

RD 1000 电子测树仪立木因子测定及适用性研究

吴小平,岳德鹏*,陈金星,姚炳全,叶添熊,岳攀

(北京林业大学 省部共建森林资源培育与保护教育部重点实验室,北京 100083)

摘要:传统的森林计测仪器均存在很大的不足,不能精准快速便捷地为科学的研究和各有关部门提供真实可靠的立木基础数据。针对当前森林测量仪器的不足,引进美国激光技术公司的快特能 RD 1000 电子测树仪,以北京市奥林匹克森林公园和鹫峰国家森林公园为研究区,以误差理论为基础理论依据,对其精度和适用性进行验证分析。以传统工具卡尺和全站仪测量的数据为相对真值,对比分析 RD 1000 电子测树仪的测量结果,最终得出其适用性广,而且胸径测量的精度能达到毫米级别,树高测量的精度能达到厘米级别,足以满足精准林业的要求,能为我国林业的发展提供切实可行的技术支持。

关键词:RD 1000 电子测树仪;胸径;树高;精度;适用性

中图分类号:S758.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)02-0219-06

Measurement of Stumpage Factors and Its Applicability of the RD 1000

WU Xiao-ping, YUE De-peng*, CHEN Jin-xing, YAO Bing-quan, YE Tian-xiong, YUE Pan

(Key Laboratory of Silviculture and Conservation of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The traditional forest measuring instruments are very insufficient and cannot meet the requirements of providing the reliable stumppage data quickly, instantly and accurately for scientific research and other relevant departments. To make up the deficiency of current measuring instrument, an electronic tree measuring instrument which is manufactured by Laser Tech Company was introduced from America. To verify the accuracy and applicability of the RD 1000 tree measuring instrument, a series of researches based on the theory of error were implemented in Beijing Olympic Forest Park and Jiufeng National Forest Park. Measurement data of the traditional equipment calipers and total station had taken as the relative true value and a comparison was made between the relative true data and the RD 1000 measurement data. The results indicated that the RD 1000 could reach a millimeter level in the DBH measurement and a centimeter level in the measurement of the tree height, besides it had a wide applicability and was barely restricted by the site conditions. The RD 1000 could totally meet the requirement of precision forestry and provide a feasible technical support for the development of forestry in China.

Key words: RD 1000; DBH; tree height; accuracy; applicability

作为大自然生态系统的重要组成部分,森林植被在净化空气,调节气候,防止水土流失,维护生物多样性,消除噪声等方面具有不可替代的作用。然而我国森林资源存在覆盖率低、木材产量低、木材综合利用率低和经营管理不合理等问题^[1],只能通过

可靠的森林资源调查和合理的森林资源规划来解决。现代森林资源调查主要是以数理统计为理论基础,通过抽样调查来进行,我国的森林资源调查分为 3 类^[2]。在精准林业理念的指导下^[3],获取精确可靠的调查数据尤为重要,现在新兴的无损测量技术,

收稿日期:2015-04-21 修回日期:2015-06-25

基金项目:国家林业局 948 项目(2014-4-76)。

作者简介:吴小平,女,硕士研究生,研究方向:“3S”技术在森林资源调查中的应用等。E-mail:nw901026@163.com

* 通信作者:岳德鹏,男,博士,教授,研究方向:荒漠化防治、景观生态和土地评价。E-mail:yuedepeng@126.com

如“3S”技术、机载雷达技术、图像处理技术、激光技术等广泛应用于立木因子的提取研究中,取得了很大的成效,但仍在试验阶段^[4-11]。除了采用这些先进的探测技术外,现场实地精测技术仍然不可或缺^[12],对立木测定仪器的研究显得尤为重要。但目前我国用于立木测量的仪器总体上存在体积大、质量大、机械手动、功能单一、精度较低、数据记录和存储手段原始、工作效率低的问题^[13]。

针对传统森林调查仪器精度低、效率低、携带不便的特点^[14-16],本研究将高精度测量仪器—美国激光技术公司的快特能 RD 1000 电子测树仪引入到我国森林资源调查中,该仪器采用激光技术对立木因子进行准确、快速、实时、直接的测定与读取,测定立木因子的精度高。无需接触立木本身,工作效率高,且工作强度小。可精确测量树干任意高度处的直径,无需伐倒、攀爬。体积小,易于携带,性能稳定,精度很高,对周围环境基本没有要求,适宜性强。而且可通过通讯接口将数据进行存储和传输,保证数据的完整性与准确性。

