

鹤山马占相思生态系统在重建过程中对立地 水热因子的调节作用

闫俊华 周国逸* 林永标

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 分析亚热带鹤山人工马占相思 (*Acacia mangium*) 生态系统水热的连续观测资料, 采用时空互代的方法, 并与邻近的退化草坡、裸地相比较, 得到如下一些主要结果: 1) 本区域年内降水分配不均, 而热量输入却相对均匀, 存在湿季水土流失和干季水分亏匮的可能性。2) 7 龄后的马占相思林分反射率明显小于裸地与草坡, 为该系统提高生产力和生物量累积提供了前提条件。3) 马占相思生态系统对立地气温、地温的调节集中表现在缩小其变化振幅, 使得林地的气温、地温变化有其自身的规律, 倾向于有益于生态系统发育方面的变化。4) 干季时, 林地内的大气相对湿度明显高于裸地, 而蒸散力又明显低于裸地的自由水面蒸发, 使系统摆脱了干旱的威胁, 对植被恢复和系统健康发育起到了重要作用。5) 植被恢复过程中, 系统的蒸散量呈增加趋势, 总径流呈减小趋势, 但减小的是雨季可能造成灾害的地表径流量, 产水量的主体地下径流量仍然是增加的, 林地的土壤水分较草坡地有所增加, 变化幅度也较草坡地小, 以上说明森林植被对系统水分的调节是明显的。

关键词 鹤山 马占相思林 植被恢复 水热因子

THE REGULATION ON WATER AND HEAT FACTORS DURING THE RESTORATION PROCESS OF AN ACACIA MANGIUM PLANTATION

YAN Jun-Hua ZHOU Guo-Yi* and LIN Yong-Biao

(South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract Previously, Heshan County, Guangdong province was covered with degraded grassland, bare land and other degraded plantation ecosystems due to the removal of natural vegetation. In recent years, vegetation rehabilitation has succeeded in this region by integration with intensive scientific studies and practices, which also resulted in a great progress in water and heat environments there.

This experiment was carried out in Heshan hillyland interdisciplinary station (22°41' N, 112°54' E), a very good place for studies on the rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystems in the northern subtropical zone. Based on long term field measurement data, this paper reported the development of water and heat factors during the restoration progress, started in degraded grassland and using *Acacia mangium* forest stands as the pioneer community. Interactions between hydro-thermal and forest and their temporal and spatial dynamics were analyzed.

The monsoon climate brings abundant rainfall to the experimental area, but more than 85% of annual rainfall falls in the wet season (April to September). Owing to the uneven distribution of the monthly rainfall in a year but evenly distributed monthly rich solar radiation, the potential of soil erosion during the wet season and water deficit in the dry season is high. The high productivity potential can be anticipated in an ecosystem if it can reduce the water demand in the dry season and increase water storage in the wet season, such as is seen in *Acacia mangium* plantation. On the contrary, degraded ecosystems in this region do not have the ability to adjust, tend to be further degraded and are hard to restore.

Reflectivity in restoration process for *Acacia mangium* plantation was much less than that of grassland or bare land, which decreased with tree growth before 11 years old and fluctuated between 6.7%–7.0% after 11 years old.

The fluctuations of air temperature indexes in *Acacia mangium* plantation stand were less than those in bare land, for example, the fluctuation of the highest extreme monthly mean air temperature in bare land is 9.2°C, but only 5.0°C in *Acacia mangium* plantation stand. The same pattern was seen with soil temperature. It benefited the rehabilitation and reconstruction of function and structure of the ecosystem.

收稿日期: 2001-10-15 接受日期: 2002-03-21

基金项目: 国家自然科学基金(39928007)项目和基础研究项目(2001CCB00600)

*通讯作者 Author for correspondence E-mail: gyzhou@scib.ac.cn

The relative humidity of *Acacia mangium* plantation was much higher than that of bare land in the dry season, but the potential evapotranspiration was opposite. This pattern greatly reduced the water demand and evapotranspiration in this plantation, and lessened its tension of water supply. Therefore, the growth of *Acacia mangium* plantation can sustain the dry season, which made the ecosystem rehabilitate smoothly.

