

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说: 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201308242145

尹艺凝, 张文辉, 何景峰, 胡晓静. 四种类型栓皮栎栲胶含量. 生态学报, 2014, 34(11): 2954-2962.

Yin Y N, Zhang W H, He J F, Hu X J. The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis*. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2954-2962.

四种类型栓皮栎栲胶含量

尹艺凝, 张文辉*, 何景峰, 胡晓静

(西北农林科技大学西部环境与生态教育部重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:为了阐明不同类型(薄皮深裂、薄皮浅裂、厚皮深裂、厚皮浅裂)栓皮栎各器官栲胶含量,系统采集了秦岭南坡商州区 4 种类型的栓皮栎不同径级植株根、主干木材、叶片、枝条和树皮样品,用紫外分光光度法(UV Spectrophotometry)测定了 4 种类型栓皮栎不同器官栲胶含量,分析了林木生长与栲胶含量的关系。结果表明,(1)4 种类型栓皮栎的根、主干木材、叶片、枝条和树皮单宁含量平均值分别为 2.64%—3.02%、1.74%—2.02%、6.63%—7.21%、4.69%—5.10%、8.87%—9.46%,叶片、枝条和树皮均可以作为栲胶生产主要原材料。(2)不同类型各器官单宁含量存在极显著差异($P<0.01$),4 种类型的树皮、叶片、枝条单宁含量均表现为:厚皮深裂型>厚皮浅裂型>薄皮深裂型>薄皮浅裂型;根部和主干木材在 4 种类型间单宁含量表现为:薄皮深裂型>薄皮浅裂型>厚皮深裂型>厚皮浅裂型;厚皮深裂类型的栓皮栎是提取栲胶的最佳类型。(3)4 种类型栓皮栎各器官单宁含量与胸径呈显著正相关,各器官单宁含量随着栓皮栎胸径增大而增多,并最终趋于稳定,在第 IV 径级(胸径 20.1—25 cm)时,栲胶含量均值最大。因此,栲胶生产可以高效利用第 IV 径级及其以上径级的栓皮栎,并对第 IV 径级以下栓皮栎进行定向培育和重点保护。

关键词:栓皮栎;栲胶;单宁;器官;胸径

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis*

YIN Yining, ZHANG Wenhui*, HE Jingfeng, HU Xiaojing

Key Laboratory of Environment and Ecology Education Ministry in West China, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: Tannin extract is one of the significant forestry chemical products. The main component of tannin extract is tannin. Tannin, which is an important chemical material for forestry, can be extracted from the organs of *Quercus variabilis* widely in China. To illustrate the variation of tannin content, the barks, shell buckets, fruits, roots, stems and leaves of 72 *Q. variabilis* trees from the four types were sampled based on different diameters at breast height were on the south slopes of Qinling Mountains in October 2012. The content of tannin in the organs were analyzed by UV spectrophotometry, and the influence of tree growth on the tannin content was detected by Pearson correlation and linear regression. The result indicated that there was a great variation between the individuals of the four types. Our aim is to provide an reference and experiment basis for the directive cultivation and effective utilization of *Q. variabilis* resources. It was showed concretely as follows. (1) The average tannin content of 2.31%—2.72% was found in the roots of the four types of *Q. variabilis*, as well as 1.31%—1.72% in the stems, 6.32%—6.89% in the leaves, 4.49%—4.92% in the branches and 8.17%—8.86% in the barks. The content of tannin in the leaves, branches and barks are much higher than that in the roots and stems obviously. Leaves, branches and barks were suggested as the major raw materials of tannin extract. (2) The significant difference of tannin content was observed among the different organs of the four types of *Q. variabilis*. In the leaves, branches and barks, the content of tannin ranged from high to low as the thick bark deep crack type, the thick bark shallow crack type, the thin bark

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(201004011)

收稿日期:2013-08-24; 修订日期:2014-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zwhckh@163.com

deep crack type, the thin bark shallow crack type. The tannin content in the roots and stems of the four types ranged from high to low as the thin bark deep crack type, the thin bark shallow crack type, the thick bark shallow crack type, the thick bark deep crack type. Because of the tannin content in the leaves, branches and barks with a high level, the *Q. variabilis* with the thick bark deep crack type was the best one in the four types for tannin extract. (3) The tannin content of the different organs in the four types augmented with the increasing *DBH* of the trees, and the top value was observed in the *DBH* of 20. 1—25cm. The *DBH* and the height of trees affected the tannin content positively. The suggestion is that the *Q. variabilis* with *DBH* above 25cm should be applied fully and efficiently for tannin extraction, or it should be priority for directive cultivation and special protection.

Key Words: *Quercus variabilis*; tannin extract; tannin content; organ; diameter at breast height

栲胶(Tannin extract)是重要的工业原料,主要成分是单宁。单宁是一种相对分子质量为 500—3000 Da 的复杂多酚衍生物,在栎类植物的树皮、树叶、果壳、果实、根等器官中广泛存在^[1],有较强的生理活性^[2-3],是一种天然可再生资源,具有较大的经济价值。栲胶是我国重要的林业化工产品之一,我国栎类资源丰富,橡碗、树皮栲胶是我国栲胶的主要类型^[4],在国民经济中起着不可或缺的作用,主要涉及鞣皮、制革、医药、印染、石油化工、塑料制品、食品、水处理等多个应用领域^[5-8]。

