

# 华北土石山区天然次生林枯立木数量特征与分布格局

安云<sup>1,2</sup>, 丁国栋<sup>1,2</sup>, 高广磊<sup>1,2</sup>, 梁文俊<sup>1,2</sup>, 贺宇<sup>1,2</sup>, 魏宝<sup>1,2</sup>, 鲍彪<sup>1,2</sup>

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:** 枯立木广泛存在于森林生态系统中, 对森林的发展与演替有着十分重要的影响。以河北省木兰围场国有林场北沟林场天然次生林(面积为 4 hm<sup>2</sup>) 植被群落调查为基础, 分析研究了华北土石山区天然次生林枯立木树种组成、径级结构、生物量和分布格局。研究结果显示, 研究区天然次生林枯立木分属 8 个乔木种群, 密度为 79.25 株/hm<sup>2</sup>, 占全部乔木的 10.13%; 枯立木生物量为 18.46 t/hm<sup>2</sup>, 占全部乔木生物量的 6.88%; 山杨枯立木数量和生物量分别占全部枯立木的 83.60% 和 90.58%, 是样地中枯立木数量和生物量最大的树种; 枯立木胸径(DBH)分配以 DBH < 22 cm 为主; 林分内所有枯立木的平均角尺度值为 0.543, 呈随机分布。

**关键词:** 枯立木; 树种组成; 径级结构; 生物量; 分布格局

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0246-05

中图分类号: S718.5

## Quantity Characteristics and Distribution Pattern of Standing Dead Trees in Natural Secondary Forests of Rocky Mountain Area in Northern China

AN Yun<sup>1,2</sup>, DING Guo-dong<sup>1,2</sup>, GAO Guang-lei<sup>1,2</sup>,  
LIANG Wen-jun<sup>1,2</sup>, HE Yu<sup>1,2</sup>, WEI Bao<sup>1,2</sup>, BAO Biao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Standing dead trees (SDT) are widespread in forest ecosystems and have a particular important influence on forest development and succession. Based on vegetation community survey in plots of 4 hm<sup>2</sup> in Mulan—Weichang forest farm of Hebei Province, this study analyzed the species, diameter structure, biomass and distribution pattern of SDT in the rocky mountain area of Northern China. The results indicate that the SDT involved eight species. The density of the SDT was 79.25 stems/hm<sup>2</sup>, accounting for 10.13% of total tree numbers in the plots. The biomass of the SDT was 18.46 t/hm<sup>2</sup>, accounting for 6.88% of the total biomass in the plots. Among them, both the number and the biomass of *Populus* were the greatest, accounting for 83.60% and 90.58% of all the SDT, respectively. The diameter at breast height (DBH) of the majority of the SDT was smaller than 22 cm. The average uniform angle index of all the SDT of the forest is 0.543, indicating a random distribution pattern.

**Keywords:** standing dead trees; species composition; diameter structure; biomass, distribution pattern

枯立木广泛分布于森林生态系统中, 是森林生态系统的重要组成部分, 对森林的健康发展有着十分重要的影响<sup>[1-3]</sup>。一般来说, 枯立木是菌类植物的生存附体, 是原生和食腐动物的食物来源, 是野生动物筑巢、栖居、造穴、休息、觅食和避难的重要场所<sup>[4]</sup>; 枯立木腐败分解, 释放碳元素和氮、磷、钾等营养元素, 又是森林生态系统营养物质循环和全球碳循环的关键环节<sup>[5-7]</sup>; 枯立木的数量和分布还与森林火灾的发生、

发展有着密切的关系<sup>[8]</sup>。在森林生态学研究早期, 枯立木并不被相关学者和管理人员所重视, 常常被视为森林结构中的不健康组分而被清除, 导致森林生态系统结构和功能遭到破坏<sup>[9]</sup>。20 世纪中后期, 国内外学者才逐渐认识到枯立木在森林内的重要地位, 相关研究也渐次展开。美国学者研究发现, 枯木形态是随着生物物理特征、干扰因素、管理措施的变化而变化的<sup>[10]</sup>; 澳大利亚学者则完成了对热带稀树草原枯立

