

# 半干旱黄土区沙棘的水分生理生态 与形态解剖学特性研究

李代琼

中国科学院  
水利部水土保持研究所 陕西杨陵 712100

**摘要** 1986~1997年在半干旱黄土区的陕西吴旗、安塞县和宁夏固原县,对沙棘进行了蒸腾、净初级生产量、土壤水分等生理生态和形态解剖学特性研究。试验结果表明:沙棘每生产1g地上干物质,总耗水量为711~829g,其中蒸腾耗水量为551~654g,该地区荒山植被生产1g地上干物质蒸腾耗水量为343~709g,总耗水量却达2540~4501g。水分利用效率为1.21~1.53g/(m<sup>2</sup>·mm),是荒山植被的3.1~6.4倍。沙棘水分利用效率较高,水分生产潜力较大。观察沙棘叶、根具有耐大气干旱、耐高温和水湿的形态解剖学特性,说明沙棘有较强的生态适应性。因而在半干旱黄土区的荒山、荒沟,营造沙棘林,能有效利用水土资源,这是快速治理荒山,提高土地生产力的有效途径之一。

**关键词** 黄土高原半干旱区 沙棘 水分生理生态 形态解剖 净初级生产量  
水分利用效率

## Study on the Characteristic of Water Physiology Ecology and Morphology Anatomy of Seabuckthorn on the Semiarid Loess Region

Li Daiqiong

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** This experiment was carried out at Wuqi, Ansai and Guyuan county on the semiarid region of the Loess Plateau from 1986 to 1997. Transpiration, net aboveground primary production, soil moisture and characteristic of water physiology ecology and morphology anatomy of seabuckthorn were observed and studied. The results showed that the total water consumption of seabuckthorn woodlands for producing 1g of aboveground dry material was 711~829g, and water consumption from transpiration accounted for 551~654g, transpiration of waste land vegetation producing 1g aboveground dry material was 343~709g, but total water consumption was 2450~4501g. The water use efficiency of seabuckthorn was 1.21~1.53g/(m<sup>2</sup>·mm), and 3.1~6.4 times of waste land vegetation. It had higher water use efficiency and potential

power of water production. The observation of the anatomy characters of dry-resistant and wet-resistant showed that seabuckthorn has better suitability to atmospheric arid of semiarid Loess Plateau. So, in semiarid loess region establishing seabuckthorn woodlands is effective avenue to use effectively resource of water and soil, improve land productivity, and to speed harnessing barren hills.

**Key words** semiarid region of the Loess Plateau seabuckthorn water physiology ecology morphology anatomy net aboveground primary production water use efficiency

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 适应性强、生长快、能根蘖繁殖, 郁闭度大, 是保持水土、防风固沙、改善生态环境的优良树种, 又具有宝贵的开发利用价值, 因而成为黄土高原治理开发中重要的植物资源。为了加速大面积荒山植被建造, 笔者于 1986~1997 年在黄土高原半干旱区的陕西吴旗、安塞县, 宁夏固原县, 对沙棘进行了水分生理生态学特性研究。这为该地区大面积建造沙棘林及经营管理, 提高生产力提供科学依据。现将试验结果分述于下:

## 1 试验区的自然条件

吴旗试验区设于陕西省吴旗县飞播和人工沙棘林内, 为洛河河源梁峁状丘陵区。植被属温带灌丛草原区, 海拔 1 365~1 650m, 土壤为黄绵土。年平均气温 7.5℃, 最低 -27℃, 最高 35.5℃。年平均降水量 380mm, 无霜期 120d。

固原试验区设于宁夏固原县河川乡的人工沙棘林内, 海拔 1 600~1 850m, 土壤为细黄土, 植被属草原化森林草原区。年平均气温为 7℃, 年平均降水量 450mm, 无霜期 130d。

安塞试验区设于陕西安塞县黄土丘陵沟壑区, 属暖温带森林草原区, 海拔 1 013~1 431m。年降水量 531.4mm, 土壤为黄绵土, 无霜期 159d。

## 2 试验内容及方法

### 2.1 蒸腾与净地上初级生产量测定

在沙棘生长季节内, 采用扭力天平快速称重法, 每月测 2~3 次蒸腾水量(每日从 8:00 开始, 每 2h 测一次, 至 18:00 结束), 计算蒸腾强度和蒸腾耗水量。净初级生产量系测定样方内每木生物量(样方面积为 5m×2m 或 5m×4m, 1hm<sup>2</sup> 选样方 60~120 个)。对林下枯枝落叶量及草本层亦进行相应调查, 然后计算净地上初级生产量。