栓皮栎(*Quercus variabilis*)为壳斗科栎属落叶乔木,速生、耐旱、耐瘠薄,是我国著名富含栲胶的树种^[9],也是我国暖温带落叶阔叶林和亚热带常绿落叶阔叶混交林的重要建群种,秦巴山区是其核心分布区,黄土高原黄龙山也有少量分布^[10-11]。由于分布区域气候、土壤、空间位置等条件的复杂及差异,栓皮栎天然种群在形态、生长等方面存在着丰富的类型^[12-13]。周建云等^[14-15]对秦巴山区和黄龙山区的栓皮栎天然类型研究发现,秦岭林区栓皮栎树皮厚度和开裂程度存在明显差异,他以胸高处树皮厚度及其开裂方式作为划分指标,将栓皮栎天然类型划分为厚皮深裂、厚皮浅裂、薄皮深裂、薄皮浅裂 4 种类型,并发现 4 种类型同工酶差异显著。任耀忠等^[16-17]运用 RAPD 技术,证实了 4 种类型栓皮栎间 DNA 差异显著,与表型类型相一致,完全支持周建云对栓皮栎 4 个不同的类型划分。他进一步分析了 4 种类型栓皮栎栓皮的优良特性、子代(家系)苗期高度和地径的速生性等,综合评价发现厚皮深裂型是培育软木等资源的最佳类型,应当作为定向培育和资源保护首选类型。针对栓皮栎 4 个类型的研究,已经在表型特征、分子和遗传学特征等方面开

展研究,但对不同类型各器官栲胶含量尚未测定。栓皮栎作为栎类重要的栲胶资源树种,开展不同类型各器官栲胶含量研究,是栓皮栎资源持续高效利用基础,也是栓皮栎作为珍贵用材树种培育亟待解决的重要问题。

此前国内对栓皮栎栲胶生产利用的研究多集中于橡碗栲胶,重点是提取工艺和橡碗收集^[1, 6, 18],而针对栓皮栎不同器官的栲胶提取、以及不同年龄个体各器官单宁含量的报道较少。如何保护现有资源,实现经济效益持续增长是目前人们关注的热点,而高效利用栓皮栎栲胶资源是森林多功能利用的重要方向。栓皮栎根、枝条、叶、树皮等器官均含有栲胶,林木生长不同阶段各器官栲胶含量不同,同一器官在不同时期栲胶含量也会有变化,这些是科学利用林产资源特别是高效利用栲胶资源的基础。深入系统地研究不同类型栓皮栎栲胶含量及其在各器官中的分布特点,对于栓皮栎栲胶资源高效利用具有重要意义。

本研究以秦岭南坡同一生境天然林中栓皮栎不同类型(厚皮深裂、厚皮浅裂、薄皮深裂和薄皮浅裂)林木个体为研究对象,在落叶前(10 月)采样采用分光光度法系统测定了不同类型不同径级的栓皮栎根、主干木材、枝条、叶、树皮器官栲胶含量,阐明 4 种类型栓皮栎根、主干木材、枝条、叶、树皮中栲胶含量,分析不同径级各器官栲胶含量,为栓皮栎栲胶资源高效利用提供参考依据。

1 研究地区、材料与方法

1.1 研究区概况

秦岭南坡是栓皮栎分布重要核心区之一,海拔 1500 m 以下栓皮栎类型丰富,个体生长发育良好。

本研究区域选择在陕西省商洛市山阳县(109°58'28"—110°19'32"E, 33°36'13"—33°57'25"N), 地处秦岭南坡, 属亚热带向暖温带过渡的季风性半湿润气候。平均海拔 1100 m—1500 m, 年平均气温 13.1℃, 年降水量 700—900 mm, 年平均日照 2133.8 h, 年无霜期 207 d。土壤以山地黄褐土为主。地带性植被为暖温带落叶阔叶林, 主要乔木树种主要为栓皮栎(*Quercus variabilis*), 占林地乔木层 80% 以上, 伴有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华山松(*P. armandii*)、榲桲(*Q. dentata*)、等; 主要灌木物种主要有鼠李(*Rhamnus davurica*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*); 主要草本植物有苔草(*Carex tristachya*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)和败酱(*Patrinia scabiosaeifolia*)等。

1.2 试验材料

1.2.1 不同类型栓皮栎不同器官取样

2012 年 10 月在秦岭南坡商洛市山阳县林区, 选择阳坡下部生境, 林相均一, 郁闭度为 0.8, 栓皮栎占 75%—90% 以上, 该林地从 1988 年以来未经任何管理措施, 属于天然恢复形成的近成熟林。以不同类型^[14-17](厚皮深裂、厚皮浅裂、薄皮深裂、薄皮浅裂)生长良好、树干通直圆形、平均胸径为 20 cm 栓皮栎个体为对象, 选择标准株后按器官分别采样。树皮: 在标准株上采集主干距离地面 1.3 m 处树皮(采样至周皮形成层, 10 cm × 10 cm); 叶片: 采集树冠上部阳面叶片; 枝条: 采集树冠上部阳面基部直径 ≤ 2 cm 枝条; 主干木材: 砍取基部直径 ≥ 5 cm 的主枝(木质部)代替主干木材; 根: 在地下挖取直径 1—3 cm 根系混合取样。每个类型同一胸径选择 3 株标准木进行生态学和生物学上的重复采样, 将采集到的不同部位材料分别包装, 标记后带回实验室以备使用。