收稿日期: 2011-07-08

修回日期: 2011-10-23

资助项目: 国家林业局公益性行业科研项目“典型区域森林生态系统健康维护与经营技术研究”(200804022A)

作者简介: 安云(1989—), 女(汉族), 山西省临汾市人, 硕士研究生, 主要研究方向为森林健康。E-mail: anyun071108@163.com。

通信作者: 丁国栋(1963—), 男(满族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 教授, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治、森林健康。E-mail: dchl999@263.net。

木碳汇量的评估<sup>[11]</sup>。20世纪80年代起,国内学者相继对长白山、秦岭、哀牢山、西藏等典型地区不同森林类型中枯立木数量、结构和功能进行了研究与评价<sup>[12-13]</sup>,但研究范围、内容、尺度都有一定局限,对华北土石山区森林生态系统枯立木的相关研究更是鲜有报道。本研究以河北省木兰围场国有林场管理局北沟林场4 hm<sup>2</sup>天然次生林大样地植被调查为基础,探讨华北土石山区天然次生林内枯立木树种组成、径级结构、生物量和水平分布格局等特征,以期为当地森林生态系统结构与功能研究,森林资源保护与森林健康经营活动提供借鉴和科技支撑。

## 1 研究区概况

北沟林场(117°27'38"E,40°54'33"N)隶属于河北省木兰国营林场,属中温带向寒温带过渡、半干旱向半湿润过渡、大陆性季风型高原山地气候。具有水热同季,冬长夏短、四季分明、昼夜温差大的气候特征。年平均气温-1.4~4.7℃,无霜期67~128 d;年均降水量380~560 mm,年均蒸发量1 462.9~1 556.8 mm,平均相对湿度63%。植物区系属东北、内蒙古和华北区系交汇带,分为7个植被类型53个群系,有维管植物科382属693种。主要森林类型为以白桦(*Betula platyphlla*)、山杨(*Populus davidiana*)、棘皮桦(*Betula davuvica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)为主要树种的落叶阔叶混交林和以华北落叶松(*Larix gmelinii principis-rupprechtii*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)为主的人工针叶林;灌木主要包括山杏(*Armeniaca sibirica*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)等;草本植物主要包括披碱草(*Elymus dahuricus*)、丛毛羊胡子草(*Eriophorum comosum*)等<sup>[14]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

2010年8月,结合森林资源二类清查数据和实地踏勘,采用经纬仪和罗盘仪选择布设标准地,样地面积4 hm<sup>2</sup>,规格200 m×200 m,海拔1 380 m,坡度19.5°,坡向为阳坡。枯立木调查采用网格法,将标准地划分为100个20 m×20 m小样方,再以每个小样方为调查单元,对样方内的枯立木进行每木检尺,根据与枯立木丛生的个体根部萌枝、树形或木质等特征确定枯立木树种,记录样方内枯立木胸径和树高,并用网格进行全林定位。研究地点位置偏僻,未有大规模人类活动干扰,林内枯立木保存完好。

### 2.2 数据处理

生物量。本研究中,枯立木生物量指干生物量<sup>[9]</sup>,利用换算因子连续函数法推算研究区林分生物量,公式为:

$$V = v \cdot n$$

$$B = aV + b$$

式中: $V$ ——单位面积蓄积量; $v$ ——单株材积,根据各树种的二元材积表获得<sup>[15]</sup>; $n$ ——林分密度; $B$ ——单位面积生物量; $a, b$ ——常数<sup>[16-17]</sup>。