1 材料与方法

1.1 数据获取

以北京市奥林匹克森林公园和鹫峰国家森林公

园为研究区,2 区不仅森林资源丰富,而且地形条件差异较大,故同时作为研究区,以验证 RD 1000 电子测树仪在不同立地条件下的精度和适用性情况。分别在 2 区选取 4 块样地进行立木因子的观测,首先利用目前精度较高且使用广泛的仪器,全站仪和卡尺分别测量立木树高和胸径,将其值作为相对真值,再用 RD 1000 电子测树仪进行重复观测。

1.2 快特能 RD 1000 电子测树仪介绍

快特能 RD 1000 电子测树仪为美国激光技术有限公司设计研发的专门用来测量森林指标参数的测树仪器,采用光学装置,对树高、直径精确快速地测量并且及时显示结果。体积小,能最大效率地进行掌上应用,而且耐用、防水、防尘。为了提高观测精度,可以通过底部的连接接口将其连接放置于三脚架或单角架上。RD 1000 的 2 个串口能与激光测距仪和数据记录仪实现无缝连接和数据传输。

1.2.1 RD 1000 电子测树仪视图和功能介绍 RD 1000 有 11 个按钮,其中 9 个位于外部液晶显示屏的下方(图 1),组成键盘(图 2),可进行编辑、调整数值、模式切换、下载测量数据、开关机等;扣动按钮位于仪器前方的食指处,用于树高、胸径的测量;而刻度尺调整按钮位于仪器后方的拇指处,用来对内部液晶显示器中刻度尺的长度进行调整。



图 1 RD 1000 视图

Fig. 1 Views of the RD 1000

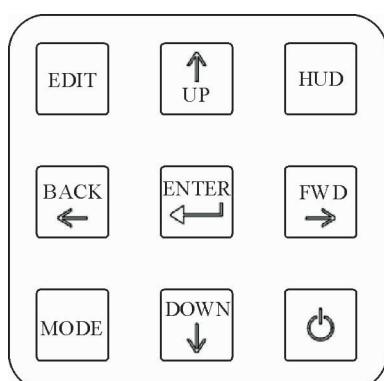


图 2 RD 1000 键盘视图

Fig. 2 View of the RD 1000 keypad

1.2.2 RD 1000 的 5 种测量模式及应用

1.2.2.1 角规模模式(BAF 模式) 先设定好角规系数值,然后观测周围每棵树是否在角规模地内。

1.2.2.2 内外模式(In/Out 模式) 利用内部存储的样地半径因子来判断边界树的状态。

1.2.2.3 直径模式(Diameter 模式) 测量立木任意高度处的直径,测量数据可以下载到外部数据记录仪中。

1.2.2.4 树高/直径模式(Height/Diameter 模式) 测量立木的高度,结果可以下载至外部数据记录仪中。

1.2.2.5 倾角模式(Raw Inclination 模式) 可测量样地的坡度,并且以百分数的形式显示,结果可以

下载到外部数据记录仪。

选择样地时,首先利用内外模式(In/Out模式)确定样地中的边界树,并做好标记,再利用直径模式(Diameter模式)测量立木胸径、树高/直径模式(Height/Diameter模式)测量立木树高。通过角规模式(BAF模式)来测量不同角规系数下的样地立木情况。最后,根据倾角模式(Raw Inclination模式)测量样地的坡度,确定样地地形条件。

1.3 RD 1000 测树原理

1.3.1 RD 1000 胸径测算原理及精度分析 如图3所示,根据相似三角形原理,其中 f 为RD 1000镜头的焦距,是已知的, d 为仪器到立木的距离,可由测距仪获得,当这2个量确定之后, L_1 为内部液晶显示器中的刻度尺的长度, L_2 为仪器中看到的树木胸径,其中, $L_2 = 2r$ 。根据 L_1 的调整, L_2 随之变化,由下式可得:

$$\frac{f}{L_1} = \frac{\sqrt{(f+d+r)^2 - r^2}}{2r} \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{L_1 \times \sqrt{(f+d+r)^2 - r^2}}{f} \quad (2)$$