1.2.2 不同胸径栓皮栎不同器官取样

选取秦岭南坡阳坡下部林相相对较好的栓皮栎天然林中, 对不同胸径的栓皮栎进行采样。将栓皮栎划分为 5 个径级: 胸径在 5.0—10.0 cm 为第 I 径级, 10.1—15.0 cm 为第 II 径级, 15.1—20.0 cm 为第 III 径级, 20.1—25.0 cm 为第 IV 径级, 25.1—30.0 cm 为第 V 径级, 每个径级采集 4 个类型栓皮栎各 3 株, 方法同 1.2.1。

1.3 测定方法

1.3.1 试剂与仪器

试剂: 单宁酸标准品、钨酸钠(天津市天力化学试剂有限公司); 磷钼酸、磷酸、无水碳酸钠(四川西陇化工有限公司)等均为分析纯、无水乙醇(西安三浦化学试剂有限公司)、蒸馏水。

仪器: 日本岛津 UV-1800 紫外分光光度、R-1001 旋转蒸发仪、SHB-III 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司)、TG16-W 微量高速离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)、SB-5200 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司)、FW135 植物粉碎机、101-2AB 电热鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器公司)、筛网(孔径 60 mm)、AUY220 电子分析天平、HH-6 数显恒温水浴锅(图华电器有限公司)。

1.3.2 样品处理与提取

栓皮栎不同器官样品洗净去杂, 放入恒温干燥箱中 60℃ 条件下烘干至恒重, 粉碎后过孔径为 60 目筛网, 冰箱密闭保存备用^[19-20]。精确称取 4 种类型栓皮栎各器官样品各 2.0 g, 重复取样 10 份。加入 60% 乙醇 40 mL, 80℃ 回流提取 4 h。抽滤得到滤液, 60℃ 减压浓缩, 定容至 250 mL, 待用^[21]。

1.3.3 单宁含量测定

本文测定的是栓皮栎不同器官单宁总量, 采用 Folin-Denis 分光光度法进行单宁含量的测定^[21-23]。Folin-Denis 试剂: 准确称取 10 g 钨酸钠, 2 g 磷钼酸溶于 20 mL 蒸馏水中, 加入 5 mL 磷酸, 加热回流 2 h, 冷却至室温, 定容至 100 mL。单宁酸标准曲线的绘制: 准确量取 0.1 mg/mL 的单宁标准液各 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5 mL, 分别加入 F-D 显色剂 1 mL, 摇匀后加入 1 mol/L 碳酸钠溶液 5 mL, 加入 60% 乙醇定容至 25 mL, 室温静置 30 min, 4000 r/min 离心 10 min。以相应试剂作为空白, 取上清液在 716 nm 波长下测得吸光度, 得到标准曲线: $y = 72.909x + 0.0026$, 相关系数 $R^2 = 0.9998$, y 为吸光度, x 为单宁酸浓度。用移液管移取待测样品原液 1.0 mL, 根据标准液计算提取液单宁的含量。

1.3.4 吸光度结果检查

吸光度结果检查参照谢久祥的方法^[24]进行。

(1) 稳定性试验 取栓皮栎厚皮浅裂型叶片样

品制备样品溶液,按照 1.3.3 测定方法,样品分别放置 0、2、4、6、8、10 h 测定单宁含量,得到相对标准偏差(RSD)值为 0.33%。

(2)精密度试验 取栓皮栎厚皮浅裂型树皮样本制备 6 份样品溶液,测定单宁含量,RSD 值为 0.04%。

(3)重现性试验 取相同质量的栓皮栎薄皮浅裂型枝条样本制备 10 份样品溶液并按照上述测定方法计算单宁含量,RSD 值为 2.73%。

(4)加样回收试验 取栓皮栎厚皮深裂型树皮单宁含量的样品 6 份,分别加入 200 μL 单宁酸标准液,测定单宁含量得到,平均加标回收率为 99.89%,具有良好的回收率。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据的初步计算及处理,SPSS 13.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA),最小显著差异法(LSD)和 Duncan 多重比较法,对比 4 种类型栓皮栎不同器官单宁含量差异($\alpha=0.05$),并用 Pearson 相关系数评价不同类型栓

皮栎树体生长与各器官单宁含量的相关关系并作回归分析。

2 结果与分析

2.1 4 种类型栓皮栎单宁含量差异

由表 1 可见,4 种类型栓皮栎各器官单宁含量明显不同,单因素方差分析表明,4 种类型的根、主干木材、叶片、枝条、树皮中单宁含量均存在极显著差异($P<0.01$),4 种类型各器官的单宁含量高低表现出一定的规律性,即 4 种类型间根部和主干木材均表现为:薄皮深裂型>薄皮浅裂型>厚皮深裂型>厚皮浅裂型;4 种类型中树皮、叶片、枝条单宁含量大小均表现为:厚皮深裂型>厚皮浅裂型>薄皮深裂型>薄皮浅裂型,不同类型栓皮栎各器官单宁含量的差异可能与其进化适应相关,从另一方面支持了周建云、任耀忠等人的观点。厚皮深裂型栓皮栎树皮、叶片、枝条单宁含量栲胶含量均较高,是生产栲胶原料的主要类型,在以生产栲胶为目的的森林定向培育中,应作为主要栽培对象。

表 1 4 种类型栓皮栎各器官单宁含量与差异分析(平均值 $\pm$ 标准误差)

Table 1 Tannin content in different organs of *Q. variabilis* from four types (Mean $\pm$ SE)