With the succession of *Acacia mangium* plantation, its evapotranspiration and groundwater increased but the total runoff was decreasing. At the same time, the soil moisture of *Acacia mangium* plantation became higher than that of grassland.

Based on the above, it could be concluded that there was evidence of vegetation controlling the heat balance and the water distribution in an ecosystem. As a whole, the seasonal water consumption in *Acacia mangium* plantation became more reasonable and water and heat conditions were improved.

The hydrological and thermal interactions of the ecosystem resulted in the maintenance of a healthy forest in a region where soil degradation, erosion and loss of fertility have often followed the removal of natural vegetation.

Key words Heshan, *Acacia mangium*, Vegetation restoration, Water and heat factors

植被恢复过程中,不断地改变立地的局部气候特征,对水热因子进行调节和重新分配,为生态系统中生物的生存和发育创造有利的环境条件,这也是人类所需要的,尤其在全球气候变化的情况下。植被组成的生态系统在生物地球化学循环过程中起着非常重要的作用(周广胜等,1996),由其引起水热循环的改变是当今研究以水热变化为突出标志的全球环境变化的过程与目标所在,也是其可能减缓或加重全球气候变化进程的途径之一。由于森林植被与水热因子间的作用过程是相互的,在时间和空间上是动态的,从而形成了动态的影响和反馈过程,也就是说,长期的、过程的研究是至关重要的。

马占相思(*Acacia mangium*)原产于澳大利亚,具有较高的固氮能力,在土壤贫瘠的山丘上能迅速生长,是良好的先锋树种,现已广泛引种于华南地区。鹤山马占相思林是1983年在低山丘陵地营建的,1994年开始对其水热因子进行连续观测至今,也就是说11龄及大于11龄的群落是按照时间的进程对同一群落进行观测的结果,而11龄以前的群落是采用时空互代的方法,通过造林时间的不同而形成马占相思林重建过程的时空系统,比较不同年龄的马占相思人工林,用以说明植被重建过程中对立地水热因子的调节作用。目前,鹤山人工马占相思林的基本生物学和生态学特征都有所报道(任海等,

1995;张文其等,1995;李志安等,1995;周国逸等,1995),在此基础上,本文把该地区的裸地、草坡及不同林龄的马占相思林联系起来,对比分析其水热因子的特征,以展示马占相思林较全面的生态功能,并为马占相思林生态效应的评估提供量化指标。

1 研究地自然概况与区域的水热背景

鹤山丘陵试验站位于广东省中部的鹤山市,112°54'E,22°41'N,地属南亚热带粤中丘陵区。地带性群落为亚热带季风常绿阔叶林,由于人类活动的影响和破坏,造成植被退化、水土流失,现状植被除部分地方为人工马尾松林外,绝大部分退化为亚热带草坡,土壤为赤红壤。地属南亚热带季风常绿阔叶林气候,干湿季明显,干季10~3月,湿季4~9月;年平均气温21.7℃,最热月均温为29.2℃,最冷月均温为12.6℃,极端最高气温为37.5℃,极端最低气温0℃;年平均日照时数为1630.1h,年平均太阳辐射为4350.5 MJ·m⁻²·a⁻¹;年平均大于等于10℃的有效积温为7597.2℃;年平均降雨量1990.0mm,年平均蒸发量1638.8mm,无霜期年平均为354d。

表1的数据反映出鹤山所在区域的降水主要集中在湿季的4~9月,占年降水量的85%,10月至翌年3月的干季降水量仅占15%,从总量上看该区的

表1 研究区域各个月份的降水量、日照时间和净辐射(1994~1998)
Table 1 The monthly precipitation, sunlight time and net radiation for Heshan district (1994~1998)

