

青海高寒区人工林枯落物及土壤水文效应

陈超, 贺康宁, 邹阳, 王世雷, 曹广月, 徐特

(北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:以青海省大通县宝库林场5种典型人工林的枯落物层和土壤层为研究对象,对其水文效应进行了初步研究。结果表明:(1)枯落物储量为 $34.69\sim 67.84\text{ t/hm}^2$,大小为落叶松林>云杉落叶松混交林>云杉林>白桦林>云杉白桦混交林。枯落物最大持水量为 $80.30\sim 150.73\text{ t/hm}^2$,持水量最大为云杉落叶松混交林,其次是落叶松林,白桦林和云杉白桦混交林,最小为云杉林。云杉落叶松混交林有效拦蓄能力最强,为 94.32 t/hm^2 ;云杉林有效拦蓄能力最弱,为 45.40 t/hm^2 。(2)未分解层枯落物浸水在8 h左右基本达到饱和状态,而半分解层在6 h已经接近饱和;在0.5 h内,枯落物吸水速率达到最大,6 h左右下降速度明显放缓。(3)土壤层持水能力最强的是云杉落叶松混交林,最小的是云杉白桦混交林。

关键词:高寒区;人工林;枯落物;土壤层;水文效应

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2013)05-0001-05

中图分类号:S715

Hydrological Effects of Planted Forest Litters and Soils in Alpine Region of Qinghai Province

CHEN Chao, HE Kang-ning, ZOU Yang, WANG Shi-lei, CAO Guang-yue, XU Te

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: A preliminary study of the hydrological effects of litters layer and soil layer was carried out in five kinds of planted forest stands in Baoku forest farm, Qinghai Province. Results showed that (1) the total litter storage capacity was about $34.69\sim 67.84\text{ t/hm}^2$, which was in the order of *Larix principis-rupprechtii* Mayr > *Picea asperata* Mast mixed *Larix principis-rupprechtii* Mayr > *Picea asperata* Mast > *Betula platyphylla* Suk > *Picea asperata* Mast mixed *Betula platyphylla* Suk. The maximum water holding capacity ranged from 80.30 to 150.73 t/hm^2 , which was in the order of *Picea asperata* Mast mixed *Larix principis-rupprechtii* Mayr > *Larix principis-rupprechtii* Mayr > *Betula platyphylla* Suk > *Picea asperata* Mast mixed *Betula platyphylla* Suk > *Picea asperata* Mast. The modified intercept amount of *Picea asperata* Mast mixed *Larix principis-rupprechtii* Mayr was the strongest; being 94.32 t/hm^2 ; and *Picea asperata* Mast was the worst, being 45.40 t/hm^2 . (2) Semi-decomposition litter reached saturation in 6 h; and without-decomposition litter, in 8 h. In first half-hour, absorption rate was the largest, and the rate was obviously slowed down after 6 h. (3) The soil water-holding capacity of *Picea asperata* Mast mixed *Larix principis-rupprechtii* Mayr was the strongest, while *Picea asperata* Mast mixed *Betula platyphylla* Suk was the worst.

Keywords: alpine region; planted forest; litter; soil layer; hydrological effect

森林生态系统具有重要的生态水文功能,其在保持水土、涵养水源、改善环境等方面的作用不可替代^[1]。枯落物层作为森林生态系统的重要组成部分,

具有截持降水,阻延地表径流,抑制土壤水分蒸发,增强土壤抗蚀性等水文功能^[2]。大量研究证明,枯落物持水量可以达到自身重量的3~5倍,几乎接近其最

收稿日期:2012-11-12

修回日期:2012-12-30

资助项目:国家“十二五”科技支撑计划“三北地区水源涵养林体系构建技术与示范”(2011BAD38B05)

作者简介:陈超(1989—),男(汉族),山西省晋城市人,硕士,主要研究方向为水土保持、林业生态工程。E-mail:chenchao_0128@163.com。

通信作者:贺康宁(1962—),男(汉族),陕西省蓝田县人,教授,博士生导师,主要从事水土保持、林业生态工程建设及抗旱造林技术研究。E-mail:hkn@bjfu.edu.cn。