类型 Type	单宁含量 Tannin content/%				
	根 Root	主干木材 Stem	叶片 Leaf	枝条 Branch	树皮 Bark
薄皮深裂 Thin bark deep crack	3.02 $\pm$ 0.05aA	2.02 $\pm$ 0.05aB	6.75 $\pm$ 0.06aC	4.81 $\pm$ 0.09aD	8.99 $\pm$ 0.09aE
薄皮浅裂 Thin bark shallow crack	2.85 $\pm$ 0.04bA	1.83 $\pm$ 0.04bB	6.63 $\pm$ 0.05aC	4.69 $\pm$ 0.07aD	8.87 $\pm$ 0.07aE
厚皮深裂 Thick bark deep crack	2.71 $\pm$ 0.04cA	1.77 $\pm$ 0.03bB	7.21 $\pm$ 0.08bC	5.10 $\pm$ 0.09bD	9.46 $\pm$ 0.06bE
厚皮浅裂 Thick bark shallow crack	2.81 $\pm$ 0.02dA	1.74 $\pm$ 0.03bB	6.96 $\pm$ 0.08cC	4.86 $\pm$ 0.06aD	9.18 $\pm$ 0.06cE
变异系数 CV/%	6.78	8.79	4.49	5.82	3.45

同一列数字后不同小写字母表示同一器官中的单宁含量在不同栓皮栎类型间差异极显著($P<0.01$),同一行数字后不同大写字母表示单宁含量在不同器官间差异极显著,

2.2 栓皮栎不同器官单宁含量差异

同一类型栓皮栎的不同器官中单宁含量明显不同(表 1),方差分析表明同一类型不同器官之间单宁含量存在极显著差异($P<0.01$)。4 种类型的 5 个器官单宁含量从高到低变化趋势皆表现为:树皮>叶片>枝条>根>主干木材。可能是源于器官的功能差异,导致次生代谢产物种类和含量上的不同。通过对比可以发现,栓皮栎各类型树皮、叶片、枝条中单宁含量明显高于其根部和主干木材部。树皮、叶片和枝条便于多次采收,对树木的损害性较小且可以重复利用,这一结论为将树皮、叶片和枝条作为栲胶原料持续利用提供了依据。

2.3 栓皮栎不同径级植株中单宁的含量比较

随着胸径的增加,4 种类型栓皮栎不同器官中单宁含量呈现一定的动态变化(表 2),总体上看,4 种类型不同径级间各器官单宁含量均表现为极显著差异($P<0.01$)。4 种类型根部单宁含量都呈递增趋势,均在第 V 径级达到最大,分别增长了 27.20%、33.75%、34.84%、37.21%。两种薄皮类型主干木材单宁含量随着胸径增加而增长,均在第 III 径级达到峰值之后呈现下降趋势,而两种厚皮类型则增加至第 IV 径级后出现缓慢下降趋势;4 种类型的叶片单宁含量随胸径增加均呈现显著上升趋势,分别增长了 11.70%、8.20%、9.30%、10.37%,但薄皮浅裂型在第

Ⅳ径级达到峰值后略有下降;4种类型的枝条单宁含量随着胸径的增加而增长,但两种厚皮类型上升到第Ⅳ径级后分别下降了6.07%、3.45%;4种类型的树皮单宁含量均随胸径的增加而大幅度增加,且均在第Ⅳ径级达到峰值,分别增加了12.72%、13.28%、14.32%、13.30%,而后出现一定程度下降趋势。以上结果表明4种类型栓皮栎各器官单宁含量随胸径的增加而增加,但到了一定程度后会有小幅度下

降,可以看出4种类型栓皮栎各器官单宁含量的增长与胸径的生长趋势是基本一致的,也有不同的生长发育期,幼年期单宁含量增长缓慢,中期增长速度加快,后期又减慢并趋于稳定。因此在培育、经营和利用栓皮栎资源时,应在林木达到第Ⅳ径级及其更大径级时加以充分利用,而对低于第Ⅳ径级的林木应作为定向培育与重点保护的对象。

表2 4种类型栓皮栎不同径级植株不同器官中单宁含量

Table 2 Tannin content in different organs of four types from *Q. variabilis* with different diameter at breast height (Mean±SE)