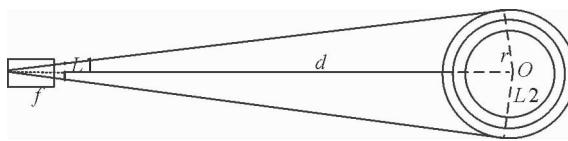


图3 RD 1000 测量胸径示意图

Fig. 3 The schematic diagram of RD 1000 measuring DBH

在RD 1000电子测树仪中,选择直径模式(Diameter模式)测量立木胸径,具体的测胸径模式分为2种:固定刻度尺模式(图4);缝隙刻度尺模式(图5),也就是 L_1 变化的方式不同,但其原理一致,只是为观测时能根据实际情况更加准确地读取直径值。



图4 固定刻度尺模式

Fig. 4 The solid bar scale pattern



图5 缝隙刻度尺模式

Fig. 5 The gap bar scale pattern

1.3.2 RD 1000 树高测算原理及精度分析 选择树高/直径模式(Height / Diameter模式)测量立木树高,如图6所示, d 为观测点到树木表面的水平距,由测距仪获得。瞄准树梢,测得竖直角为 a ,由于RD 1000中含有倾角传感器,其本身可以测出向上或向下的倾斜角, b 为观测者视线水平方向与到树基的方向间的夹角。

不论观测与树木或测量物处于任何状态,可表示为图6A、图6B、图6C的3种情况,都可以用下面的式子求出:

$$H = d \times \tan(a) \pm d \times \tan(b) \quad (3)$$

这里需要知道距离值,此值由激光测距仪获得,然后输入到RD 1000电子测树仪。

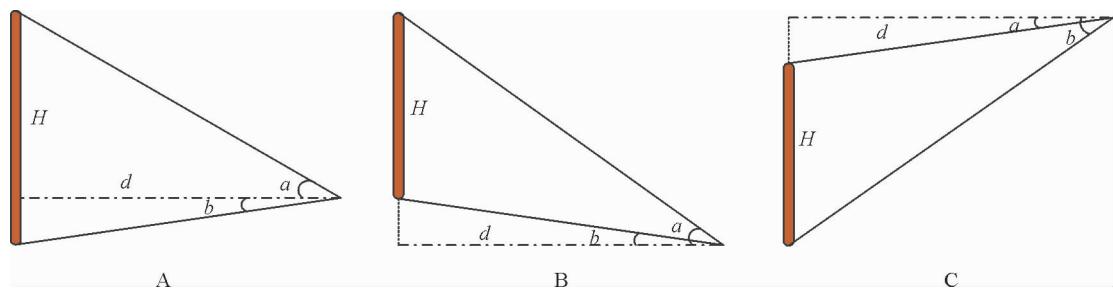


图6 RD 1000 测量树高示意图

Fig. 6 The schematic diagram of RD 1000 measuring tree height

2 结果与分析

2.1 RD 1000 测量胸径的误差分析

在立木因子测量中,胸径的测量是非常关键的^[17],为了验证RD 1000电子测树仪在胸径测量方

面的准确性和适用性,以卡尺测得的数据为相对真值,从地形条件、树种、立木径阶、观测距离等4方面进行对比分析。

2.1.1 不同地形条件 地形的起伏情况通常由坡度来体现,坡度表征了地表单元的陡缓程度。通过

倾角模式(Raw Inclination 模式)来测量本次试验区的坡度情况,其中,奥林匹克森林公园的 1、2、3 号样地为缓斜坡地形,奥体 4 号样地和鹫峰国家森林公园的 1 号样地为斜坡地形,鹫峰国家森林公园的 2、3、4 号样地为陡坡地形。对比分析 RD 1000 电子测树仪和卡尺的观测结果如表 1 所示。

表 1 不同地形条件下胸径测量数据的精度对比

Table 1 The comparing accuracy of measured data of tree DBH under different terrain conditions

地形条件	Sig. 值	相关系数	中误差 /cm	极限误差 /cm	最大误差 /cm
缓斜坡	0.000	0.993	±0.190	±0.380	0.38
斜坡	0.000	0.999	±0.206	±0.412	0.41
陡坡	0.000	1.000	±0.188	±0.376	-0.34

