

果子沟林场三维建模与可视化实现

刘 海¹, 张怀清^{1*}, 鞠洪波¹, 唐学君², 胡 博¹

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 国家林业局华东林业调查规划设计院, 杭州 310019)

摘要: [目的] 为了提高森林景观模拟的真实性和实用性, 为森林景观规划和森林经营管理提供可靠依据。 [方法] 以新疆霍城县果子沟林场作为试验区, 以林区内主要树种雪岭云杉为树木建模对象, 以小班为单位对果子沟林场进行三维可视化模拟。通过外业测量获取林木的树高、胸径、冠幅以及冠高等测树因子。从冠形和叶片角度入手对雪岭云杉的外形特征进行分析。使用单曲线方程对冠形进行模拟, 使用泊松分布模型模拟树叶在树冠内的分布情况。然后, 使用林相图提取小班边界。利用外业调查数据和 CTS 系统构建不同形态的树木模型。通过林分分布规则、小班属性以及林场内植被分布规则对林木的空间分布进行模拟。最后, 使用 SQL SERVER 2005 作为数据管理平台, 使用八叉树作为三维场景管理, 结合 LOD、视点替换、及地形分页等三维场景渲染及优化技术, 对果子沟林场进行三维可视化模拟。模拟面积达 300 km², 平均帧率 20 FPS 以上。 [结果] 模拟结果较好地反映了小班的空间分布格局, 直观地体现出小班内部林木的空间位置分布, 具有一定的实用价值。

关键词: 单木建模; 林场模拟; 雪岭云杉; 小班属性

中图分类号: S711.8

文献标识码: A

3-D Tree Model and Its Visualization in Guozigou Forest Farm

LIU Hai¹, ZHANG Huai-qing¹, JU Hong-bo¹, TANG Xue-jun², HU Bo¹

(1. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. East China Forest Inventory and Planning Institute, State Forestry Administration, Hangzhou 310019, Zhejiang, China)

Abstract: Guozigou State-owned Forest Farm in Huocheng county of Xinjiang Uygur Autonomous Region, was selected as a test area. Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*), the dominant tree species, was chosen to establish model with subcompartment as the smallest unit of simulation. The tree height, DBH, crown width and the crown height were measured. In this paper, the shape characteristics, such as crown shape and leaf blade of the Schrenk Spruce were analyzed. The field investigation data and CTS system was used to establish the tree model and Poisson model was used to simulate leaf distribution in the canopy. The tree visualization simulating for Guozigou State-owned Forest Farm was realized by taking SQL SERVER 2005 as the data process platform, and using octree model as a 3-D scene management tool, combining LOD, perspective replacement and paging terrain, 3-D scene rendering and optimization techniques. The average frame rate was higher than 20 FPS, the area simulated was over 300 hectare. The simulation results could well reflect the spatial pattern and showed intuitively the space distribution of trees in the subcompartment.

Key words: tree modeling; forest farm simulation; Schrenk spruce; subcompartment properties