类型 Type	胸径径级 DBH class	胸径 DBH/cm	树高 Height/m	单宁含量 Tannin content/%				
				根 Root	主干木材 Stem	叶片 Leaf	枝条 Branch	树皮 Bark
薄皮深裂	I	8.12±0.73a	7.24±0.98a	2.40±0.02a	1.48±0.04a	6.24±0.05a	4.43±0.06a	8.10±0.10a
Thin bark deep crack	Ⅱ	12.46±1.14ab	9.52±0.73b	2.77±0.03b	1.78±0.03b	6.47±0.04b	4.62±0.03b	8.38±0.08a
	Ⅲ	16.82±0.79b	11.85±1.12c	2.94±0.04c	2.03±0.06c	6.61±0.08b	4.73±0.03b	8.70±0.13b
	Ⅳ	23.14±0.51c	12.89±1.00c	3.13±0.05d	1.89±0.03d	6.86±0.05c	4.88±0.04c	9.13±0.12cd
	V	26.8±0.36d	14.58±0.83d	3.21±0.06d	1.79±0.03bd	6.97±0.07c	4.94±0.05c	9.04±0.11d
	P	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **
	变异系数 CV/%	40.78	24.68	10.70	11.16	4.42	4.38	5.26
薄皮浅裂	I	7.96±0.63a	7.22±1.51a	2.39±0.02a	1.32±0.03a	6.23±0.06a	4.28±0.08a	7.98±0.08a
Thin bark shallow crack	Ⅱ	11.86±0.54b	9.27±1.16b	2.55±0.06b	1.55±0.03b	6.34±0.03a	4.47±0.16b	8.21±0.08a
	Ⅲ	16.50±0.66c	11.58±0.69c	2.72±0.04c	1.84±0.03c	6.56±0.07b	4.62±0.11bc	8.86±0.11b
	Ⅳ	22.52±0.47d	12.54±0.68c	2.95±0.06d	1.81±0.02c	6.73±0.04c	4.75±0.12cd	9.04±0.09b
	V	26.74±0.34e	14.18±0.76d	3.04±0.06d	1.73±0.03d	6.69±0.05bc	4.82±0.10d	8.52±0.09c
	P	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **
	变异系数 CV/%	41.27	24.36	9.81	12.46	3.51	4.95	5.23
厚皮深裂	I	8.54±0.35a	7.76±0.56a	2.21±0.04a	1.26±0.02a	6.67±0.08a	4.68±0.08a	8.32±0.03a
Thick bark deep crack	Ⅱ	13.86±0.64b	10.24±0.33b	2.39±0.03b	1.42±0.04b	6.94±0.07b	4.89±0.04bd	8.89±0.13b
	Ⅲ	17.08±0.78c	12.56±0.56c	2.68±0.03c	1.76±0.03c	7.17±0.10bc	5.04±0.08bc	9.22±0.11bd
	Ⅳ	24.28±0.28d	14.64±0.27d	2.87±0.02d	1.83±0.03c	7.26±0.07c	5.11±0.09c	9.71±0.12c
	V	28.18±0.76e	16.26±0.56e	2.98±0.05e	1.75±0.03c	7.29±0.08c	4.80±0.03ad	9.43±0.15cd
	P	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.002	0.000 **
	变异系数 CV/%	39.79	26.42	11.14	14.65	4.11	4.35	5.95
厚皮浅裂	I	8.31±0.54a	7.64±0.68a	2.15±0.03a	1.25±0.02a	6.46±0.07a	4.45±0.08a	8.27±0.04a
Thick bark shallow crack	Ⅱ	13.02±0.69b	9.48±1.00a	2.33±0.01b	1.37±0.03b	6.67±0.05b	4.65±0.03b	8.60±0.08b
	Ⅲ	17.28±0.43c	12.36±0.49b	2.61±0.05c	1.73±0.03c	6.83±0.04b	4.78±0.03bd	8.95±0.11c
	Ⅳ	23.98±0.67d	14.32±0.51c	2.78±0.03d	1.82±0.02d	7.04±0.08c	4.93±0.06cd	9.37±0.11d
	V	27.16±0.77e	16.08±0.42c	2.95±0.04e	1.73±0.02c	7.13±0.06c	4.76±0.04b	9.25±0.10d
	P	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **
	变异系数 CV/%	39.79	26.42	11.90	14.86	4.09	4.27	5.18

** 极显著水平; * 显著水平; 同一列数字后不同小写字母表示单宁含量在不同径级间差异极显著 ($P<0.01$)

2.4 栓皮栎不同器官单宁含量与树体生长的相关分析

栓皮栎单宁含量与树体生长密切相关。由表3可见,总体上,4种类型栓皮栎不同器官单宁含量

均与树体生长呈现显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$) 正相关性,在4种类型的栓皮栎中,根、主干木材、叶片、枝条、树皮单宁含量均随着胸径和树高的增加呈现出显著地增长的趋势,说明在4种类型

栓皮栎中, 树体生长可能是影响单宁含量的主要指标。

通过逐步回归分析, 剔除不重要的自变量后得到 4 种类型栓皮栎不同器官单宁含量(y) 随胸径(D) 的变化的最优回归方程(表 4), 表明胸径可以代替年龄作为反映栓皮栎各器官单宁含量的重要指标而应用于生产实践。

表 3 4 种类型栓皮栎不同器官单宁含量与树体生长的相关分析
Table 3 Correlation analysis between tannin content and tree growth in different organs of *Q. variabilis* from four types

类型 Type	树体生长 Tree growth	器官 Organs				
		根 Root	主干木材 Stem	叶片 Leaf	枝条 Branch	树皮 Bark
薄皮深裂	胸径	0.900 **	0.488 *	0.908 **	0.859 **	0.814 **
Thin bark deep crack	树高	0.880 **	0.583 **	0.841 **	0.843 **	0.823 **
薄皮浅裂	胸径	0.907 **	0.721 **	0.805 **	0.855 **	0.592 **
Thin bark shallow crack	树高	0.911 **	0.798 **	0.837 **	0.807 **	0.580 **
厚皮深裂	胸径	0.949 **	0.810 **	0.762 **	0.497 *	0.811 **
Thick bark deep crack	树高	0.930 **	0.837 **	0.800 **	0.428 *	0.841 **
厚皮浅裂	胸径	0.935 **	0.862 **	0.885 **	0.604 **	0.837 **
Thick bark shallow crack	树高	0.885 **	0.804 **	0.823 **	0.772 **	0.742 **

表 4 栓皮栎不同器官单宁含量(y) 与胸径(D) 的回归方程
Table 4 The regression equation of tannin content (y) and diameter at breast height (D) in different organs of *Q. variabilis* from four types