由表 1 可知,在这 3 种地形条件下测量立木胸径时,RD1000 电子测树仪和卡尺的相关系数都逼近于 1,而陡坡为 1,大于缓斜坡和斜坡;中误差都在 ±0.2 cm 左右,陡坡最小,斜坡最大,缓斜坡居中;其测量结果的最大误差都在极限误差容许范围之内。这说明用 RD 1000 电子测树仪在不同地形条件下测量立木胸径,其测量精度均达到我国森林调查的要求,尤其是在陡坡地形条件下,其精度更高、更适用。

2.1.2 不同树种 本研究对样地范围内常见的 8 种树木来进行分析,分别是白蜡、枫树、侧柏、刺槐、银杏、旱柳、国槐、油松,使用卡尺测量值作为相对真值,再用 RD 1000 电子测树仪进行非接触式胸径测量,对其精度进行分析,将这 8 种主要树种的精度情况汇总为表 2 进行分析。

表 2 8 种主要树种胸径测量数据的精度对比

Table 2 The comparing accuracy of measured data of tree DBH of eight main kinds of tree species

树种	Sig. 值	相关系数	中误差 /cm	极限误差 /cm	最大误差 /cm
白蜡	0.000	0.991	±0.183	±0.366	-0.36
枫树	0.000	0.999	±0.209	±0.417	0.33
侧柏	0.000	0.999	±0.195	±0.390	0.37
刺槐	0.000	1.000	±0.189	±0.378	-0.32
银杏	0.000	0.992	±0.189	±0.379	-0.29
旱柳	0.000	0.996	±0.216	±0.431	0.38
国槐	0.000	1.000	±0.169	±0.338	-0.29
油松	0.000	0.998	±0.195	±0.391	0.27

由表 2 可知,通过 T 检验分析,在测量胸径时,RD 1000 电子测树仪与卡尺的相关系数都逼近于 1,其中刺槐和国槐都为 1,说明用 RD 1000 和卡尺测得的数据有非常明显的线性关系;中误差都在 ±0.2 cm 左右,国槐最小,旱柳最大;其测量结果的最大误差都在极限误差容许范围之内。这说明 RD

1000 电子测树仪适用于不同树种的胸径测量,其测量精度均达到我国森林调查的要求。

2.1.3 不同径阶范围 对这 8 块样地不同径阶范围的立木误差进行分析,来验证 RD 1000 电子测树仪测量不同径阶范围的精度情况,由于观测数据的径阶多在 4~22 cm 之间,径阶 >22 cm 的数据量较少,故不进行统计(表 3)。

表 3 立木胸径测量的径阶和误差情况

Table 3 The diameter class and errors of tree DBH measurement

径阶 /cm	Sig. 值	相关系数	中误差 /cm	极限误差 /cm	最大误差 /cm
4	0.000	0.890	±0.181	±0.361	0.29
6	0.000	0.915	±0.178	±0.357	0.29
8	0.000	0.948	±0.190	±0.379	-0.29
10	0.000	0.934	±0.197	±0.394	0.37
12	0.000	0.957	±0.213	±0.427	0.41
14	0.000	0.911	±0.192	±0.384	0.29
16	0.000	0.947	±0.176	±0.351	-0.29
18	0.000	0.946	±0.184	±0.368	0.27
20	0.000	0.947	±0.200	±0.401	0.27
22	0.001	0.937	±0.197	±0.394	-0.29

由表 3 可知,在使用 RD 1000 电子测树仪测量胸径时,通过 T 检验分析,其相关系数都逼近于 1,Sig. 基本都是 $0.000 < 0.05$,说明用卡尺和 RD 1000 测得的数据有非常明显的线性关系;中误差都在 ±0.2 cm 左右;其测量结果的最大误差都在极限误差容许范围之内。这说明在以后的立木精测工作中,不受胸径大小本身的限制,都可将 RD 1000 电子测树仪的胸径观测值直接作为相对真值使用。