可视化森林环境是可视化模拟技术与林业科学结合的研究领域。其通过构建复杂的森林环境对

象, 实现对森林空间分布规律及森林生长规律的可视化表达^[1-2]。可视化森林环境为林业科学研究提

收稿日期: 2015-03-18

基金项目: 国家 863 计划课题(2012AA102002)。

作者简介: 刘 海(1985—), 男, 湖南邵东人, 博士研究生, 主要从事林业虚拟现实和计算机应用技术研究

* 通讯作者: 研究员, 硕士生导师, 主要从事林业可视化模拟技术与湿地监测技术研究

供了新型的研究平台。

Smart Forest^[3]、SVS^[4]及 MONSU^[5]等早期模拟软件,大多以外业调查的单木属性数据作为数据源,采用基于多面体建模的技术对单木模型进行简单的几何表达,以此实现林分环境的构建。后期的研究中,冷文芳^[6]等利用可视化模拟软件 WCS 6.0,结合林相图信息,实现了辽东山区普乐宝乡的可视化森林景观模拟。董斌^[7]等使用数字三维林相图构建技术,对北京市妙峰山林场进行了可视化表达。刘洋^[8]等利用 ERDAS 软件,结合植物形态理论和图像处理技术,实现了帽儿山林场的三维虚拟林相的制作。何伟^[9]等基于二叉树 L 系统,构建了面向太湖流域的可视化森林环境。王英华^[10]等利用蒙特卡罗仿真方法产生大量与被模拟林区数据特征类似的随机森林,实现了贵州龙里林场马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)人工林的可视化森林环境的模拟。Maziar^[11]等使用 SVS 系统对伊朗扎格罗斯山脉北部的橡树林结构进行了林分级别的可视化模拟。Musy^[12]等使用 MONTE 系统,以林分为单位对欧洲山区常见的针叶林和橡木林进行了可视化模拟。Rupert^[13]等使用一种新的仿真工具对瑞典中南部的森林景观进行可视化模拟,在此基础上研究风对森林景观的影响。李永亮^[14]等使用 SVSS 系统对湖南攸县黄丰桥国有林场内的调查样地进行可视化模拟,在此基础上实现了基于 WF 的杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)人工林交互式疏伐可视化模拟。

上述研究大多实现了具体试验区的森林景观可视化表达,但是模拟森林景观所用林木模型单一,和小班属性缺乏关联且大多缺少林分空间结构信息。为了提高森林景观模拟的真实性和实用性,增加信息查询的立体视觉效果,为森林景观规划和森林经

营管理提供可靠依据。本文以果子沟林场为模拟试验区,以外业调查数据和林相图数据作为模拟数据源,从计算机建模和视觉观测角度提出了林场内雪岭云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.)的树冠简化模拟方法、叶片模拟方法以及基于小班属性数据的林场可视化方案,最后利用可视化模拟技术实现了果子沟林场的三维可视化模拟。本研究为林场的三维建模和可视化模拟提供了一个可供参考的范例,为森林资源的信息化建设和高效管理提供了一套可靠的解决方案。

1 试验数据与方法

1.1 试验数据

本研究选取果子沟林场作为试验区。果子沟林场位于新疆伊犁地区霍城县境内,80°57'35"~81°15'38" E, 44°18'37"~44°30'57" N,总面积达300 km²,主要树种为雪岭云杉^[15]。果子沟林场东北高,西南低,境内最低海拔800 m,最高可达3 840 m,年降水量在600 mm左右,是欧亚干旱区中较为湿润的地带^[16-17]。准备数据包括林场林相图、分类区划图、森林分布图、代码表以及中国科学院数据云平台 DEM 高程数据服务系统下的 ASTER GDEM 30 m 分辨率高程数据。

1.2 研究方法

1.2.1 果子沟林场植被分布规律分析 果子沟林场内土壤、气候以及植物资源的分布随山势高低和坡向呈现出明显的垂直变化和差异。阴坡土壤相对肥沃,主要植被为森林,草原及灌木也有部分分布。阳坡土壤相对贫瘠,阳坡植物种群相对单一,主要植被为草原。通过外业实地考察及相关文献查阅,可发现果子沟内植被的垂直分布具有表1所示规律^[18-19]。

表1 林场植被分布特征

坡向	植被类型	分布海拔/m	主要群系
阴坡	灌丛	1 200~16 000	忍冬(<i>Lonicera japonica</i> Thunb)、蔷薇(<i>Rosa</i> L)等
	阔叶	1 100~1 600	新疆野苹果(<i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) Roem.)
	针阔混交	1 300~1 400	雪岭云杉(<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. et Mey.)、欧洲山杨(<i>Populus tremula</i>)
	针叶林	1 400~2 700	雪岭云杉(<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. et Mey.)
阳坡	草原为主,混杂部分灌丛	1 100~3 000	绣线菊(<i>Spiraea Salicifolia</i> L)、锦鸡儿(<i>Caragana sinica</i> (Buchoz) Rehd.)等
混杂坡向(阴坡/阳坡)	草原、草甸、荒漠	800 m以上	黑穗草(<i>Cyperus nigrofuscus</i> L. K. Dai)、冰草(<i>Agropyron cristatum</i> (Linn.) Gaertn.)等