### 2.2 土壤水分测定

每月用土钻取样测定一次土壤水分。每 20cm 取样, 3~5m 为止。

### 2.3 形态解剖学特性观察

定期对沙棘根、茎、叶取样, 作石蜡切片, 观测细胞结构、功能及特性。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 沙棘林群落结构特性及净初级生产量

沙棘在第 1 年生长缓慢, 2~3 年以后开始迅速生长。一般荒山造林每公顷成苗 1 050 株以上时, 4~5 年即可郁闭成林, 各年新枝生长 20~60cm。表 1 为吴旗王洼子飞播沙棘连续 16 年净初级生产量调查。3 年生沙棘开始迅速生长, 净初级生产量为 269g/m<sup>2</sup>, 3~4 年开始根蘖繁

殖,第 4~5 年,密度大的(0.5 株 m<sup>2</sup> 以上)即可郁闭成林;稀疏的则形成团状灌丛。8 年生净初级生产量达第一峰值,为 600g/m<sup>2</sup>,并使生长趋于平稳,13 年生的沙棘,净初级生产量为 645g/m<sup>2</sup>。16 年生沙棘林净初级生产量增至 681g/m<sup>2</sup>,林内杂草生物量达峰值,为 248g/m<sup>2</sup>。

表 1 飞播沙棘林地上净初级生产量 g/m<sup>2</sup>

项目	生长年限(a)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16		
茎生物量	1.4	6.1	140	156	234	402	412	560	623	660	683	888	981	1020		
叶生物量	1.2	4.3	70	82	104	177	167	278	300	189	183	215	250	272		
果生物量				8	11.2	20	24.1	22.5	30	25	23	3	42	57		
枯枝落叶量		1	20	27	36	37	45	27	33	35	34	32	35	44		
林内杂草生物量	15	29	45	70	50	25	109	125	130	135	150	200	225	248		
沙棘林地上净初级生产量	18	39	269	202	280	427	355	600	557	420	413	655	645	681		
对照荒山上净初级生产量	15	27	52	40	80	50	80	90	100	78	50	85	130	150		

### 3.2 沙棘林蒸腾与耗水量

在半干旱黄土区,水分是影响植物分布和生产力的主要因素之一。测定结果表明:吴旗飞播区 4~6 龄沙棘,在生长季中平均蒸腾强度为 0.377~0.628g/(g·h)(即 1g 鲜叶在 1h 内蒸腾的水量);宁夏固原 5~7 龄人工沙棘林平均蒸腾强度为 0.394~0.911g/(g·h)。沙棘蒸腾强度具日变化和季节变化节律(图 1、图 2),其变化节律与太阳辐射强度、气温、大气湿度、风速及天气状况等因素密切相关。从沙棘蒸腾的特点看,日进程和月进程为单峰或双峰曲线,蒸腾强度一般较平稳,但蒸腾强度的年变幅一般较大。可以看出沙棘对干旱环境有一定的适应力,这些属中生植物蒸腾的特点。

### 3.3 沙棘林地水分生产力

灌木的水分生产力是研究其产量与水分的定量关系,一般可用水分利用效率来表示。灌木林水分利用效率(WUE)为单位面积的灌木,消耗单位水量能生产出干物质的量<sup>[2]</sup>。其计算公式为:

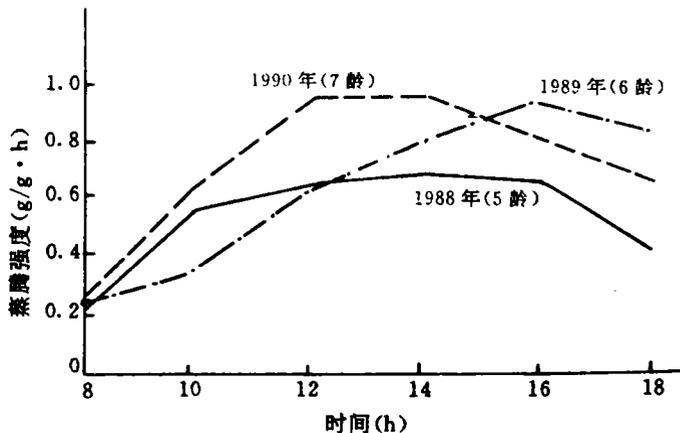


图 1 固原沙棘蒸腾强度日变化

$$WUE = \frac{NAPP}{WC}$$

式中:WUE——水分利用效率 [kg/(hm<sup>2</sup>·mm)、t/(hm<sup>2</sup>·mm)] 或 [g/(hm<sup>2</sup>·mm)]; NAPP——净地上初级生产量(kg/hm<sup>2</sup>、t/hm<sup>2</sup>);WC——总耗水量(mm)。

吴旗、固原、安塞沙棘林总耗水量与蒸腾耗水量的年际变化,见表 2 及图 3。吴旗飞播沙棘林,在 1981~1989 年平均总耗水量(指蒸腾耗水量、蒸发量与径流量等水分支出的总和)为

362mm,其中年平均蒸腾耗水量为262mm,占总耗水量的72.4%,而对照荒山植被9年平均年总耗水量为366mm,其中蒸腾耗水量仅为13.9%。沙棘林蒸腾耗水量为荒山植被的5.1倍,说明沙棘林生产性耗水比荒山植被高得多。从耗水系数与蒸腾系数看,吴旗、固原、安塞三地区沙棘林生产1g地上干物质总耗水分别为755,711,829g,其中蒸

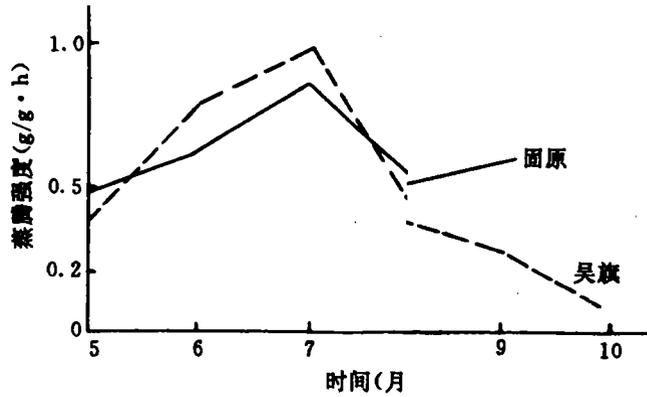


图2 沙棘蒸腾强度月变化

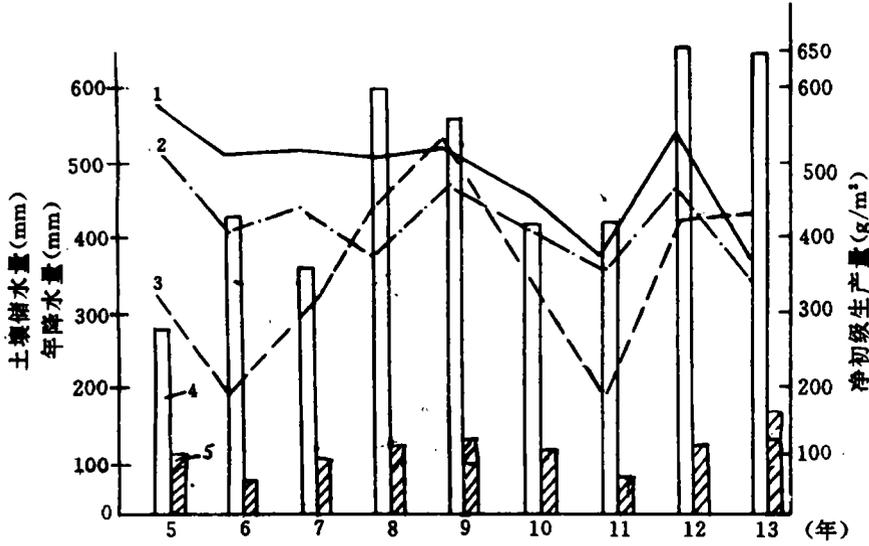
腾耗水为551,597,654g,而荒山植被生产1g地上干物质蒸腾耗水分别为644,709,343g,总耗