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降水 Precipitation (mm)	25.6	70.3	76	177.6	201.3	321.2	308.0	276.2	282.2	41.7	30.2	26.7
日照时间 Sunlight time (h)	93.1	65.8	69.3	87.0	127.1	149.1	183.2	173.0	159.4	201.9	189.1	132.2
净辐射 Net radiation (kJ·m ⁻²)	117.1	96.7	127.3	145.5	244.5	300.4	351.3	303.0	262.3	252.0	198.8	144.9

降水较为丰富,但季节分配极不均匀,存在干季缺水现象。本区的日照时间和净辐射充沛,在季节分配上也相对均匀,干湿季相差不大。从水热耦合的角度出发,系统在 10~12 月出现了水热比例严重失调的现象,对于植物生长来说,此 3 个月的日照充足,热量适度,植物生长具有旺盛的生长潜力,需要较多的水分供应,可见,干季足够的热量输入使水分的供应更加紧张,出现了水热矛盾的一面,也就是说由于热量的输入导致了干季季节性缺水,这一点与南亚热带区域的水热特性相一致(周国逸,1997;周国逸等,2000;2001;闫俊华等,2001)。

2 研究方法

2.1 气象与小气候因素观测方法

主要采用自动气象站和小气候梯度测定仪进行测定,观测项目包括气温、地温、降水、风速、水汽压、空气相对湿度、辐射平衡以及蒸发量等,日照时间由鹤山市气象局提供。

2.2 蒸散力计算方法

采用 Penman 自由水面蒸发力理论公式,根据林地的环境条件,对公式中有些参数重新进行确定(闫俊华等,1999),计算公式为:

$$E_0 = \frac{R_0 + e}{v}$$

式中, E_0 是森林生态系统蒸散力 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); v 为干湿温度表湿度常数; e_a 是空气干燥力的参数 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); e_s 是在平均湿球温度 t 时的饱和水汽压曲线的斜率, $e_s = 5430 e_s / 1.8 T^2$, e_s 为林地 2 m 高处在当时温度下的饱和水汽压 (Pa), T 表示绝对温标; R_0 是有效辐射量 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。

2.3 蒸散计算方法

采用逻辑推导的森林生态系统蒸散的计算公式(周国逸,1997):

$$E = E_0 \left\{ 1 + \frac{r}{E_0} - \left[1 + \left(\frac{r}{E_0} \right)^2 \frac{NP}{P-1} + N+1 \right] \frac{1}{P^2 - P - 1} \right\}$$

式中, E 表示蒸散; E_0 是蒸散力; r 为系统中能用于蒸散的贮水量; P 是系统中大气相对湿度; N 是一

个表征系统对防止液态水输出能力的常数,用气象因子迭代法求得(闫俊华等,1999;2001),值为 8.3。

草坡生态系统的蒸散用能量平衡-波文比法求得(申卫军等,2000)。

2.4 径流的计算方法

本研究在草坡和马占相思林运用“小集水区径流场”技术来测定地表径流(申卫军等,2000)。径流量通过自记水位计记录,计算公式如下:

$$Q_0 = 1.343 H^{2.47}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (Q_{0(i)} + Q_{0(i+1)})$$

式中, Q_0 为水位自记曲线上某一水位高度的流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), H 为堰口水头高度 (m)。 Q 为某一降水过程的径流总量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), $Q_{0(i)}$ 和 $Q_{0(i+1)}$ 为水位曲线上相临两点水位高度 (H_1 和 H_2) 的流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), t 为相临两点的时差 (s), $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 分别表示某一径流过程从 1, 2, 3, ..., n 个相邻两点间的径流时段。本文中的地下径流实际上是壤中流与地下流的总和,用水量平衡法求得。

2.5 土壤水分研究方法

沿与等高线垂直的方向设置多个中子水分仪测量点,用中子水分仪测定,并配合烘干称重法进行。计算公式为:

$$V = m \left(\frac{R}{R_w} \right) + c$$

其中, V 是土壤含水量 (mm); R 是土壤中的中子计数率; R_w 是水体中的中子计数率; m 和 c 均为常数,这里分别取值 12.272 和 -1.2683。