果子沟林场内的主要森林类型为针叶林,主要树种为雪岭云杉,因此本文以雪岭云杉作为场景建

模的主要树种。果子沟林场地类分布图如图1所示。



图1 果子沟林场地利分布示意图

1.2.2 小班内基于调查数据的单木建模 森林从视觉上看就是由各式大小不一、形态各异的林木组成的集合。而树木的外在表现主要由树木的干形、树冠、树高、胸径以及叶片等所决定。果子沟林场内的主要树种为雪岭云杉,雪岭云杉树冠狭长,主干粗壮笔直,干形多为圆柱形或窄塔形,没有阔叶树多变的干形体系。同时,在景观层次上,树木的胸径大小对森林的视觉表现影响较小,综合上述因素,对于雪岭云杉的建模工作主要集中在树冠及叶片上。

1.2.2.1 冠形模拟

对冠形的模拟通常可从横断面和纵断面两方面来进行研究,当前研究大多以抛物线或非抛物线体等简单函数叠加来描述树冠的纵断面。以树冠为对称轴,将树冠分为上下两部分并分别表示为一般幂函数形式^[20-21]。

上半部分可表示为($h \geq H_c$):

$$h = H - \alpha_1 x^{b_1} \quad (1)$$

下半部分可表示为($h \leq H_c$):

$$h = H_b + \alpha_2 x^{b_2} \quad (2)$$

求解 α_1, α_2 , 可得:

$$\alpha_1 = \frac{H - H_c}{(0.5C_r)^{b_1}} \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \frac{H_c - H_b}{(0.5C_r)^{b_2}} \quad (4)$$

其中, H 表示树高, C_r 为冠长, H_b 为活枝下高, H_c 为冠高, b_1, b_2 称为冠形指数, a_1, a_2 为与 b_1, b_2 相关的参数, x 表示冠幅右侧方向的数值 ($0 \leq x \leq$

$0.5C_r$), h 为 x 所对应的冠幅高度。

设单株林木的活枝下高和冠高之间的差值为 Δ , 即 $\Delta = H_c - H_b$ 。通过实地调查发现,单株林木的活枝下高和冠高之间的差值 Δ 很小,且在景观层次上对森林进行观测时,其差值 Δ 基本上可以忽略不计。因此,取 $\Delta = 0$,只使用公式3对冠形进行简化模拟。最后,根据雪岭云杉实测冠形对冠形曲线进行调整,使模拟树木的冠形与实测树木的冠形保持基本一致。

1.2.2.2 叶片模拟

(1) 叶量计算

本研究中单叶面积测定可采用如下公式^[22]:

$$A = 2L \left(1 + \frac{\pi}{n} \right) \sqrt{\frac{nV}{\pi L}} \quad (5)$$

式中, A 为叶面积, V 为针叶体积(用排水法测定), n 为每束针叶数, L 为针叶长度。

单株植物的总叶面积测定公式采用 Nowak 得出的树木叶面积回归模型($r^2 = 0.91$):

$$Y = \exp \left(\frac{-4.3309 + 0.2492H + 0.7312D + 5.7217Sh - 0.0148 \frac{\pi D(D+H)}{2}}{0.1159} \right) + 0.1159 \quad (6)$$

式中, Y 为总叶面积(m^2), H 为冠高(m), D 为冠幅(m), Sh 为植物树冠垂直投影面积所占地面面积的比例,当前使用各树种组合后的平均值 0.83。

求得单叶面积 A 和总叶面积 Y , 即可求得云杉的总叶量 N :

$$N = \frac{Y}{A} \quad (7)$$

(2) 叶片分布模拟

定义冠层空间 C , 叶子的空间位置相互独立,任意叶子位于冠层中某空间单元(V)中的概率为 V/C , 则 n 个叶子分布于空间单元 V 中的概率符合二项式分布。由于云杉属为针叶树种,针叶树种一般以小枝为单位簇状着生长,且叶子数量很大,因此可使用泊松分布模型模拟叶子在树冠内的分布情况^[17]:

$$p_n = \exp(\rho \cdot V) \cdot (\rho \cdot V)^n / n! \quad (8)$$

式中, $\rho = N/C$ 为叶子数量密度。

1.2.3 小班内林木分布规则模拟 通过对果子沟外业调查结合林相图研究发现,果子沟林场共有 820 个小班,优势树种为云杉的小班有 561 个,占总数的 68%。在以云杉为优势树种的小班内,林分分布较为均匀的有 46 个,团状分布的有 36 个,分布不