类型 Type	组分 Component	回归方程 Regression equation	R^2
薄皮深裂	根	$y = 1.5227 + 0.1618D - 0.0063D^2 + 9.8 \times 10^{-5} D^3$	0.846
Thin bark deep crack	主干木材	$y = 0.7430 + 0.1207D - 0.0028D^2 - 1.0 \times 10^{-5} D^3$	0.680
	叶片	$y = 6.3208 - 0.0384D - 0.0049D^2 - 1.0 \times 10^{-4} D^3$	0.829
	枝条	$y = 4.5432 - 0.0340D + 0.0039D^2 - 8.8 \times 10^{-5} D^3$	0.745
	树皮	$y = 9.0980 - 0.2411D + 0.0189D^2 - 0.0004D^3$	0.693
薄皮浅裂	根	$y = 2.4418 - 0.0400D + 0.0053D^2 - 0.0001D^3$	0.836
Thin bark shallow crack	主干木材	$y = 0.8122 + 0.0694D + 0.0003D^2 - 6 \times 10^{-5} D^3$	0.792
	叶片	$y = 6.2942 - 0.0446D - 0.0058D^2 - 0.0001D^3$	0.693
	枝条	$y = 4.2519 - 0.0149D + 0.0035D^2 - 8 \times 10^{-5} D^3$	0.749
	树皮	$y = 8.6181 - 0.2550D + 0.0269D^2 - 0.0007D^3$	0.765
厚皮深裂	根	$y = 1.8165 + 0.0384D + 0.0011D^2 - 4 \times 10^{-5} D^3$	0.917
Thick bark deep crack	主干木材	$y = 1.1493 - 0.0252D + 0.0057D^2 - 0.0001D^3$	0.837
	叶片	$y = 5.3448 + 0.2230D - 0.0093D^2 - 0.0001D^3$	0.667
	枝条	$y = 4.3353 + 0.0253D + 0.0026D^2 - 0.0001D^3$	0.663
	树皮	$y = 7.3276 + 0.1069D + 0.0022D^2 - 0.0001D^3$	0.767
厚皮浅裂	根	$y = 2.1003 - 0.0259D + 0.0049D^2 - 0.0001D^3$	0.889
Thick bark shallow crack	主干木材	$y = 1.2746 - 0.0532D + 0.0073D^2 - 0.0001D^3$	0.884
	叶片	$y = 6.1185 + 0.0329D + 0.0011D^2 - 4 \times 10^{-5} D^3$	0.803
	枝条	$y = 4.5404 - 0.0589D + 0.0075D^2 - 0.0002D^3$	0.635
	树皮	$y = 9.1860 - 0.2518D + 0.0213D^2 - 0.0004D^3$	0.788

3 讨论

栓皮栎是生产栲胶的重要经济树种, 白超等^[25]认为厚皮类型栓皮栎软木优于薄皮类型, 任耀忠和

张文辉等^[17]对 4 种类型栓皮栎的优良性、速生性和抗旱性的研究表明, 其综合优良性为: 厚皮深裂型>厚皮浅裂型>薄皮深裂型>薄皮浅裂型, 厚皮深裂型应作为遗传改良和资源保护的首选类型, 同时也是

软木、栲胶生产的优良类型。本研究结果与其相似,不同类型栓皮栎的树皮、叶片、枝条单宁含量均处于较高水平,其大小顺序表现为:厚皮深裂型>厚皮浅裂型>薄皮深裂型>薄皮浅裂型,也表明厚皮深裂类型是4种类型栓皮栎中最为优良的类型,因而应作为栲胶资源树种首选类型进行重点培育和利用。

很多研究证明栓皮栎不同器官单宁含量不同,胡芳名^[26]、郭利勇等^[27]对栎属植物的研究表明栎属植物是可供利用的重要鞣料植物,果实的壳斗(通称橡碗)、树皮、树叶及木材含有较多的单宁,其中栓皮栎壳斗、树皮单宁含量分别达17%—27%、6.2%—10.6%;谢久祥等^[24]对油松不同部位单宁的含量进行研究发现叶中最高,根次之,树干中最低。Favre等^[28]对欧洲栓皮栎(*Q. suber*)的研究也发现,树皮、叶片、心材单宁含量较高分别为8.3%、7.2%、6.7%。栓皮栎各器官单宁含量与上述报道基本一致,但也有特殊性,如Hernes等^[29]研究显示维管植物中单宁主要存在于植物的根中,其含量可以高达20%;王文杰等^[30]也认为兴安落叶松根部单宁含量可达到7.8%。而本研究结果表明4种类型栓皮栎根部单宁含量较低,树皮、叶片和枝条单宁含量较高,是栲胶生产原料的主要器官。树皮、叶片、枝条都是可再生资源,且叶片和枝条便于大量采摘,对树木损害性较小,基本不影响第2年的正常生长,可以重复利用、多年受益,并可以在软木生产加工^[31]前对树皮进行采剥用于栲胶的提取,可以充分高效利用栓皮栎资源。

胡云云等^[32]研究表明,由于天然林中树木年龄很难测定,因此可用林木胸径结构代替树龄结构。白超等^[25]对栓皮栎软木特性分析也表明可用胸径代替年龄反映周皮厚度。本研究也发现栓皮栎各器官单宁含量与树体生长存在极显著的正相关性,可用胸径代替年龄,直接反映不同年龄阶段单宁含量的变化。不同年龄植株对不同器官单宁含量的影响,国内形成较为一致的结论,即随着年龄的增长单宁含量有上升趋势,本研究结果与其一致。罗美娟等^[33]研究几种木麻黄单宁含量与年龄的关系,认为木麻黄单宁含量随年龄的增加而增大。林益明等^[34]发现红树植物的单宁含量随着年龄增长单宁含量有增加趋势。王跃邦和杨树生等^[35]对火炬树提取栲胶表明随着年龄的增加叶片单宁含量也增