水平分布格局。角尺度( $W_i$ )是以相邻树木围绕参照树的均匀性来描述林木水平分布格局的结构参数<sup>[18]</sup>。设任意两个邻接最近相邻木夹角的小角为 $\alpha$ ,则角尺度( $W_i$ )为 $\alpha$ 小于 $\alpha_0(72^\circ)$ 的个体数占总体 $n$ 个夹角的比,公式为:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 Z_{ij}$$

式中: $Z_{ij}$ ——一个离散性变量,其值定义为当第 $j$ 个 $\alpha$ 角小于标准角 $\alpha_0$ 时 $Z_{ij}=1$ ,反之, $Z_{ij}=0$ <sup>[19]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 枯立木树种组成

如表1所示,研究区天然次生林树种组成较为丰富,共包括13个乔木种群,林分密度782株/hm<sup>2</sup>;其中包含枯立木乔木种群8个,枯立木密度79.25株/hm<sup>2</sup>,枯立木种群数、枯立木总数分别为乔木种群和立木总数的61.54%和10.13%。枯立木数量分配由大到小依次为:山杨>白桦>华北落叶松>蒙古栎=花楸>棘皮桦>青杆=黄桦。各树种枯立木数量占该树种立木总数的比例由大到小的顺序,也就是各树种枯死由易到难的顺序,依次为:山杨>花楸>蒙古栎>黄桦>华北落叶松>棘皮桦>白桦>青杆。并不是枯立木数量多,就表明该树种更容易形成枯立木,例如花楸枯立木的数量小于白桦,但是在整个林分中花楸比白桦更容易形成枯立木。这可能是由于该林分的自然演替以及立地条件更适合白桦生长,因此其立木数量较多,且枯立木数量占该树种立木数量的比例较小。

研究区枯立木的物种分配与该群落的物种组成不一致。山杨立木总数占有立木总数量的比例为41.59%,但其枯立木数量占有枯立木数量的比例高达83.60%,其余树种枯立木数量占枯立木总数量的比例均小于其立木数量占立木总数量的比例。华北五角枫数量比较多,但是没有枯立木形成,是因为该树种树高一般比较低,所需要的营养空间和生态位较小,不易形成枯立木。

表 1 研究区各树种枯立木的数量

树种	立木			枯立木			
	数量/株	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	比例/%	数量/株	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	占枯立木 比例/%	占该树种 比例/%
山杨	1301	325.25	41.59	265	66.25	83.60	20.37
白桦	927	231.75	29.64	23	5.75	7.26	2.48
华北落叶松	290	72.50	9.27	11	2.75	3.47	3.79
花楸	104	26.00	3.32	7	1.75	2.21	6.73
蒙古栎	111	27.75	3.55	7	1.75	2.21	6.31
棘皮桦	57	14.25	1.82	2	0.50	0.63	3.51
黄桦	21	5.25	0.67	1	0.25	0.32	4.76
青杆	87	21.75	2.78	1	0.25	0.32	1.15
华北五角枫	181	45.25	5.79	0	0	0	0
油松	22	5.50	0.70	0	0	0	0
云杉	21	5.25	0.67	0	0	0	0
蒙椴	4	1.00	0.13	0	0	0	0
小叶杨	2	0.50	0.06	0	0	0	0
总计	3 128	782.00	100.00	317	79.25	100.00	10.13

### 3.2 枯立木径级分配

由枯立木径阶和株数分布计算可得,枯立木平均胸径为 13.59 cm。由图 1 可以看出,枯立木的胸径集中分布在 4~22 cm 之间,占枯立木总数量的 91%,其中胸径在 6~14 cm 的枯立木数量最多,占 59%。胸径大于 22 cm 的枯立木仅占总数量的 9%。随着胸径的增大,枯立木的数量减少。胸径在 4~22 cm 之间是林木对光照、养分等需求比较高的时期,此时竞争比较激烈,并且由于胸径和树高还不够大,其生长所需要的营养空间并不容易得到满足,因此容易形成枯立木。当胸径大于 22 cm 时,林木的胸径、树高都较大,更容易吸收到其生长所需要的光照和养分,就不容易形成枯立木。