表2 沙棘林耗水量与水分利用效率

试验地区	生长与封禁年限	类型	5m土层储水量(mm)	年降水量(mm)	净地上初级生产量(g/m <sup>2</sup> )	总耗水量(mm)	蒸腾耗水量(mm)	耗水系数	蒸腾系数	水分利用效率 [g/m <sup>2</sup> ·mm]
吴旗	5 (1981年)	N.r	507		280	225	160	804	571	1.24
		N.v	570	329	80	223	52	2788	650	0.36
	6 (1982年)	H.r	418	196	427	285	220	667	515	1.50
	7 (1983年)	H.r	436	277	355	259	221	730	623	1.37
	8 (1984年)	H.r	377	440	600	499	327	832	545	1.20
		N.v	506		90	448	70	4978	778	0.20
	9 (1985年)	H.r	469	544	557	452	353	811	634	1.23
	10 (1986年)	H.r	413	372	420	428	267	1019	636	0.98
	11 (1987年)	H.r	351	188	413	250	213	605	516	1.65
	12 (1988年)	H.r	468	420	655	303	212	463	324	2.16
	13 (1989年)	H.r	340	431	645	559	381	867	591	1.15
		N.v	364		130	607	46	4669	354	0.21
	固原	5 (1988年)	H.r	605	412	543	467	262	859	482
人工林	6 (1989年)	H.r	561	312	521	430	335	825	642	1.21
	7 (1990年)	H.r	567	378	842	378	562	449	667	2.23
		N.v	674		80	340	56	4261	702	0.23
安塞	4 (1995年)	H.r	460	321	400	320	280	800	700	1.25
人工林	5 (1996年)	H.r	510	568	560	480	340	857	607	1.16
	4 (1995年)	N.V	600	321	198	503	68	2540	343	0.39

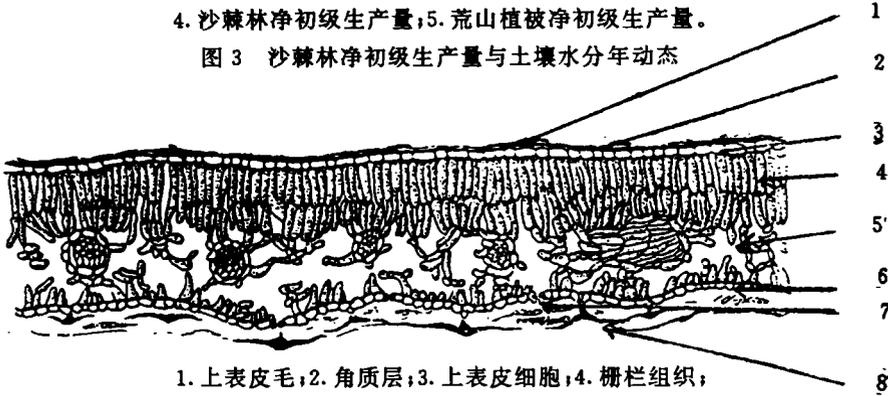
注: H.r 为沙棘林, N.v 为荒山植被。

水量却达4501g、4250g、2540g。吴旗、固原、安塞沙棘林的水分利用效率分别为1.39、1.53、1.21g/(m<sup>2</sup>·mm),是荒山植被的5.8、6.4、3.1倍(表2)。上述分析表明,沙棘耗水较经济,水



1. 荒山植被土壤储水量; 2. 沙棘林土壤储水量; 3. 年降水量;  
4. 沙棘林净初级生产量; 5. 荒山植被净初级生产量。

图 3 沙棘林净初级生产量与土壤水分年动态



1. 上表皮毛; 2. 角质层; 3. 上表皮细胞; 4. 栅栏组织;  
5. 海绵组织; 6. 下表皮细胞; 7. 气孔(示保卫细胞); 8. 下表皮毛。

图 4 沙棘叶片横切面(李代琼, 1994. 1)