均为277个,其他类型的有202个。

林分空间格局主要包括的3种类型,即规则(均匀)分布、聚集(团状)分布以及随机分布^[23]。设点 $P(x,y,z)$ 为小班内一点,则小班内所有树木可看成点 P 的集合 $S = \{(x,y,z)\}$ 。提取小班属性信息、表1信息以及林分分布规则,可知集合 S 内的点 P 需满足如下条件:(1). 点 P 在小班边界内;(2). 点集 S 符合小班

内林分分布规则(均匀、团状等);(3). $y > 1\ 300$ 且 $y < 2\ 700$ (雪岭云杉只分布在此高程区间内)。

2 实验结果与分析

以果子沟林场内68林班内的11小班作为可视化小班模拟实例,小班属性如表2。

表2 小班属性表

林班号	小班号	地类	林层	树种	平均年龄/a	平均树高/m	平均胸径/cm	海拔/m	林分特点
69	11	针叶林	单层	云杉	110	24	26	2 450	均匀分布

2.1 基于小班属性的林木可视化模拟

首先根据上文提出的方法对当前小班内的雪岭云杉进行单木建模。取平均树高24 m、平均冠幅5 m、平均冠高4 m作为树冠模拟参数(冠形指数为1.87)。使用圆柱及圆锥模拟树干及分枝,使用公式7获取叶量。

因为针叶树的叶子数量巨大,计算机对每一片叶子的渲染会产生巨大的开销。为了提升渲染效率,可将1个枝干上的所有叶子合并成一个 mesh,统一用1个枝干纹理来表示。这样既能保持树木支系外观不变,又能够提升渲染速度。依据小班属性及外业调查数据,利用单木可视化模拟系统CTS^[24-25],分别建立各小班对应的树木模型。模型名格式为:林班号_小班号_树种_平均树高,树种用代码表中的数字表示,如没有的可自行建立。当前小班模型保存为68_11_120_24.mesh。

当前小班内树木建模效果如图2所示。对于具有相同年龄和树高但是胸径属性不同的小班内林木的建模,可以当前小班的平均胸径乘以一个缩放比例系数来对模型进行控制,这样也能够简化林木建模过程和建模次数。缩放比例系数 = 前小班林木平均胸径/已建模小班林木平均胸径。



图2 树木纹理及林木建模效果

2.2 小班可视化模拟

读取试验区DEM数据,将其转换到系统统一坐

标系统,并生成地形三角网格。使用林相图提取小班边界数据,并用XML文件保存边界点数据。依据上文提出的方法,计算出符合分布规则的小班内所有林木的点集 S 。遍历点集 S ,依据小班属性信息提取对应的雪岭云杉模型,使用DirectX技术加载并渲染对应模型,生成可视化小班。可视化小班模拟效果如图3所示。

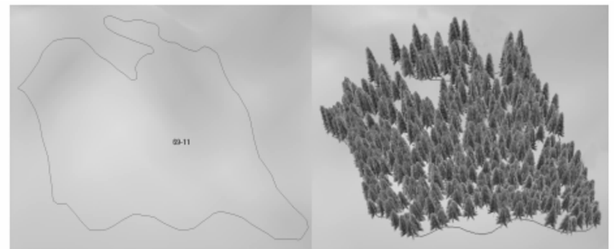


图3 均匀分布的小班模拟(左为边界模拟,右为分布模拟)

图4显示的是68号林班内23号小班的模拟结果,该小班主要树种为云杉,平均年龄70年,平均树高17 m,平均胸径21 cm,属于团状分布。按照此种方法可以依次建立各小班的可视化模拟效果。

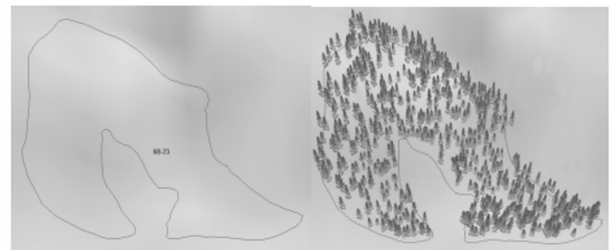


图4 团状分布的小班模拟(左为边界模拟,右为分布模拟)