大截留量^[3]。土壤水分贮存和入渗作为森林植被的主要水文过程和功能,是反映森林植被保持水土和涵养水源作用的重要水文参数^[4]。因此,研究枯落物层及土壤层的持水特性对探讨森林生态系统的水文效应具有重要意义。

青海大通北川河源区自然保护区是青海省西宁市的重要水源地,负责提供 70% 城市供水,在西宁地区生态安全和水资源安全中处于非常重要的地位。因此,加强以水量调节、水质改善和土壤侵蚀防治为主要目的的水源涵养林建设已成为当务之急。本研究选取青海大通自然保护区内不同植被配置的人工云杉林、落叶松林、白桦林、云杉白桦混交林、云杉落叶松混交林等林分为研究对象,通过对枯落物层和土壤层的水文效应进行定量研究,旨在为本地区水源涵养林的建设与植被恢复提供一定的理论依据。

1 研究区概况

研究地点位于青海省西宁市大通县宝库林场三趟沟作业区,地理坐标 $36^{\circ}56'N, 101^{\circ}41'E$,地处青藏高原东北部和黄土高原相接的过渡地带的祁连山地。多年平均降水量 508 mm,年平均温度 $2.8^{\circ}C$,属于温带高寒大陆性气候,极端最高气温 $30.9^{\circ}C$,极端最低气温 $-33.1^{\circ}C$,年气温日较差平均 $14.7^{\circ}C$ 。无霜期为 70~120 d,海拔 2 280~4 622 m,土壤类型主要为黄土母质上发育的山地棕褐土和栗钙土。

2 研究方法

(1) 样地选择。2012 年 7 月在宝库林场三趟沟作业区的 14 块样地中选取 6 块具有代表性的林分作为标准地采样分析对象,样地面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$,并进行每木检尺。各样地基本特征如表 1 所示。

表 1 不同林分标准地基本特征

群落类型	面积/ m^2	海拔/m	坡度/ $(^{\circ})$	郁闭度	平均树高/ m	平均胸径/ cm
落叶松林	20×20	2 606	19°	0.80	13.1	14.9
云杉林	20×20	3 100	21°	0.85	6.0	7.3
白桦林	20×20	2 810	21°	0.45	9.2	20.0
云杉白桦混交林	20×20	2 751	22°	0.70	6.1	8.9
云杉落叶松混交林	20×20	2 899	22°	0.80	7.4	8.0

(2) 枯落物储量调查。在每个样地内分坡上、中、下各布置 3 个具有代表性的 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 样方,收集全部未分解层和半分解层枯落物,分别测定枯落物层总厚度、未分解层厚度、半分解层厚度,分层取样称鲜重,带回实验室用烘箱烘干(温度 $85^{\circ}C$)后称其干重,计算其自然含水量和蓄积量。

(3) 枯落物持水过程测定。采用室内浸泡法^[5-6],测定枯落物持水量、吸水过程和吸水速率。将枯落物样品分别装入土壤筛在清水中浸泡,分别测定其在 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 24 h 的质量,计算其持水量、持水率以及吸水速率。枯落物浸水 24 h 后的持水量可作为最大持水量^[7]。

(4) 枯落物有效拦蓄量的测定。计算枯落物的有效拦蓄量,以便更接近实际的拦蓄降水量^[8],公式为:

$$W = (0.85R_m - R_o)M \quad (1)$$

式中: W ——有效拦蓄量(t/hm^2); R_m ——最大持水率(%); R_o ——平均自然含水率(%); M ——枯落物蓄积量(t/hm^2)。

(5) 土壤水分及物理性质测定。土壤调查采用剖面法,在样地内用环刀按 0—20, 20—40, 40—

60 cm 分层在剖面上取土。用烘干法测定土壤含水量,用环刀浸泡法测定土壤容重、孔隙度等物理性质^[9]。土壤持水力计算公式为:

$$S = 10\,000\,hp \quad (2)$$

式中: S ——土壤持水力(t/hm^2); h ——土层厚度(m); p ——非毛管孔隙度(%)。

3 结果与分析

3.1 不同林分类型枯落物储量及厚度分析

枯落物储量受枯落物的输入量、分解速度、累计年限、树种组成和林分所处的水热条件等因素的综合影响^[10]。由表 2 可知,不同林分类型的枯落物储量有一定差异,总体变动范围为 $34.69 \sim 67.84\text{ t}/\text{hm}^2$ 。总储量大小分别为落叶松林($67.84\text{ t}/\text{hm}^2$) > 云杉落叶松混交林($64.56\text{ t}/\text{hm}^2$) > 云杉林($49.81\text{ t}/\text{hm}^2$) > 白桦林($45.20\text{ t}/\text{hm}^2$) > 云杉白桦混交林($34.69\text{ t}/\text{hm}^2$)。针叶林枯落物储量明显大于阔叶林,主要原因是针叶林的郁闭度较大(均值为 0.8),林冠下许多枝条由于光照不足枯死,因此凋落量比较大,同时由于针叶林落叶比阔叶林难分解,从而导致其枯落物的蓄积量较

多^[11]。分析 5 种林分枯落物未分解层和半分解层储量可以得出,半分解层储量均大于未分解层储量。半分解层占枯落物总储量比例最大的为白桦林 73.97%,其次为云杉白桦混交林 68.86%,云杉林 68.74%,云杉落叶松混交林 58.31%,最小的为落叶松林 55.64%。

表 2 不同森林类型枯落物厚度和储量

林分类型	枯落物总厚度/mm	枯落物总储量/(t·hm ⁻²)	未分解层		半分解层	
			储量/(t·hm ⁻²)	比例/%	储量/(t·hm ⁻²)	比例/%
落叶松林	39	67.84	30.09	44.36	37.75	55.64
云杉林	31	49.81	15.57	31.26	34.24	68.74
白桦林	25	45.20	11.77	26.03	33.43	73.97
云杉白桦混交林	45	34.69	10.80	31.14	23.89	68.86
云杉落叶松混交林	57	64.56	26.92	41.69	37.64	58.31

3.2 不同林分类型枯落物水文效应

3.2.1 枯落物持水能力的比较 枯落物持水能力是森林水文的重要内容,也是表征枯落物层水文功能的重要指标。一般用最大持水量和最大持水率来反映其持水能力,其值的大小与林分的树种组成、林分发育、林分水平及垂直结构,枯落物的组成、成分、特性质地和分解程度等因素有关^[12]。

由表 3 可以看出,林分枯落物最大持水量的变动范围在 80.30~150.73 t/hm²,持水量最大的是云杉落叶松混交林 150.73 t/hm²,其次是落叶松林 113.06 t/hm²,白桦林 91.39 t/hm²,云杉白桦混交林

85.30 t/hm²,最小的是云杉林 80.30 t/hm²。持水率的大小依次为云杉白桦混交林>云杉落叶松混交林>白桦林>落叶松林>云杉林。

显然,同一树种的最大持水量和最大持水率存在不同的规律,原因在于枯落物本身的生物量和结构影响最大持水率,同时枯落物的分解程度也影响其持水能力。

由以上分析可以得出,混交林枯落物的持水能力普遍高于纯林,而阔叶林枯落物的持水能力大于针叶林。云杉白桦混交林的持水能力是云杉林的 1.5 倍,白桦林的持水能力是落叶松林的 1.2 倍。

表 3 不同林分枯落物持水能力

群落类型	总储量/(t·hm ⁻²)	自然含水率/%	最大持水率/%			最大持量/(t·hm ⁻²)	有效拦蓄量	
			未分解层	半分解层	重量加权平均		(t·hm ⁻²)	mm
落叶松林	67.84	51.97	200.10	140.00	166.66	113.06	60.85	6.08
云杉林	49.81	45.89	197.87	144.55	161.22	80.30	45.40	4.54
白桦林	45.20	50.42	269.84	178.39	202.19	91.39	54.89	5.49
云杉白桦混交林	34.69	47.18	269.07	237.87	247.59	85.89	56.64	5.66
云杉落叶松混交林	64.56	52.36	292.63	191.19	233.48	150.73	94.32	9.43

3.2.2 枯落物拦蓄量的分析 由于最大持水量和最大持水率都不能准确反映枯落物对降雨的实际拦蓄能力,因此有效拦蓄量成为反映枯落物对一次降水拦蓄的真实指标,同时其大小与枯落物数量、降雨特性和水分状况等因素有关^[13]。