分利用效率较高。这与沙棘的生理学及形态解剖学特性有关。据报导沙棘自由水和束缚水量分别为 25.4%、41.5%，束缚水与自由水之比为 1.62。沙棘日平均水势为  $-14.4 \times 10^5 \text{Pa}$ ，较柠条、山桃低<sup>[3]</sup>。在水分胁迫的条件下，关闭气孔是沙棘节约用水，提高水分利用效率的一重要生理特性<sup>[4]</sup>。从叶和根的解剖特性看，沙棘叶具有发达的表皮毛较厚的角质层和发达的栅栏组织细胞(图 4)，因而对大气干旱有较强的适应性。沙棘根的周皮薄壁组织发达，细胞和细胞间隙较大，因而持水力强(图 5)<sup>[7]</sup>。测定沙棘根、茎、叶含水量分别为：65%~80%、35%~50%和 60%~78%，可以看出沙棘根系持水量较大，它要求一定的水分生态条件，但又具较强的适应性。

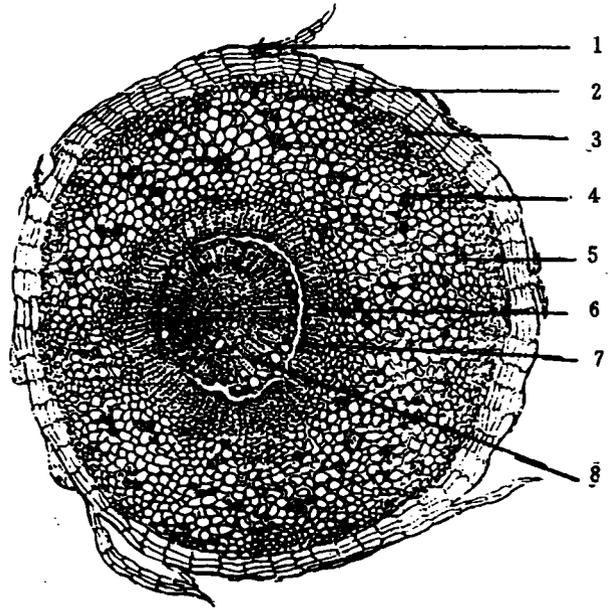
### 3.4 沙棘林地水分生态条件

沙棘林地与荒山土壤水分利用情况，见表 3。沙棘对土壤水分的利用可分为：根系微弱利用层、根系利用层、土壤水分补充调节层和微调节层。7 龄沙棘吸水深度已超过 5m，一般吸水

深度为根系延伸长度。由于根系强烈吸水,使土壤含水率明显比其它土层低。5m土层内沙棘平均含水率为7.5%(凋萎湿度为6.1%),较柠条、山桃、刺槐低。随沙棘林龄增加,土壤水分亏缺严重,但上层1~1.5m土壤水分恢复较好,土壤含水率可接近或超过荒山天然草地。原因在于其土壤渗透性和持水力随林龄增加逐渐增强。

### 3.5 提高沙棘水分利用效率的营林措施

为了提高沙棘水分利用效率,除重视沙棘对深层土壤有效水的利用外,还需注意利用有限的降水资源,提高生产力。沙棘适宜的立地条件为阴坡、半阴坡或沟坡;造林密度以1m×2m为好。另外要加强成林过程中的抚育、管理。采用整地(水平沟、窄带梯田和反坡梯田)、施肥(有机肥、化肥和喷微肥),适时平茬(6~7年1周期)、疏伐、修枝或草、灌带状间播等措施,均可提高水分利用效率与水分生产力。



1. 木栓层; 2. 木栓形成层; 3. 栓内层;
4. 次生皮层薄壁组织; 5. 厚壁组织;
6. 次生韧皮部; 7. 形成层; 8. 次生木质部。

图5 沙棘根次生结构横切面(李代琼,1994,1)

表3 沙棘林地土壤水分的利用

项目	土层深度 (cm)	土壤含水量(%)		占田间持水量 百分数	有效贮水量 (mm)
		变化幅度	平均值		
根系微弱 利用层	0~20	2.8~22.4	10.4	50.6	9.6
根系 利用层	20~300	5.7~9.4	7.5	36.5	47
土壤水分补 充调节层	300~400	8.8~11.9	10.5	50.9	57.2
土壤水分 微调节层	400~500	11.1~13.7	12.6	50.9	85.8