3 结果与分析

3.1 马占相思林重建过程中反射率的变化

从表 2 的数据可以看出,裸地的反射率最大,草坡次之,11 龄以前,马占相思林冠层的反射率随着群落年龄的增长呈递减的趋势,11 龄以后反射率趋于稳定,出现这种情况的主要原因集中表现在下垫面特性的差异上。随着群落年龄的增长,叶面积指数增大,林冠的结构更为复杂,辐射能量利用率大大

表 2 马占相思林重建过程年均反射率的变化
Table 2 Annual change of reflectivity in restoration process for *Acacia mangium* forest

项目 Item	裸地 Bare land	草坡 Grassland	2 龄群落 2-year community	4 龄群落 4-year community	7 龄群落 7-year community	11 龄群落 11-year community	14 龄群落 14-year community	15 龄群落 15-year community
反射率 (%) Reflectivity	18.3	17.2	16.2	10.4	8.4	6.7	7.0	6.9

提高,导致反射率呈下降趋势。11龄后,群落结构趋于稳定(任海等,1995),反射率也相对稳定。

3.2 马占相思林对立地气温的调节

马占相思林年平均气温为 22.2,最热月与最冷月平均气温分别为 28.1 和 13.1;裸地年平均气温为 22.4,比马占相思林高 0.2,最热月与最冷月平均气温分别为 29.9 和 12.5 (表 3)。马占相思林与裸地的极端高温年平均值差异不大,分别为 26.5 和 26.3,但二者振幅差异较大,裸地极端高温的年振幅接近于马占相思林的 2 倍,分别为 9.2 和 5.0。马占相思林的极端低温年平均值和年振幅分别较裸地低 0.6 和 0.5。

图 1 反映了马占相思林与裸地的气温日动态均呈倒“S”型。日出后,二者气温随太阳高度角的增大而升高,但裸地气温上升比林内的要快。林内与裸地的最高温度出现在午后 2:00~3:00,分别为 25.41、28.53,较太阳高度角的峰值迟滞 3 h,随后气温均呈下降趋势,同样,裸地的气温又比林内下降的要快,到凌晨 7:00,林内与裸地的气温达到最低值,分别为 19.27、17.81。

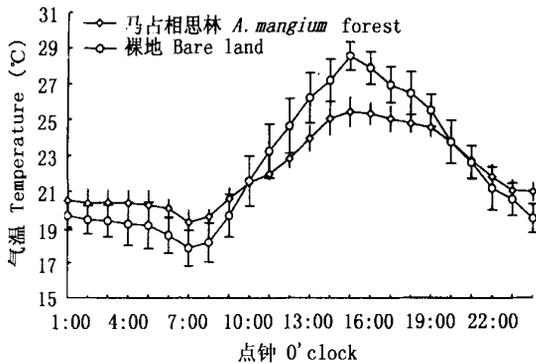


图 1 马占相思林与裸地气温的全年平均日变化(1996~1999)
Fig. 1 Diurnal changes of air temperature for *Acacia mangium* forest and bare land (1996-1999)

3.3 马占相思林对立地地温的调节

马占相思林地表的年平均温度为 22.2,接近于林内气温,月平均变化范围在 13.7~28.8 之间;裸地地表年平均温度为 23.8,比马占相思林高 1.6,月平均变化范围在 13.3~32.6 之间,较林内地表温度变化强烈。在马占相思林内,随着土层深度的增加,其温度的季节变化比其裸地要相对趋于缓和(表 4),当土层深度达 20 cm 时,其温度的月平均变化范围在 15.2~27.00 之间,远小于地表温度的月变化范围。3~10 月间,土温随土层深度的增加呈递减的趋势,11 月至翌年 2 月,土温随土层深度的增加呈递增的趋势。土层深度为 20 cm 时,年均温为 21.6,比地表温度低 0.6。马占相思林和裸地地表温度日变化规律与气温日变化规律相似,裸地日变化在 19.37~34.03 之间,日振幅是马占相思林的 2.5 倍。