由表 3 可以看出,不同林分枯落物层的有效拦蓄量为 45.40~94.32 t/hm²,拦蓄量最大为云杉落叶松混交林,最小为云杉林。

3.2.3 枯落物的持水过程 枯落物持水量与浸泡时间存在一定的相关关系,由图 1—2 可知,在浸水实验的 0.5~1 h 内,枯落物持水量快速增大,随着浸泡时间的延长呈现不断增加的趋势,但增加速度逐步放

缓。这一趋势与枯落物拦蓄地表径流的规律相似,即降雨初期,枯落物拦蓄地表径流功能较强,而后随着枯落物湿润程度的增加,吸持能力降低^[14]。而且,半分解层枯落物持水量在浸泡 4~6 h 内已基本饱和(图 1),未分解层持水量在 8 h 左右基本饱和,说明枯落物未分解层持水能力大于半分解层(图 2)。

对 0.25~24 h 内 5 种林分枯落物未分解层、半分解层持水量与浸泡时间进行回归分析(表 4),拟合出该时段内持水量与浸泡时间之间的关系式为:

$$Q=a\ln(t)+b$$
 (3)

式中:Q——枯落物持水量(mm);t——浸泡时间(h);a——方程系数;b——方程常数项。

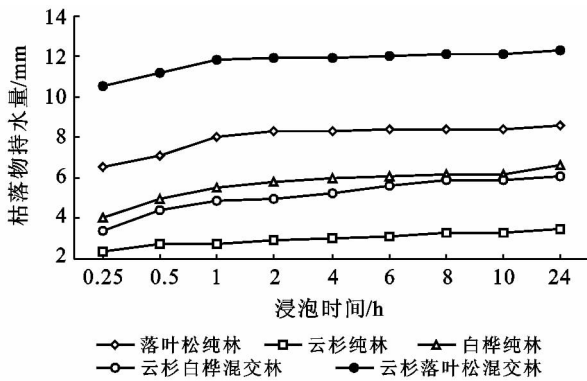


图 1 未分解层枯落物持水过程曲线

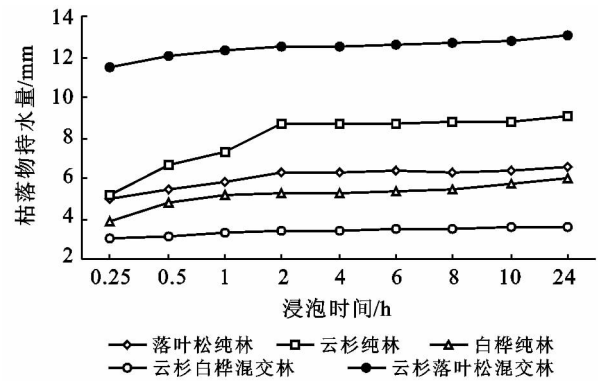


图 2 半分解层枯落物持水过程曲线

表 4 不同林分枯落物持水量与浸泡时间关系

群落类型	分解状态	持水量与浸泡时间的关系式	相关系数(R)
落叶松林	未分解	$y = 0.4276 \ln x + 7.5558$	0.9013
	半分解	$y = 0.3193 \ln x + 5.7421$	0.9324
云杉林	未分解	$y = 0.2259 \ln x + 2.7174$	0.9809
	半分解	$y = 0.8119 \ln x + 7.1707$	0.9108
白桦林	未分解	$y = 0.4866 \ln x + 5.1834$	0.9487
	半分解	$y = 0.3761 \ln x + 4.8499$	0.9152
云杉白桦混交林	未分解	$y = 0.5648 \ln x + 4.5558$	0.9616
	半分解	$y = 0.1274 \ln x + 3.2805$	0.9665
云杉落叶松混交林	未分解	$y = 0.3431 \ln x + 11.4310$	0.9051
	半分解	$y = 0.2893 \ln x + 12.1420$	0.9416