加,且3—5年生火炬树叶提取栲胶最好。本研究结果表明,栓皮栎各器官单宁含量随年龄的增加而呈上升趋势,在第Ⅳ径级(胸径20.1—25 cm)达到峰值提取栲胶最佳,建议在经营培育和利用栓皮栎资源时,对林木达到第Ⅳ径级及更大径级加以充分利用,而低于第Ⅳ径级的林木应进行定向培育与重点保护。不同学者的研究结果不尽一致,说明栓皮栎的不同器官、不同年龄的单宁含量高低是一个复杂并具有探索性的问题,有待进一步研究。

References:

- [1] Sun D W. Vegetable Tannin Extracts Production Technology. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995: 1-33.
- [2] Shi B, Di Y. Plant Polyphenols. Beijing: Science Press, 2000: 50-146.
- [3] Barbehenn R V, Jones C P, Karonen M, Salminen J P. Tannin composition affects the oxidative activities of tree leaves. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 32(10): 2235-2251.
- [4] Zhou Y. The resources and exploitation of *Quercus* in Yunnan. *Guihaia*, 2001, 21(4): 330-334.
- [5] Wang T K. Development trend of tannin industry. *World Forestry Research*, 1997, (1): 36-42.
- [6] Zhang G C, Wang S M, Ren Y L, Zhou C S. A general survey on study of vegetable tannin extract application. *Journal of Shangluo University*, 2006, 20(4): 41-45.
- [7] Bisandaa E T N, Ogoab W O, Teshac J V. Characterisation of tannin resin blends for particle board applications. *Cement and Concrete Composites*, 2003, 25(6): 593-598.
- [8] Kolodziej H, Kiderlen A F. Antileishmanial activity and immune modulatory effects of tannins and related compounds on *Leishmania parasitised* RAW 264.7 cells. *Phytochemistry*, 2005, 66(17): 2056-2071.
- [9] Zhou J Y, Lin J, He J F, Zhang W H. Review and perspective on *Quercus variabilis* research. *Journal of Northwest Forest University*, 2010, 25(3): 43-49.
- [10] Lei M D. Forest in Shaanxi. Beijing: Science Press, 1999: 163-164.
- [11] Zheng W J. Chinese Journal of Trees. Beijing: China Forestry Press, 1985: 2130-2331.
- [12] Zhang W H, Lu Z J, Li J X, Liu G B. Population dynamics of *Quercus variabilis* on northern slope of Qinling Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1427-1432.
- [13] Han Z X, Shan L. Variation and adaptive countermeasures of *Quercus variabilis* population in Shaanxi Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(6): 16-22.
- [14] Zhou J Y, Cao X P, Zhang H B, Zhang J. Classification of natural types of *Quercus variabilis* in Shaanxi Province. *Journal of*

- Northwest Forest University, 2009, 24(1): 16-19.
- [15] Zhou J Y, Guo J Z, Yang Z S, Zhang W H. Variation of peroxidase isozyme on natural populations of *Quercus variabilis*. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(2): 33-36.
- [16] Ren Y Z. Genetic Identification and Evaluation of Four Different Variant Types in *Quercus variabilis* BL Master Degree Thesis [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009.
- [17] Ren Y Z, Zhang W H, Zhou J Y. Superiority analysis on different variant types of *Quercus variabilis*. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(6): 60-63.
- [18] Luo W X, Zhang W H, Huang Y Z. Chinese Cork Oak. Beijing: China Forestry Press, 2009: 313-315.
- [19] Li P, Zhang H S, Niu G X. Research on the extraction methods of tannin from persimmon leaf. Science and Technology of Food Industry, 2009, (9): 220-222.
- [20] Guan Z Y, Zhao Y, Dong X L. Relationships of *syzygium jambos* and dracontomelon duperreanum leaf tannin concentration and leaf litter breakdown with the colonization of benthonic invertebrates. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2493-2498.
- [21] Wu Y Q, Guo Y Y. Determination of tannin in cotton plant. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2): 243-245.
- [22] Ma H L, Liu W L, Gao R, Yang Y S, Sun J. Effects of litters and tannin on forest soil inorganic nitrogen. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(1): 61-65.
- [23] Vieira M C, Lelis R C C, Silva B C, Oliveira G L. Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa var. oocarpa* with sodium carbonate and sodium bisulfite. Floresta e Ambiente, 2011, 18(1): 1-8.
- [24] Xie J X, Lin G H, Du Y R, Yu X F, Suo Y R, Zhang T Z. Comparison of the contents of total polyphenols and tannins in different parts of *Pinus sinensis*. Bulletin of Botanical Research, 2012, 32(2): 243-247.
- [25] Bai C, Zhang W H, Lei Y F. Growth and characteristics of cork from two types of *Quercus variabilis* in north slopes Qinling Mountains. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(4): 62-69.
- [26] Hu F M, Li J A. Inventory of oak plants in Hunan Province. Economic Forest Researches, 1999, 17(2): 1-3.
- [27] Guo L Y, Zhou Z, Guo Y G. Comprehensive utilization and development of Oak plants resources in Henan. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(5): 1830-1831.
- [28] Favre J M, Scalbert A, Hervé du Penhoat C L M. *Quercus spp.* (Oak): In vitro culture and production of tannins. Biotechnology in Agriculture and Forestry, 1993, 24: 300-312.
- [29] Hernes P J, Benner R, Cowie G L, Bergamashi B A, Hedges J I. Tannin diagenesis in mangrove leaves from a tropical estuary: a novel molecular approach. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, 65(18): 3109-3122.
- [30] Wang W J, Zu Y G, Li X Y. Seasonal change and organs difference of tannin in *Larix gmelinii*. Chemistry and Industry of Forest Products, 2007, 27(2): 81-84.
- [31] Yang L. Research on stripping, regenerative experiment and the properties of physics and chemistry of *Quercus subera* kind of new model and raw cork materials. Hubei Forestry Science and Technology, 1996, (1): 63-65.
- [32] Hu Y Y, Kang X G, Zhao J H. Variable relationship between tree age and diameter at breast height for natural forests in Changbai Mountains. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(11): 38-42.
- [33] Luo M J, Huang Z P, Ye G F, Lin Y M, Zhang L H. Tannin content of different *Casuarina species* and its distribution law. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2009, 36(1): 62-66.
- [34] Lin Y M, Xiang P, Lin P. Studies on tannins of mangroves-a review. Marine Sciences, 2005, 29(3): 59-62.
- [35] Wang Y B, Yang S S, Sun C S, Zhang H J, Li T. Study on extraction of tannin extract from Torchtree. Soil and Water Conservation in China, 1995, (8): 8-10.