3.4 马占相思林对大气相对湿度的调节

马占相思林的年平均相对湿度 83%,变化范围为 77%~89%;裸地年平均相对湿度 79%,变化范围为 64%~87%(图 2)。两地的年均相对湿度相差并不明显,但裸地的变化振幅几乎是马占相思林的 2 倍。这并没有表现在湿季时马占相思林出现极端高湿的情况,而是干季时裸地大气异常干燥的缘故。10~12 月间,裸地的大气相对湿度仅为 67%,而此时马占相思林还接近 80%。同时,裸地大气相对湿度月波动异常显著,观测期间,12 月的大气相对湿度不到 60%,而到了翌年的 1 月,大气相对湿度急剧升至近 80%。

3.5 马占相思林对蒸散力的调节

马占相思林年蒸散力为 1557.4 mm,占同期降水量的 86.8%。最大的是 7 月,蒸散力为 220.1 mm;最小的是 1 月,蒸散力为 51.2 mm。该区林外自

表 3 马占相思林与裸地气温的月变化(1996~1999)
Table 3 Monthly changes of air temperature for *Acacia mangium* forest and bare land (1996-1999)

项目 Item	地点 Sites	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.
平均 Average	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	13.1	15.2	18.3	23.2	25.0	26.8	27.8	28.1	26.3	24.5	20.8	17.4
	裸地 Bare land	12.5	14.7	18.1	23.6	25.2	28.4	29.1	29.9	26.1	24.5	20.6	16.3
最高 Max.	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	18.1	19.6	22.0	28.0	28.3	30.0	31.5	33.1	30.4	29.2	26.4	21.9
	裸地 Bare land	15.3	17.8	21.9	28.0	28.9	32.4	33.7	34.5	30.0	28.4	24.5	20.0
最低 Min.	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	10.0	11.9	14.9	20.0	21.7	23.8	24.8	24.4	22.6	20.0	17.1	14.1
	裸地 Bare land	10.4	12.5	15.6	20.6	22.6	24.4	25.7	25.1	23.4	21.3	17.3	13.3

表 4 马占相思林与裸地地温的月变化(1996~1999)
Table 4 Monthly changes of soil temperature for *Acacia mangium* forest and bare land (1996-1999)

土深 Depth	地点 Sites	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.
0 cm	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	13.7	15.3	18.2	23.5	25.0	26.5	27.7	28.8	26.2	24.1	20.8	16.7
	裸地 Bare land	13.3	15.3	18.9	25.3	26.7	28.9	31.7	32.6	28.0	26.2	22.4	16.4
5 cm	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	13.8	15.1	17.9	23.0	25.0	26.3	27.5	28.3	26.2	23.8	21.1	16.5
10 cm	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	14.2	15.2	17.7	22.5	24.5	25.9	27.0	27.9	26.0	23.7	21	16.7
15 cm	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	14.9	15.5	17.7	22.2	24.3	25.6	26.6	27.5	25.8	23.7	21.1	17.1
20 cm	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	15.2	15.5	17.4	21.7	23.9	25.2	26.2	27	25.5	23.5	20.9	17.1

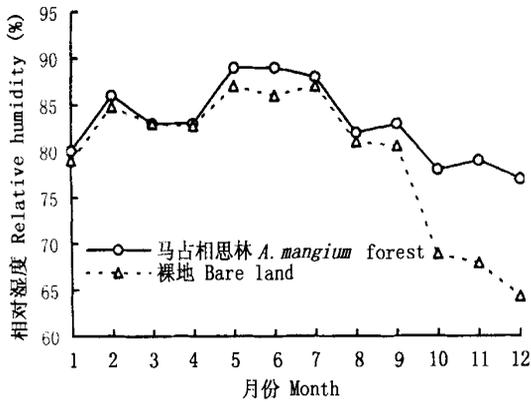


图 2 马占相思林与裸地的大气相对湿度月变化(1996~1999)
Fig. 2 Monthly changes of relative humidity for *Acacia mangium* forest and bare land (1996-1999)