2.3 林场可视化模拟

参照上述小班生成的方法,使用SQL SERVER 2005作为数据管理平台,使用八叉树作为三维场景管理,结合LOD、视点替换、及地形分页等三维场景渲染及优化技术,实现新疆果子沟林场的可视化模拟。如图5所示,基于上述方法生成的三维林场,不

仅能反映林场内小班整体的空间分布格局还能够直观的体现出小班内林木的空间分布关系,增加了二类调查信息查询的立体视觉效果。同时,各小班内林木个体的差异也能得到较好的体现。

整个三维林场场景达到了 300 km²,实现了林场漫游、三维小班属性数据检索、查询、记录、修改等功

能,总体平均帧率达 20 FPS 以上,如图 6 所示(注:图中线条表示小班边界)。通过对林场三维场景的模拟,使用人员可立体多角度的了解小班的树种组成以及森林的总体分布格局,增加了信息查询的立体视觉效果,可为营林工作者制定更好的森林经营方案提供帮助。



图5 基于小班属性构建的三维林场模拟

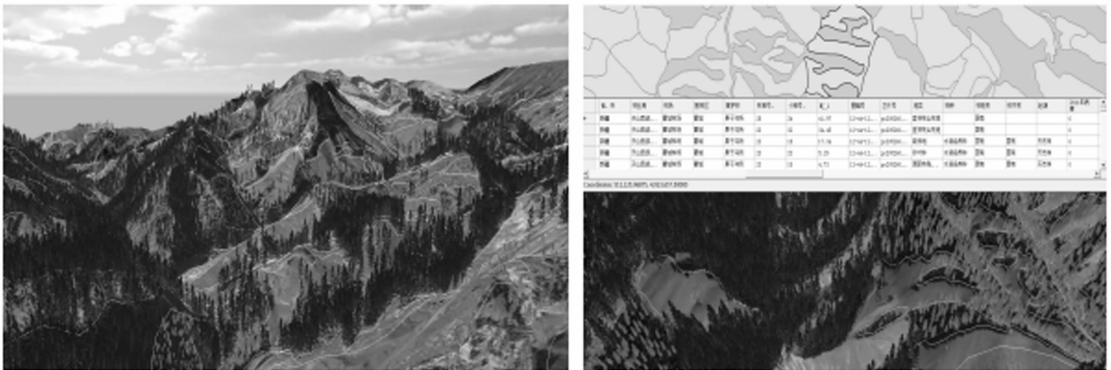


图6 小班边界及属性图层叠加后的三维林场模拟

3 结论与讨论

(1)本研究以小班为单位,分析果子沟内主要树种的形状特点,从树冠和叶片模拟入手,利用 CTS 系统构建了不同形态特征的雪岭云杉模型。同时,分析果子沟林场内主要树种的分布特征,结合现有外业调查数据和林相图数据,实现了以小班为基本模拟单位的果子沟林场三维可视化。

(2)本文所采用的模拟方法对于由雪岭云杉纯林组成的小班具有较好的模拟效果,对于由多树种组成的小班则表现欠佳。其主要原因是本文利用的算法并未考虑混交林空间分布特性。进一步的研究可以利用高分辨率遥感数据,使用分类及目视解译的方法获取各树种在小班内分布的大致区域,进而提取不同树种分布区域的边界数据,然后依据外业调查数据或林分分布规则模拟出不同树种在各自分

布区域内的位置。使用此方法可实现林场内多树种分布的模拟,但不能反映真实的林木坐标位置,只能反映林场内林木分布的总体特征。

(3)本文用于林场模拟所用数据均基于林相图和林分调查数据,所用的简化的树冠建模方法和叶子分布模型只适用于林场内雪岭云杉的建模。由于森林环境极其复杂,要十分逼真的模拟出林场内每一棵树的空间位置和形态结构,还是难以做到的。

参考文献:

[1] 李永亮,鞠洪波,张怀清,等.基于林分特征的林木个体信息估算可视化模拟技术[J].林业科学,2013,49(7):99-105.
 [2] 刘 海,张怀清,莫登奎,等.基于信息编码的森林景观可视化模拟[J].林业科学研究,2014,27(2):208-212.
 [3] En-Mi Lim, Tsuyoshi Honjo. Three-dimensional visualization forest of landscapes by VRML[J]. Landscape and Urban Planning,2003, 63(3):175-186.