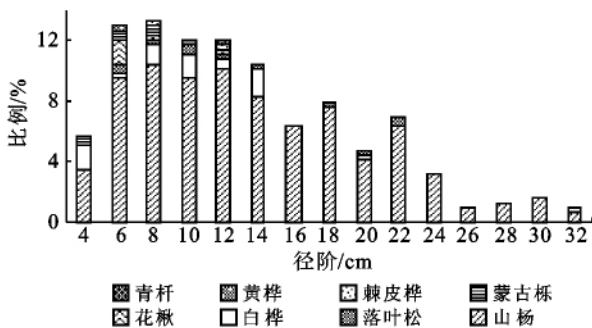


图 1 研究区枯立木径级分布

山杨是林分中枯立木数量最多的树种,其枯立木的径级分配与所有枯立木的径级分配相一致。枯立木胸径大于 22 cm 的树种只有山杨和白桦,其余树种枯立木的径级分配主要以 4~22 cm 为主。

白桦枯立木胸径分配也仅有 0.32% 大于 22 cm,其余均分布在 4~22 cm 之间。落叶松枯立木的分配主要在 6~22 cm 之间,而且在每个径级的分配比例都大致相同。

### 3.3 枯立木生物量

由换算因子连续函数法可得,研究区内枯立木生物量为 18.46 t/hm<sup>2</sup>,占总生物量的 6.88%,枯立木的生物量明显少于活立木的生物量(表 2)。

表 2 研究区各树种枯立木生物量

树种	立木		枯立木		
	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占枯立木 比例/%	占该树种 比例/%
白桦	48.00	17.88	0.940	3.06	1.96
华北落叶松	35.72	13.31	0.600	3.22	1.68
蒙古栎	13.85	5.16	0.050	0.26	0.36
山杨	53.18	19.81	16.720	90.58	31.44
青杆	14.88	5.54	0.020	0.13	0.13
黄桦	12.42	4.63	0.006	0.57	0.05
棘皮桦	13.81	5.15	0.030	3.25	0.22
花楸	13.44	5.01	0.090	0.48	0.67
华北五角枫	13.62	5.07	0	0	0
油松	12.54	4.67	0	0	0
云杉	12.32	4.59	0	0	0
蒙椴	12.33	4.59	0	0	0
小叶杨	12.29	4.58	0	0	0
总计	268.40	100.00	18.460	100.00	6.88

由表 2 可以看出,样地内各树种枯立木的生物量分配由大到小依次为:山杨>白桦>华北落叶松>花楸>蒙古栎>棘皮桦>青杆>黄桦,各树种枯立木的

生物量构成与其数量组成接近,山杨是枯立木数量最多的,其相应的枯立木生物量分配也最多,占总生物量的比例高达 90.58%。

青杆和黄桦以及蒙古栎和花楸虽然有着同样的枯立木数量,但是由于径级和树高不同,单株生物量也不同,因此它们的枯立木生物量也是存在差异的。山杨立木生物量的比例占有立木总生物量的比例为 19.81%,而其中有 31.44%都是枯立木的生物量。

白桦立木生物量占总生物量的比例达到 17.88%,仅次于山杨,但其中仅有 1.96%为枯立木的生物量。尽管它们的立木生物量相差不多,但白桦枯立木的生物量远小于山杨枯立木的生物量。

### 3.4 枯立木水平分布格局

林分枯立木平均角尺度值为 0.543,属于随机分布。由表 3 可以看出,角尺度值为 0.500 的频率最高,达到 54.7%。山杨作为林分中枯立木数量最多的树种,其平均角尺度值为 0.536,也属于随机分布,与整个林分中枯立木的分布情况相一致。花楸枯立木的分布属于团状分布,青杆枯立木的分布比较均匀,但由于其数量较少,并不能影响整个林分枯立木的分布特征。其余各树种枯立木的分布也都呈随机分布。这表明枯立木在整个林分中的出现是一个随机现象,属于正常的自然演替过程,并不是由于病虫害、人为干扰等因素造成的。