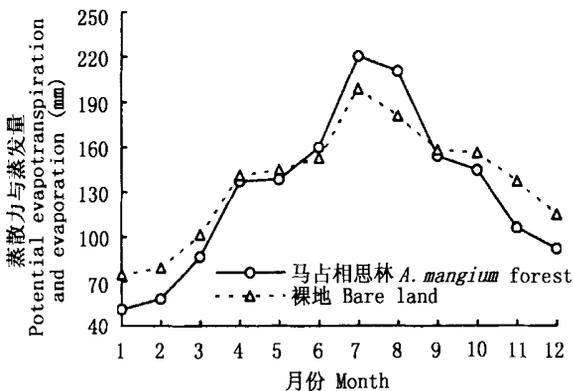


图 3 马占相思林蒸散力与裸地蒸发量的比较
Fig. 3 The comparison between potential evapotranspiration for *Acacia mangium* plantation land and evaporation for bare land

由水面蒸发量年平均为 1637.0 mm,略大于马占相思林的蒸散力,这是由于林内阴闭,气温较低,风速微弱所致。图 3 反映了林地的蒸散力与林外自由水面蒸发量的月变化规律,与近地面层的气温变化规律相似,也就是说近地面层的气温变化对它们的影响较为显著。

3.6 马占相思林重建过程中对蒸散与径流的调节

森林生态系统的蒸散耗水问题成为多学科关注的焦点,在植被恢复与重建过程中,利用蒸散耗水的信息可解决区域水资源管理及供需平衡等问题(Schiller & Cohen, 1995; Loustau & Bergigier, 1996)。马占相思林与草坡蒸散量的差异如表 5,草坡的蒸散系数为 46.2%,随着植被恢复成林以后,森林生态系统的蒸散量呈增加的趋势,到马占相思林的 15 龄群落时,蒸散系数达 58.3%。有关森林蒸散量大于草坡这一结论已得到众多学者的共识,在森林生态系统内,由于林冠的结构复杂,蒸散的层面较多,绿色植物还吸收了较多的太阳辐射促进了系统的蒸散,这就大大加强了森林系统以汽态水分形式扩散到外部大气的过程。

从表 5 的数据还可以看出植被恢复成林以后,地表径流系数减少的趋势明显,到马占相思林 15 龄群落时,地表径流系数仅为 1.6%,远远小于草坡 21.0% 的地表径流系数数值。地表径流量虽然有所减少,但植被恢复后的地下径流量却是增加的,不同年龄马占相思林群落比草坡的地下径流系数大 8%~14%。

3.7 马占相思林对土壤水分的调节

表 6 反映了两地不同土层含水量的季节变化。在 0~20 cm 土层内,马占相思林的土壤水分变化范围在 1.31~3.11 mm cm⁻¹,草坡的变化范围在 0.92~2.89 mm cm⁻¹,最大值均出现在 7 月,较月最大降水量滞后 1 个月,无论是干季还是湿季,林地的含水量较草坡大,这与林地枯枝落叶层的覆盖有密切的关系,当降水降到林地时,枯枝落叶层及良好的土壤结构不仅吸收降水和阻挡地表水流动,而且减缓

表 5 马占相思林重建过程的水量平衡变化

Table 5 Development of water balance in restoration process for *Acacia mangium* plantation land

项目 Item	草坡 Grassland	11 龄群落 11-year community	12 龄群落 12-year community	13 龄群落 13-year community	14 龄群落 14-year community	15 龄群落 15-year community
降水量 Precipitation (mm)	1841.6	1841.6	1751.4	1795.0	1882.7	1793.5
蒸散量 Evapotranspiration (mm)	851.6	935.5	986.7	1025.1	1070.3	1046.0
蒸散系数 (%) Evapotranspiration coefficient	46.2	50.8	56.3	57.1	56.8	58.3
地表径流量 (mm) Surface flow	386.7	51.6	40.3	41.3	33.9	28.7
地表径流系数 (%) Surface flow rate	21.0	2.8	2.3	2.3	1.8	1.6
地下径流量 (mm) Groundwater flow	603.3	854.5	724.4	728.6	778.5	718.8
地下径流系数 (%) Groundwater flow rate	32.8	46.4	41.4	40.6	41.4	40.1