- [4] Roth, Paul, Finley J C. Visualize your forest-Using forest simulation software to communicate forest management concepts to private forest-land owners[J]. *Journal of Forestry*,2007,105(1):15-19.
- [5] Unsitalo J, Orland B. Virtual forest management: possibilities and challenges [J]. *International Journal of Forest Engineering*, 2001,12(2):57-66.
- [6] 冷文芳,代力民,贺红土,等. 三维可视化软件在辽东山区森林生态系统管理中的应用[J]. *应用生态学报*,2008,19(7):1437-1442.
- [7] 董 斌,冯仲科,张冬有,等. 基于 GIS 的数字三维林相图构建技术[J]. *北京林业大学学报*,2008,30(Z1):143-146.
- [8] 刘 洋,项忠夫,刘 君,等. 森林三维虚拟场景建立-以帽儿山林场为例[J]. *东北林业大学学报*,2011,39(12):118-120.
- [9] 何 伟. 面向太湖流域虚拟森林的建模与实现[D]. 苏州:苏州大学,2009.
- [10] 王英华. 虚拟森林环境的可视化计算机仿真方法初探[D]. 南京:南京林业大学,2010.
- [11] Maziar H, Manocher N, Loghman G, *et al.* Study of vertical and horizontal forest structure in Northern Zagros Forest (Case study: West of Iran, Oak forest) [J]. *European Journal of Experimental Biology*,2013,3(1):268-278.
- [12] Muys B, Hynynen J, Palahí M, *et al.* Simulation tools for decision support to adaptive forest management in Europe[J]. *Forest System*,2010,19(SI):86-99.
- [13] Rupert S, Werner Rammer, Kristina B, *et al.* Simulating wind disturbance impacts on forest landscapes:Tree-level heterogeneity matters[J]. *Environmental Modelling &Software*,2014,51(1):1-11.
- [14] 李永亮,鞠洪波,张怀清,等. 基于 WF 的杉木人工林交互式疏伐可视化模拟技术[J]. *林业科学研究*,2014,27(3):329-334.
- [15] 丁海峰,马东升,姚春彦,等. 伊犁果子沟地区新元古代冰成沉积的碎屑锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质评论*,2014,60(3):666-676.
- [16] 张锡成. 伊犁果子沟山地植被的坡向分布[J]. *兵团教育学院学报*,1999,9(3):6-7.
- [17] 孙然好,张百平. 地形和气候对中国山地森林带界线的影响[J]. *地理科学*,2013,33(2):167-173.
- [18] 徐远杰,杨玉海,陈亚宁. 伊犁河流域植被垂直分布格局初步研究[J]. *新疆农业科学*,2008,45(3):21-24.
- [19] 陈衷萍,徐岩岩,王 丹,等. 天山北部拟南芥分布群落的物种多样性特征及生态适宜性分析[J]. *石河子大学学报:自然科学版*,2009,27(6):281-290.
- [20] 卢康宁. 基于生理生态模型的杉木形态结构变化可视化模拟研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.
- [21] 覃阳平,张怀清,陈永富,等. 基于简单竞争指数的杉木人工林树冠形状模拟[J]. *林业科学研究*,2014,27(3):363-366.
- [22] 韩兴华. 4 种针叶树光合蒸腾特性的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [23] 蒋 娴,张怀清,贺姗姗,等. 林分可视化模拟系统的设计[J]. *林业科学研究*,2009,22(4):597-602.
- [24] 卢康宁,张怀清,刘 闽,等. 杉木单木生长可视化模拟系统设计与实现[J]. *林业科学研究*,2012,25(2):207-211.
- [25] 白 静,张怀清,刘 闽. 合轴分枝树木形态结构三维可视化模拟方法[J]. *林业科学*,2014,50(12):73-78.

(责任编辑:彭南轩)