2.1.4 不同观测距离 为了更明确地了解不同径阶范围的立木在怎样的距离条件下其精度最高、最适合观测,本文将不同观测距离下的立木按径阶划分,表 4 列出了不同径阶立木在不同观测距离下的误差情况。

表 4 不同立木径阶在不同观测距离下的误差情况

Table 4 The errors of tree different diameter class in different observation distance

径阶 /cm	误差/cm			
	<3 m	3~5 m	5~7 m	>7 m
4	0.06	0.18		
6	0.09	0.04	0.15	
8	0.13	0.08	0.17	
10	0.17	-0.06	0.09	0.11
12	0.08	-0.02	-0.03	-0.1
14	-0.12	-0.03	-0.08	-0.11
16	0.11	0.01	-0.04	-0.13
18	-0.13	-0.1	-0.07	-0.4
20	-0.26	-0.09	-0.06	-0.14
22		0.19	0.14	0.24

由表4可知,不管径阶大小、距离远近, RD 1000电子测树仪的观测误差都<0.5 cm, 总体上精度的大小受观测距离的影响较小, 都能满足精度要求。但是,为了更精确地进行立木胸径测量,当胸径<5 cm时,最好选择3 m以下的观测距离;当胸径在5~17 cm时,最好选择3~5 m的观测距离;当胸径>17 cm时,最好选择5~7 m的观测距离。在以后的测量工作中,可以根据实地情况尽量选择该范围。

2.2 RD 1000 测量树高的误差分析

为了验证RD 1000电子测树仪在树高测量方面的准确性和适用性,以全站仪测得的数据为相对真值,从地形条件、树种、立木高度范围及落叶前后四方面来进行对比分析。

2.2.1 不同地形条件 同胸径测量一样,本研究结合试验区的实际地形情况,将地形条件按坡度划分为缓斜坡、斜坡和陡坡,对比分析RD 1000电子测树仪和全站仪的观测结果(表5)。

表5 不同地形条件下树高测量数据的精度对比

Table 5 The comparing accuracy of measured data of tree height under different terrain conditions

地形条件	Sig. 值	相关系数	中误差 /m	极限误差 /m	最大误差 /m
缓斜坡	0.000	1.000	±0.024	±0.048	0.045
斜坡	0.000	1.000	±0.018	±0.036	0.033
陡坡	0.000	1.000	±0.016	±0.033	-0.032

由表5可知,RD 1000电子测树仪在这3种地形条件下测量立木树高时,其相关系数都为1;中误差都在±0.02 m左右,陡坡最小,缓斜坡最大,斜坡居中;其测量结果的最大误差都在极限误差容许范围之内。这说明用RD 1000电子测树仪在不同地形条件下测量立木树高,其测量精度均达到我国森林调查的要求,尤其是在陡坡地形条件下,其精度更高、更适用。

2.2.2 不同树种 本研究对样地范围内常见的8种树木进行分析,分别是白蜡、枫树、侧柏、刺槐、银杏、旱柳、国槐、油松,用全站仪测量值作为相对真值,将这8种主要树种的精度情况汇总为表6。

由表6可知,在使用RD 1000电子测树仪测量树高时,通过T检验分析,其相关系数都为1,Sig.=0.000<0.05,说明用全站仪和RD 1000测得的数据有非常明显的线性关系;中误差都在±0.02 m左右;其测量结果的最大误差都在极限误差容许范围之内。这说明用RD 1000电子测树仪适用于不同树种的树高测量,其测量精度均达到我国森林调查的要求。

表6 8种主要树种树高测量数据的精度对比

Table 6 The comparing accuracy of measured data of tree height of eight main kinds of tree species

树种	Sig. 值	相关系数	中误差 /m	极限误差 /m	最大误差 /m
白蜡	0.000	1.000	±0.028	±0.056	0.045
枫树	0.000	1.000	±0.017	±0.035	0.031
侧柏	0.000	1.000	±0.019	±0.038	0.033
刺槐	0.000	1.000	±0.017	±0.033	-0.027
银杏	0.000	1.000	±0.016	±0.033	0.031
旱柳	0.000	1.000	±0.021	±0.041	0.032
国槐	0.000	1.000	±0.017	±0.035	0.027
油松	0.000	1.000	±0.017	±0.034	-0.027