注:本测定为固原6龄沙棘。

## 4 结论与讨论

(1)根据半干旱黄土区吴旗县、安塞县和固原县沙棘成林过程水分生理生态与形态解剖学特性研究结果看出:沙棘蒸腾强度日进程、月进程为单峰或双峰曲线,属中生植物蒸腾的特点。沙棘年平均净初级生产量为487~681g/m<sup>2</sup>,是荒山植被的6~8倍,年平均蒸腾耗水量为262~386mm,是荒山植被的1.1~6倍;水分利用效率为1.21~1.53g/(m<sup>2</sup>·mm),是荒山植被的3.1~6.4倍。可以看出,沙棘耗水较经济,水分利用效率较高。沙棘具有蒸腾强度较平稳,蒸腾耗水量较大,吸水力强,束缚水含量高,束缚水与自由水比值高,水势低等生理学特性。从形态

(下转第125页)

## 5.2 土壤营养元素的含量与分布

有机质含量与分布相对均一,有效态磷、钾含量与分布,有效态随深度增加由低逐渐增高时,尤其在500~800cm土层有效磷的含量之高,有时在表层或者一些远离村庄的农地也是少见的。深层含有效态磷之丰富,对种植深根系的牧草,尤其是豆科牧草有着特别重要的生物学与生产意义。黄土高原的土壤一般富含碳酸钙,由于钙的作用,易把有效态磷变成磷酸二钙、磷酸三钙,成为无效态,所以富含碳酸钙的黄土易缺磷。但是一些牧草对磷酸反应很敏感,单施磷肥就有明显的增产效应和“以磷增氮”的效应。利用豆科牧草沙打旺、苜蓿、草木樨、红豆草、尤其在黄土丘陵区种植沙打旺,红豆草,充分利用豆科牧草直根系,它们可以深扎0~8m,深者超过10m。其作用:首先利用深层的有效态磷素,满足自身生长发育的需要,第二可以达到“生物聚肥”,使深层土层的有效态磷在生物作用下向上迁移,在表层或者一定深度富集。在黄土高原“生物聚肥”,扩大了生物利用营养元素的容积。

(上接第102页)

解剖学特性看,沙棘叶具发达的表皮毛、较厚的角质层及发达的栅栏组织细胞,其根的周皮薄壁细胞及细胞间隙较大,这些特性是沙棘抗寒、耐大气干旱、抗高温和耐水湿,适应黄土高原半干旱地区环境条件的主要原因。

(2)沙棘对土壤水分的利用可分为:根系微弱利用层、根系利用层、土壤水分补充调节层和微调节层。沙棘随林龄增加,土壤水分亏缺严重,但上层1~1.5m土壤水分恢复较好,土壤含水量可超过或接近荒山植被。

(3)通过选择适宜造林立地条件,掌握好种植密度和加强成林过程中的抚育管理,特别是水、肥管理,可提高沙棘水分利用效率。

今后可进一步研究黄土高原半干旱区沙棘水分生产力与水分平衡规律。为使黄土高原大面积荒山、荒沟迅速得到治理,充分利用水土资源,提高土地生产力,为更好地开发利用沙棘资源作出努力。

**致谢:**参加本试验工作的还有水土保持研究所:梁一民、从心海、施立民、郭忠升、姜峻、黄瑾。西北植物研究所张遂申研究员作了沙棘形态解剖部分工作,特表感谢。

## 参考文献

- 1 李代琼,从心海,梁一民.黄土高原半干旱区沙棘林净初级生产量与耗水量研究.水土保持通报,1990,10(6):91~97
- 2 李代琼,刘向东,吴钦孝等.宁南5种灌木林蒸腾和水分利用率试验研究.中国科学院水利部西北水土保持研究集刊,1991,14:27~38
- 3 傅佐,周泽生,王晗生等.黄土高原主要能源植物水分生理指标及抗旱力的研究.中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1992,15:83~90
- 4 韩蕊莲,梁宗锁,邹厚远.在土壤不同干旱条件下沙棘耗水特性的初步研究.沙棘,1991,4:33~38
- 5 Chang jike,Chang xiaomin,wu fuheng,qian weiming,A Research into downiness of Hippophae rhanoides-Linn Subspecies sinensis Rousi.international symposium on seabuckthorn.1993,8:259~260
- 6 刘怀德.沙棘叶片表皮毛的观察研究.林业科技通讯,1988,12,26