3.2.4 枯落物吸水速率 通过研究发现,5 种林分类型枯落物吸水速率与浸泡时间存在一定的相关性。由图 3—4 可以得出,5 种林分枯落物不论是未分解层还是半分解层在 0.5~1 h 内吸水速率都很大,随后吸水速率迅速下降,4 h 左右吸水速率明显变缓,到 24 h 吸水基本停止。对 5 种林分枯落物未分解层和半分解层吸水速率与浸泡时间进行拟合(表 5),得出该时段内吸水速率与浸泡时间之间的关系式为:

$$V = kt^n \quad (4)$$

式中: V ——吸水速率(mm/h); t ——浸泡时间(h); k ——方程系数; n ——指数。

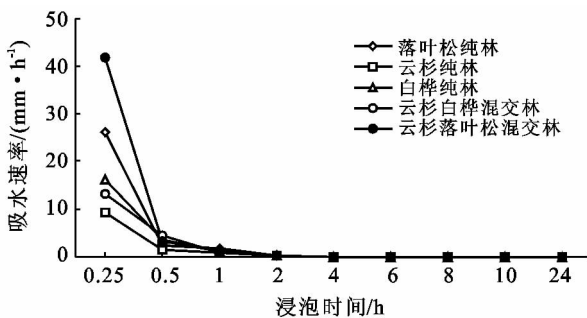


图 3 未分解层枯落物吸水速率变化曲线

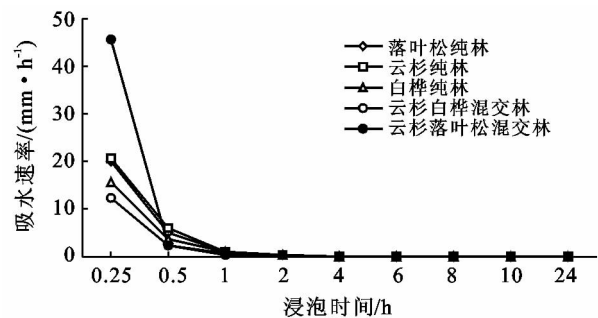


图 4 半分解层枯落物吸水速率变化曲线

表 5 不同林分枯落物吸水速率与浸泡时间关系

群落类型	分解状态	吸水速率与浸泡时间的关系式	相关系数
落叶松林	未分解	$V = 1.0230x^{-1.890}$	0.9662
	半分解	$V = 0.7777x^{-1.748}$	0.9340
云杉林	未分解	$V = 0.6542x^{-1.540}$	0.9783
	半分解	$V = 0.8212x^{-1.689}$	0.9547
白桦林	未分解	$V = 0.8829x^{-1.845}$	0.9597
	半分解	$V = 0.6590x^{-1.712}$	0.9561
云杉白桦混交林	未分解	$V = 0.8701x^{-1.724}$	0.9722
	半分解	$V = 0.6590x^{-1.712}$	0.9561
云杉落叶松混交林	未分解	$V = 1.0034x^{-1.952}$	0.9506
	半分解	$V = 1.0530x^{-1.724}$	0.9429

4 土壤水文效应

土壤容重和孔隙度是表征土壤物理性质的主要参数,二者直接影响着土壤蓄水和通气性能^[15]。从表 6 可以看出,5 种林分类型土壤容重总体差别不大,容重最大的是云杉落叶松混交林 0.99 g/cm³,其次是白桦林 0.94 g/cm³,云杉林 0.93 g/cm³ 和落叶松林 0.88 g/cm³,最小的是云杉白桦混交林 0.86 g/cm³。总孔隙度大小依次为云杉落叶松混交林>云杉白桦

混交林>云杉林>落叶松林>白桦林。非毛管孔隙度与土壤持水力密切相关,大小依次为云杉落叶松混交林(4.64%)>白桦林(3.82%)>落叶松林(3.05%)>云杉林(2.69%)>云杉白桦混交林(1.36%)。土壤有效持水量是土壤持水能力的重要表现,从表 6 得知,云杉落叶松混交林的有效持水量最大为(45.78 t/hm²),其次为白桦林(36.00 t/hm²),落叶松林(26.91 t/hm²)和云杉林(24.93 t/hm²),最小的是云杉白桦林为(11.63 t/hm²)。