2.2.3 不同立木高度范围 树木本身的高度对于树高观测有重要的影响,因此根据样地范围内树木的实际高度情况,将其分为3种情况进行分析,分别是<5 m、5~10 m之间以及>10 m的树木,分别对它们树高观测精度进行分析(表7)。

表7 不同立木高度范围树高测量数据的精度对比

Table 7 The comparing accuracy of measured data of tree height in different height range

树高/m	Sig. 值	相关系数	中误差 /m	极限误差 /m	最大误差 /m
<5	0.000	1.000	±0.012	±0.024	0.019
5~10	0.000	1.000	±0.018	±0.036	0.033
>10	0.000	1.000	±0.023	±0.046	0.045

由表7可知,RD 1000电子测树仪在这3种立木高度条件下测量立木树高时,其相关系数都为1;中误差都在±0.02 m左右,<5 m最小,>10 m最大;每种情况下的最大误差都在极限误差容许范围之内。这说明RD 1000电子测树仪不受立木实际高度的制约,其测量精度均达到我国森林调查的要求,具体来说,<5 m精度最高,>10 m精度稍低,但也远能满足要求。

2.2.4 落叶前后 对于北方地区的落叶树木来说,落叶前后,由于树冠遮挡、风的吹动以及枝头树叶的摇摆等情况会造成不同程度的观测误差。因此,本文在奥体森林公园和鹫峰国家森林公园分别选择一块样地,在落叶前后对其进行2次重复观测,分析不同落叶情况下RD 1000电子测树仪树高观测的精度情况(表8)。

表8 不同落叶条件下树高测量数据的精度对比

Table 8 The comparing accuracy of measured data of tree height under different leaf conditions

落叶情况	Sig. 值	相关系数	中误差 /m	极限误差 /m	最大误差 /m
奥体落叶前	0.000	1.000	±0.028	±0.056	0.045
奥体落叶后	0.000	1.000	±0.014	±0.029	0.025
鹫峰落叶前	0.000	1.000	±0.017	±0.033	-0.030
鹫峰落叶后	0.000	1.000	±0.010	±0.020	0.019

对比 2 个样地落叶前后的观测精度(表 8),发现 2 块样地落叶后的中误差及最大误差都比落叶前小,说明落叶后的观测精度高,但差别并不明显。这说明 RD 1000 电子测树仪在样地观测中,落叶后的观测精度稍高,但无论是落叶前还是落叶后都能达到我国森林调查的要求,适用于树木不同的生长季节。

3 结论与讨论

通过使用 RD 1000 电子测树仪和传统测量工具进行立木精测对比分析,最后总结出结论,在不同地形条件、不同树种、不同径阶范围、不同高度、不同的落叶情况下用 RD 1000 电子测树仪测量立木胸径、树高,其胸径测量的误差大多在 $-0.3 \sim 0.3$ cm 之间,树高测量的相对误差大多在 0.4% 以下,测量精度均达到我国森林调查的要求。

经过试验验证,对于不同地形条件,陡坡精度高于缓斜坡和斜坡。对不同树种,其胸径测量的误差都 <0.5 cm,树高测量的相对误差均不 $>1\%$ 。当立木胸径 <5 cm 时,观测距离最好 <3 m;当胸径在 5 ~ 17 cm 时,最好选择 3 ~ 5 m 的观测距离;当胸径 >17 cm 时,观测距离最好在 5 ~ 7 m 之间。对于不同高度的立木树高时,其相对误差基本都在 0.4% 以下,中误差都在 ± 0.02 m 左右,5 m 以下精度最高,10 m 以上精度稍低。树木不同的落叶情况进行分析,落叶后的中误差均 $<\pm 0.015$ m,而落叶前的中误差均 $>\pm 0.015$ m。

RD 1000 电子测树仪测定立木因子精度较高,对胸径测量时,其精度能达到毫米级别;对树高进行测量时,其精度能达到厘米级别,非接触式测量可测立木任意高度的直径。但本文只研究了 2 个立木因子(胸径、树高),对其他立木因子还未做研究;RD 1000 电子测树仪在进行立木量测时,需要依靠测距仪获得测点与立木之间的距离。

参考文献:

