-331.
- [4] Takagaki A, Fukai K, Nanjo F, Hara Y. Reactivity of green tea catechins with formaldehyde[J]. The Japan Wood Research Society, 2000, 46, 334-338.
- [5] Takagaki A, Fukai K, Nanjo F, Hara Y, Watanabe M, Sakuragawa S. Application of green tea catechins as formaldehyde scavengers[J]. *Satoshi Mokuzai Gakkaishi*, 2000, 46 (3), 231-237.
- [6] Saito N, Reilly M, Yazaki Y. Chemical structures of (+)-catechin-formaldehyde reaction products (Stiasny precipitates) under strong acid conditions. Part 1. Solid-state ¹³C-NMR analysis [J]. *Holzforschung*, 2001, 55, 205-213.
- [7] Watanabe M. Application of green tea catechins[J]. *Kagaku*, 1999, 54, 30-32.
- [8] Shi Jin-shu, Li Jian-zhang, Fan Yong-ming, Ma Hong-xia. Preparation and properties of waste tea leaves particleboard [J]. *Forestry Studies in China*, 2006, 8(1), 41-45.
- [9] Li Jianzhang, Zhou Wenrui, Xu Lizheng, *et al.* The application of tea waste in urea-formaldehyde resin adhesive[J], *Biomass Chemical Engineering*, 2007, 41(2), P44-46 (Ch).
李建章, 周文瑞, 徐力峥等, 茶叶废料在脲醛树脂中的应用研究[J], *生物质化学工程*, 2007, 41(2), P44-46.
- [10] Xu Lizheng, Li Jianzhang, Zhang Shifeng, Study on improving properties of urea-formaldehyde resin by tea waste[J], *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(24), P10454-10456 (Ch).
徐力峥, 李建章, 张世锋, 茶叶废料提高脲醛树脂性能研究[J], *安徽农业科学*, 2008, 36(24), P10454-10456.
- [11] Yan Ke, The application of tea powder in packing UF resin and formaldehyde capture [P], CN 1298911, 2001-06-13 (Ch).
颜科, 茶粉作为木材胶粘剂脲醛树脂填料及甲醛捕捉剂的应用[P], 中国专利: CN 1298911, 2001-06-13.
- [12] Li Jianzhang, Zhou Wenrui, Dong Jinbao, The addition agent of UF, the preparation method and UF resin [P], CN 101245172, 2008-08-20 (Ch).
李建章, 周文瑞, 董金宝, 脲醛树脂添加剂、其制备方法及其脲醛树脂粘合剂[P], 中国专利: CN 101245172, 2008-08-20.
- [13] He Guorong, Wang Rui, Wen Fu, *et al.* The preparation method of a new kind of formaldehyde capture[P], CN 1425725, 2003-06-25 (Ch).
何国荣, 王锐, 温富等, 一种新型甲醛捕捉剂及其制备方法[P], *Chinese patent*: CN 1425725, 2003-06-25.
- [14] Li Jianzhang, Zhou Wenrui, Fan Dongbin, A kind of filling material used in MDF, MDF and it's preparation method[P], CN 101181793, 2008-05-21 (Ch).
李建章, 周文瑞, 范东斌, 一种用于中密度纤维板的添加剂、中密度纤维板及其制备方法[P], 中国专利: CN 101181793, 2008-05-21.
- [15] Li Jianzhang, Zhou Wenrui, Li Wenjun, The preparation method of a kind of particle board [P], CN 101244579, 2008-08-20 (Ch).
李建章, 周文瑞, 李文军, 一种碎料板及其制备方法[P], 中国专利: CN 101244579, 2008-08-20.
- [16] GB/T 8304-2002, Tea determination of moisture content[S] (Ch).
GB/T 8304-2002, 茶水分测定[S].
- [17] GB/T 8313-2008, Determination of total polyphenols and catechins content in tea[S] (Ch).
GB/T 8313-2008, 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].
- [18] GB/T 8314-2002, Tea determination of free amino acids content [S] (Ch).
GB/T 8314-2002, 茶游离氨基酸总量测定[S].
- [19] Zhong Luo, Physical and chemical analysis tea quality[M], Shanghai: *Shanghai Scientific & Technical Publishers*, 1989, P91-93 (Ch).
钟萝, 茶叶品质理化分析, 第一版[M], 上海: 上海科学技术出版社, 1989, P91-93.
- [20] GB/T 14732-2006, Wood adhesives: urea formaldehyde, phenol formaldehyde and melamine formaldehyde resins[S] (Ch).
GB/T 14732-2006, 木材工业胶粘剂用脲醛、酚醛、三聚氰胺甲醛树脂测定[S].
- [21] ISO 820-1975, Particle boards: definition and classification[S] (Ch).
ISO 820-1975, 刨花板 定义和分类[S].
- [22] GB/T 17657-1999, Test methods of evaluating the properties of wood-based panels and surface decorated wood-based panels[S] (Ch).
GB/T 17657-1999, 人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S].
- [23] Long Lin, Lu Xixian, Effects of moisture content of wood-based panels on formaldehyde releases[J], *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(5), P98-102 (Ch).
龙玲, 陆熙娴, 人造板含水率对游离甲醛释放量的影响[J], *北京林业大学学报*, 2005, 27(5), P98-102.