参考文献:

- [1] 孙达旺. 栲胶生产工艺学. 北京: 中国林业出版社, 1995: 1-33.
- [2] 石碧, 狄莹. 植物多酚. 北京: 科学出版社, 2000: 50-146.
- [4] 周元. 云南栎属植物资源及开发利用. 广西植物, 2001, 21(4): 330-334.
- [5] 王体科. 栲胶生产发展动向. 世界林业研究, 1997, (1): 36-42.
- [6] 张国春, 王书民, 任有良, 周春生. 栲胶应用研究综述. 商洛学院学报, 2006, 20(4): 41-45.
- [9] 周建云, 林军, 何景峰, 张文辉. 栓皮栎研究进展与未来展望. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 43-49.
- [10] 雷明德. 陕西植被. 北京: 科学出版社, 1999: 163-164.
- [11] 郑万钧. 中国树木志. 北京: 中国林业出版社, 1985: 2130-2331.
- [12] 张文辉, 卢志军, 李景侠, 刘国彬. 秦岭北坡栓皮栎种群动态的研究. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1427-1432.
- [13] 韩照祥, 山仑. 栓皮栎种群变异与适应对策研究. 林业科学, 2005, 41(6): 16-22.
- [14] 周建云, 曹旭平, 张宏勃, 张进. 陕西栓皮栎天然类型划分研究. 西北林学院学报, 2009, 24(1): 16-19.
- [15] 周建云, 郭军战, 杨祖山, 张文辉. 栓皮栎天然群体过氧化物酶同工酶遗传变异分析. 西北林学院学报, 2003, 18(2): 33-36.
- [16] 任耀忠. 栓皮栎 4 个不同类型遗传测定及其评价 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [17] 任耀忠, 张文辉, 周建云. 栓皮栎不同变异类型的优良性分析. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(6): 60-63.
- [18] 罗伟祥, 张文辉, 黄一钊. 中国栓皮栎. 北京: 中国林业出版社, 2009: 313-315.
- [19] 李鹏, 张海生, 牛国霞. 柿叶单宁提取技术研究. 食品工业科

- 技, 2009, (9): 220-222.
- [20] 官昭瑛, 赵颖, 董晓立. 蒲桃和人面子叶片单宁含量与凋落物分解速率及底栖动物定殖 的关系. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2493-2498.
- [21] 武予清, 郭予元. 棉花植株中的单宁测定方法研究. 应用生态学报, 2000, 11(2): 243-245.
- [22] 马红亮, 刘维丽, 高人, 杨玉盛, 孙杰. 凋落物与单宁酸对森林土壤无机氮的影响. 应用生态学报, 2011, 22(1): 61-65.
- [24] 谢久祥, 林恭华, 都玉蓉, 余雪峰, 索有瑞, 张同作. 油松不同部位多酚与单宁的含量比较研究. 植物研究, 2012, 32(2): 243-247.
- [25] 白超, 张文辉, 雷亚芳. 秦岭北坡 2 种类型栓皮栎软木生长及特性. 林业科学, 2013, 49(4): 62-69.
- [26] 胡芳名, 李建安. 湖南省栎类资源开发利用研究. 经济林研究, 1999, 17(2): 1-3.
- [27] 郭利勇, 周洲, 郭豫光. 河南省栎树资源的综合开发利用. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 1830-1831.
- [30] 王文杰, 祖元刚, 李雪莹. 兴安落叶松单宁含量的器官差异与季节变化. 林产化学与工业, 2007, 27(2): 81-84.
- [31] 杨柳. 新型软木原料栓皮栎原料栓皮楮的采剥、再生试验及理化性能研究. 湖北林业科技, 1996, (1): 63-65.
- [32] 胡云云, 亢新刚, 赵俊卉. 长白山地区天然林林木年龄与胸径的变动关系. 东北林业大学学报, 2009, 37(11): 38-42.
- [33] 罗美娟, 黄志萍, 叶功富, 林益明, 张立华. 几种木麻黄单宁含量及其分布规律研究. 福建林业科技, 2009, 36(1): 62-66.
- [34] 林益明, 向平, 林鹏. 红树林单宁的研究进展. 海洋科学, 2005, 29(3): 59-62.
- [35] 王跃邦, 杨树生, 孙传生, 张军海, 李涛. 火炬树提取栲胶研究. 中国水土保持, 1995, (8): 8-10.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck
 YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles
 LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area
 HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)
 cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology
 LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years
 YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed
 LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ...
 WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area
 PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir
 ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis
 TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province
 HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone
 HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences
 LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元