表 6 不同林地土壤物理性状及持水量

群落类型	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	非毛管孔隙 度/%	毛管孔隙度/ %	总孔隙度/ %	饱和持水量/ (t·hm ⁻²)	毛管持水量/ (t·hm ⁻²)	有效持水量/ (t·hm ⁻²)
落叶松林	0.88	3.05	58.10	61.15	540.16	513.25	26.91
云杉林	0.93	2.69	59.10	61.79	572.55	547.62	24.93
白桦林	0.94	3.82	48.40	52.21	492.54	456.54	36.00
云杉白桦混交林	0.86	1.36	61.83	63.19	541.29	529.66	11.63
云杉落叶松混交林	0.99	4.64	62.51	67.15	662.59	616.81	45.78

5 结 论

(1) 对青海大通实验区 5 种不同林分枯落物储量调查显示,枯落物蓄积量总体变化范围为 34.69~67.84 t/hm²,其中落叶松林枯落物储量最大,其次是云杉落叶松混交林和云杉林和白桦林,云杉白桦混交林枯落物储量最小。

(2) 5 种林分枯落物的持水能力也各有差异。持水能力的大小依次为云杉落叶松混交林>落叶松林>白桦林>云杉白桦混交林>云杉林。

(3) 5 种林分枯落物的有效拦蓄能力相差较大。其中,云杉落叶松混交林的拦蓄能力最强,相当于 9.43 mm 水深,云杉林的拦蓄能力最弱,相当于 4.54 mm 水深。

(4) 5 种林分枯落物未分解层和半分解层持水量与浸泡时间都存在一定的线性关系,关系式为 $Q = a \ln(t) + b$,相关系数在 0.90 之上。吸水速率与浸泡时间也存在明显的相关关系,关系式为 $V = kt^n$,拟合的相关系数基本都在 0.94 以上。

(5) 在土壤持水能力的比较中,云杉落叶松混交林持水能力最强为 616.81 t/hm²,相当于 61.7 mm 水深;白桦林持水能力最弱 456.54 t/hm²,相当于 45.7 mm 水深。

[参 考 文 献]

[1] 时忠杰,王彦辉,于澎湃,等.宁夏六盘山林区几种主要森林植被生态水文功能研究[J].水土保持学报,2005,19(3):134-138.
[2] 于志明,王礼先.水源涵养林效益研究[M].北京:中国林业出版社,1991:32-37.

[3] 梁文俊,丁国栋,周美思,等.冀北山地油松和落叶松林下枯落物的水文效应[J].水土保持通报,2012,32(4):71-75.
[4] 陈波,杨新兵,赵心苗,等.冀北山地 6 种天然林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(2):196-203.
[5] 赵艳云,程积民,万惠娥,等.六盘山不同森林群落地被物的持水特性[J].林业科学,2009,45(4):145-150.
[6] 莫菲,于澎湃,王彦辉,等.六盘山华北落叶松林和红桦林枯落物持水特征及其截持降雨过程[J].生态学报,2009,29(6):2868-2876.
[7] 饶良懿,朱金兆,毕华兴.重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J].北京林业大学学报,2005,27(1):33-37.
[8] 张振明,余新晓,牛健植,等.不同林分枯落物层的水文生态功能[J].水土保持学报,2005,19(3):139-143.
[9] 李红云,杨吉华,鲍玉海,等.山东省石灰岩山区灌木林枯落物持水性能的研究[J].水土保持学报,2005,19(1):44-48.
[10] He Chansheng, Fu Bojie, Chen Liding. Non-point source pollution control and management[J]. Environmental Science,1998,19(5):87-91.
[11] 马正锐,程积民,班松涛,等.宁夏森林枯落物储量与持水性能分析[J].水土保持学报,2012,26(4):199-204.
[12] 刘少冲,段文标,赵雨森.莲花湖库区几种主要林型枯落物层的持水性能[J].中国水土保持科学,2005,3(2):81-86.
[13] 朱丽晖,李冬,邢宝振.辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J].辽宁林业科技,2001(1):35-37.
[14] 剪文灏,李淑春,陈波,等.冀北山区 3 种典型森林类型枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2011,18(5):144-147.
[15] 赵世伟,周印东.子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J].水土保持学报,2002,16(4):119-122.