表 6 马占相思林与草坡的土壤水分月变化 (mm cm^{-1})Table 6 Monthly changes of soil moisture for *Acacia mangium* plantation land and grassland (mm cm^{-1})

土深 (cm) Depth	地点 Sites	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.
0 ~ 20	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	1.46	1.31	2.95	2.51	2.97	3.06	3.11	3.03	2.01	2.35	2.28	2.03
	草坡 Grassland	1.38	0.92	1.75	1.78	2.01	2.34	2.89	2.18	1.69	2.04	1.64	1.08
20 ~ 40	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	2.68	2.65	2.90	3.24	3.16	3.25	3.37	3.56	3.11	3.23	2.92	3.01
	草坡 Grassland	2.36	2.43	1.83	3.27	3.43	3.72	3.88	3.69	3.37	3.48	2.90	2.88
40 ~ 60	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	2.47	2.47	3.05	2.59	2.71	2.78	2.89	2.89	2.80	2.84	2.70	2.60
	草坡 Grassland	2.09	2.07	1.54	2.11	2.45	2.81	2.93	2.98	2.72	2.67	2.65	2.47
60 ~ 80	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	2.14	2.15	2.18	2.14	2.28	2.44	2.43	2.64	2.54	2.47	2.30	2.36
	草坡 Grassland	1.89	1.93	1.50	1.88	2.03	2.56	2.62	2.58	2.43	2.39	2.36	2.26
80 ~ 100	马占相思林 <i>A. mangium</i> forest	2.07	2.00	1.90	2.11	2.43	2.77	2.81	2.73	2.56	2.39	2.43	2.28
	草坡 Grassland	1.91	1.90	1.33	1.58	1.89	2.14	2.27	2.33	2.25	2.37	2.19	2.07

了地表径流速度,使相当多的地表水通过渗漏到达该土层内。在 20 ~ 40 cm 土层内,两地的土壤水分的季节变化幅度不及 0 ~ 20 cm 土层明显,即使是干季,土壤含水量也较为丰富,草坡的土壤水分在该层的最大和最小值分别出现在 7 月和 1 月,而林地则出现在 8 月和 2 月,该土层内,林地的土壤含水量在干季时高于而在湿季时又低于草坡的含水量,显示植被对土壤水分的调节功能,提高了土壤水分的有效性。在 40 ~ 60 cm 土层内,两者的最大和最小值

均出现在 8 月和 2 月,但草坡的土壤含水量仅在降水量丰富的 6 ~ 8 月高于林地的土壤含水量。在 60 ~ 80 cm 土层内,只有 6 月和 7 月时,草坡的土壤含水量高于林地,可见,植被对土壤水分的调节功能随着土层的增加而降低。在 80 ~ 100 cm 土层内,土壤水分受气象条件和植被状况影响减弱,两地的含水量差异主要取决于土壤的理化性状,在此层内,马占相思林的各个月的土壤含水量均大于草坡的,这一点与 0 ~ 20 cm 土层相似,而且两者的最大值和最小

值出现的月份相同,即 8 月和 3 月。

图 4 反映了两地土壤水分随土深的变化情况,在 0~20 cm 土层内,马占相思林土壤水分明显高于草坡,这是由于草坡的根系较浅,蒸腾所需的水分集中在该土层内,同时,马占相思林近地面层的气温较低、风速小、湿度大,土壤蒸发较草坡小。两者在 20~40 cm 土层内含水量均达到最大,其值也相当接近,从理论上认为,由于森林大量的蒸腾水量是通过根系吸收土壤中的水分,在该层内应出现林地的土壤水分明显小于草坡的现象;事实上,森林的根系在 20~80 cm 的土层内均有较集中的分布,蒸腾用水并没有完全集中在 20~40 cm 土层内,加之林地的土壤理化性状较草坡有较大的改善,渗透性能好,该层的水分得到及时的补充,从而导致两者的值非常接近。在 40~100 cm 土层内,土壤水分的变化幅度都有所减小,林地的土壤水分较草坡均有不同程度的偏大,这主要是由于草坡该层土壤内没有植物根系的穿透作用,土壤水分输导较慢的缘故。从各土层水分年平均值可以看出,植被恢复成林后,土壤水分有较明显的增加,说明森林的存在提高了系统贮存水分的能力。