- [1] 玉宝,张秋良,王立明.天然林多目标经营研究现状及趋势[J].西北林学院学报,2015,30(1):189-195.
YU B,ZHANG Q L,WANG L M. Research status and trend on multifunctional management of natural forest[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(1):189-195. (in Chinese)
- [2] 寇文正.以“三个代表”思想为指导全面加强森林资源管理实现林业跨越式发展[J].林业资源管理,2002(2):2-8.
- [3] 冯仲科,赵春江,聂玉藻,等.精准林业[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [4] 孙恺,杨征延,赵鹏祥,等.基于遥感技术的西安城市景观格局时空演变及分析[J].西北林学院学报,2015,30(2):180-185.
SUN K,YANG Y Z,ZHAO P X,*et al*. Spatial temporal evolution of landscape pattern in Xi'an based on 3S technology[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30 (2):180-185. (in Chinese)
- [5] 何诚,冯仲科,袁进军,等.基于数字高程模型的树木三维体积测量[J].农业工程学报,2012,28(8):195-199.
- [6] 齐津达,傅伟聪,李炜,等.基于 GIS 与 SBE 法的旗山国家森林公园景观视觉评价[J].西北林学院学报,2015,30(2):245-250.
QI J D,FU W C,LI W,*et al*. Landscape visual evaluation of Qishan National Forest Park based on GIS and SBE method [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30 (2):245-250. (in Chinese)
- [7] 赵晨阳,邢艳秋,霍达,等.基于机载 LiDAR 落叶松树冠几何形状三维重建关键技术研究[J].西北林学院学报,2015,30(2):186-190.
ZHAO C Y,XING Y Q,HUO D,*et al*. Key technologies of three-dimensional geometric reconstruction of larch grown shape based on LiDAR data[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(2):186-190. (in Chinese)
- [8] 多化豫,高峰,李福胜,等.基于图像处理的木片与树皮的新识别参数研究[J].西北林学院学报,2015,30(1):207-210.
DUO H Y,GAO F,LI F S,*et al*. Approaching to the new identification parameter on wood and bark based on image processing[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30 (1):207-210. (in Chinese)
- [9] 李宇昊,石田.利用航空数码影像的色彩特征估测森林郁闭度[J].西北林学院学报,2014,29(1):148-154.
LI Y C,SHI T. Estimating the canopy density through color features of aerial digital images[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(1):148-154. (in Chinese)
- [10] 杨华,孟宪宇,刘燕,等.单株立木图像信息的提取与解算[J].北京林业大学学报,2005,27(1):51-54.
YANG H,MENG X Y,LIU Y,*et al*. Measurement and calculation methods of stem image information[J]. Journal of Beijing Forestry University,2005,27(1):51-54. (in Chinese)
- [11] 李明泽,范文义,张元元.基于全数字摄影测量的林分立木高度量测[J].北京林业大学学报,2009,31(2):74-79.
LI M Z,FAN W Y,ZHANG Y Y. Measuring heights of standing trees based on digital photogrammetry[J]. Journal of Beijing Forestry University,2009,31(2):74-79. (in Chinese)
- [12] 李建华,董金伟,王利.利用“斜距法”测算树高的探讨[J].山东林业科技,2002(1):30-31.
- [13] 陈金星,张茂震,赵平安,等.一种基于拉绳传感器的树木直径记录仪[J].西北林学院学报,2013,28(4):188-192.
CHEN J X,ZHANG M Z,ZHAO P A,*et al*. A drawware sensor based tree diameter recorder[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(4):188-192. (in Chinese)
- [14] TANSEY K,SELMES N,ANSTEE A,*et al*. Estimating tree and stand variables in a corsican pine woodland from terrestrial laser scanner data[J]. International Journal of Remote Sensing,2009,30(19):5195-5209.
- [15] ZHANG W H,KE Y H. Using error-in-variable regression to predict tree diameter and crown width from remotely sensed imagery[J]. Can. J. For. Res.,2010(40):1095-1108.
- [16] 刘相兵,刘亚茜,李兵兵,等.生态疏伐对林分密度及直径结构的影响[J].西北林学院学报,2012,27(3):145-149.
LIU X B,LIU Y Q,LI B B,*et al*. Influences of ecological thinning on the stand density and diameter structure[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(3):145-149. (in Chinese)