表 3 研究区各树种枯立木角尺度值及频率

树种	角尺度					平均
	0	0.25	0.50	0.75	1	
山杨	0.004	0.186	0.551	0.178	0.081	0.536
白桦	0	0.083	0.625	0.292	0	0.552
花楸	0	0	0	0.143	0.857	0.964
黄桦	0	0	1	0	0	0.500
棘皮桦	0	0	1	0	0	0.500
华北落叶松	0	0.250	0.625	0.125	0	0.469
蒙古栎	0	0.167	0.500	0	0.333	0.625
青杆	0	1	0	0	0	0.250
林分	0.004	0.175	0.547	0.179	0.095	0.543

## 4 结论

本研究中枯立木的密度为 79.25 株/hm<sup>2</sup>,该结果略高于美国 Virginia 州的较大程度上受到人为干扰的次生林(57.3~75.1 株/hm<sup>2</sup>)<sup>[20]</sup>,也比哀牢山中山湿性常绿阔叶林枯立木数量(68.5±18.0 株/hm<sup>2</sup>)略高<sup>[18]</sup>。而枯立木的生物量为 18.46 t/hm<sup>2</sup>,明显高于哀牢山中山湿性常绿阔叶林枯立木的生物量 3.9 t/hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>。尽管研究区枯立木的数量比哀牢山中山湿性常绿阔叶林中枯立木的数量略高,但它们的生物量却存在很大的差异。这主要与各研究区内枯立木的树种组成、径级结构、环境条件和人为干扰情况等密切相关。研究区位于华北土石山区,其立地条件较差,因此形成的枯立木数量较多。研究区枯立木的径级分配主要在 4~22 cm 之间,水平分布格局以随机分布为主。

枯立木形成的原因有很多,对于天然次生林而言,枯立木的形成可能是由于自然演替、病虫害以及山地灾害等原因造成的;而对于人工林而言,可能由于立地条件与树种的不匹配以及病虫害等原因形成了枯立木。枯立木是森林生态系统中重要的结构性

和功能性组成因素,健康的森林生态系统中应该存在一定数量的枯立木,但是枯立木的数量应该还是比较低的。而高生物量的枯立木是山地森林生态系统重要的碳库,对森林生态系统碳循环具有长期和缓慢的影响。因此,我们需要对林内的枯立木进行研究,保留适宜的数量,以便其充分发挥良好的作用。掌握枯立木空间分布的信息,可以了解物种的生态学习性,揭示出其分布的空间结构及其空间分布特征,同时可以为评价群落生产力、预测群落的发展趋势提供可靠的理论依据。目前,我国还处于对枯立木研究的初级阶段,对其各种功能的机制尚未完全弄清楚,林内到底需要保留多少枯立木才合适,到底哪些是枯立木形成最主要的影响因子,枯立木形成的时空特征等问题均需要进一步深入研究。

### [参 考 文 献]

- [1] Harmon M, Franklin J, Swanson F, et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems[J]. Advances in Ecological Researches, 1986, 15(3): 133-302.
- [2] 郝占庆, 吕航. 木质物残体在森林生态系统中的功能评述[J]. 生态学进展, 1989, 6(8): 179-183.
- [3] 李凌浩, 王其兵, 邢雪荣. 森林生态系统研究中几个重要

- 方面的进展[J]. 植物学通报, 1998, 15(1): 17-26.
- [4] Fridman J, Walheim M. Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 131(1/3): 23-26.
- [5] Currie W, Nadelhoffer K. The imprint of land use history: Patterns of carbon and nitrogen in downed woody debris at the Harvard forest[J]. Ecosystems, 2002, 5(5): 446-460.
- [6] Romero L, Smith T, Fourqurean J W. Changes in mass and nutrient content of wood during decomposition in a south Florida mangrove forest[J]. Journal of Ecology, 2005, 93(3): 618-631.
- [7] Christopher M, Christoph S, Clare K, et al. Coarse woody debris and the carbon balance of a north temperate forest[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 244(1/3): 60-67.
- [8] Bigler C, Veblen T. Changes in litter and dead wood loads following tree death beneath subalpine conifer species in northern Colorado[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2011, 41(2): 331-340.
- [9] 张树斌, 郑征. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林枯立木数量及分配规律[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(2): 3-5.
- [10] Kennedy R, Spies T, Gregory M. Relationships of dead wood patterns with biophysical characteristics and ownership according to scale in Coastal Oregon, USA[J]. Landscape Ecology, 2008, 23(1): 55-68.
- [11] Fensham R. Monitoring standing dead wood for carbon accounting in tropical savanna[J]. Australian Journal of Botany, 2005, 53(7): 631-638.
- [12] 何东进, 何小娟, 洪伟, 等. 森林生态系统粗死木质残体的研究进展[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 715-721.
- [13] 林淑伟, 柴文毅, 陈炳容, 等. 武夷山风景名胜区森林生态系统枯立木空间特征研究[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2008, 9(4): 356-361.
- [14] 鲁少波, 徐成立, 李春强, 等. 孟滦林管局森林生态系统服务功能价值研究[J]. 林业经济, 2009(4): 65-66.
- [15] 农林部. 立木材积表[M]. 北京: 技术标准出版社, 1978.
- [16] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 497-508.
- [17] 方精云, 陈安平, 赵淑清, 等. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文 (Science, 2001, 291: 2320-2322) 的若干说明[J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 243-249.
- [18] 雷相东, 唐守正. 林分结构多样性指标研究综述[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 140-146.
- [19] 惠刚盈, Gadow K, 胡艳波. 林分空间结构参数角尺度的标准角选择[J]. 林业科学研究, 2004, 17(6): 687-692.
- [20] Graves A, Fajvan M, Miller G. The effects of thinning intensity in snag and cavity tree abundance in a Appalachian hard wood stand[J]. Canadian Journal of Forestry Research, 2000(30): 1214-1220.
- ~~~~~
- (上接第 245 页)
- [4] 冯泽深, 高甲荣, 姜会品, 等. 京郊河溪岸边带生态恢复适宜性评价[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 46-50.
- [5] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.
- [6] 邓朝贤, 金菊良, 王宗志, 等. 基于模糊四元联系数的防洪工程体系安全综合评价模型[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 41-43, 53.
- [7] 景林艳. 区域水资源承载力的量化计算和综合评价研究[D]. 安徽 合肥: 合肥工业大学, 2008.
- [8] 赵彦伟, 杨志峰, 姚长青. 黄河健康评价与修复基本架[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 131-134.
- [9] 叶义城, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [10] 胡晓雪, 杨晓华, 郦建强, 等. 河流健康系统评价的集对分析型[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 5(5): 164-176.
- [11] 金菊良, 魏一鸣. 复杂系统广义智能评价方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] Anthony R L, Lindsay J W, Jane A D, et al. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia[J]. Fresh water Biology, 1999, 41(5): 453-468.
- [13] Daniel H, Otto M, Leonard S, et al. Overview and application of the AQEM assessment system[J]. Hydrobiology, 2004, 516(3): 1-20.
- [14] Boulton A J. An overview of river health assessment: Philosophies, practice, problems and prognosis [J]. Freshwater Biology, 1999, 41(6): 469-479.
- [15] 刘晓燕, 张原峰. 健康黄河的内涵及其指标[J]. 水利学报, 2006, 37(6): 649-653.
- [16] 吴阿娜, 杨凯, 车越, 等. 河流健康状况的表征及其评价[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 602-608.