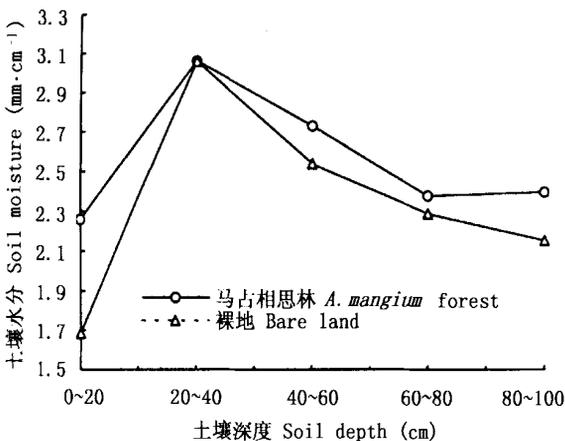


图 4 马占相思林与草坡不同土层的水分状况

Fig. 4 Changes of soil moisture with depth for *Acacia mangium* plantation land and grassland

4 结论与讨论

鹤山退化草坡是该区生态平衡受到严重破坏的结果和资源枯竭的可见标志,系统生物多样性不够丰富,群落生物量小,生态效益极低,通过引种(包括马占相思林)和采用适当的技术措施人工植被恢复获得成功,是南亚热带地区恢复和重建退化生态系统最重要的举措。

7 龄后的马占相思林分反射率明显小于裸地与

草坡,为该系统提高生产力和生物量累积提供了前提条件。反射率的大小是系统产生能流差异的根本原因之一,也是系统产生功能和过程差异的基础。植被的恢复过程改变了反射率及引起相关变化的辐射能分配格局,进而改善了能量的功能过程,使能量进入系统得以运动和转化,维持生态系统的存在和发育。

马占相思生态系统对立地气温、地温的调节集中表现在缩小其变化振幅,使得林地的气温、地温变化有其自身的规律,倾向于有益于生态系统发育方面的变化,体现在二者日振幅、月振幅和年振幅的差异上。

大气相对湿度对生态系统恢复中的功能研究报道并不多见。而对于鹤山地区,10~12 月林地内较高的大气相对湿度抑制了土壤水分的蒸发,使系统摆脱了干旱的威胁,对植被的恢复和系统的健康发育起到了重要作用。植被恢复成林以后,由于林冠的盖幕作用,使林内的地温在 10~12 月间较低(表 4),加之林内的风速小,乱流交换作用弱,水汽不易散失,较好地保存了林内的水分,缓和了系统在干季时的水热供需矛盾。

干季时,林内蒸散力明显小于林外自由水面的蒸发;湿季时,林内蒸散力又接近甚至大于林外自由水面的蒸发。这一规律在地带性群落季常绿阔叶林中有所体现(闫俊华等,2001)。生态系统恢复过程中,各个要素往往以一种新的平衡态去取代原有的平衡态,通过系统对水、热、养分等各因子的控制和调节,达到系统自我维持的状态。干季时,由于水分的输入减少,植被通过调节环境因子来降低蒸散力,从而达到自我保护的目的,出现了林内蒸散力明显小于林外自由水面蒸发的现象。此时林地内的大气相对湿度明显高于裸地(图 2),而蒸散力又明显低于裸地的自由水面蒸发,这是生态系统自组织协调功能表现的方面。

植被恢复过程中,系统的蒸散量呈增加趋势,总径流呈减小趋势,但减小的是雨季可能造成灾害的地表径流量,产水量的主体地下径流量仍然是增加的,林地的土壤水分较草坡地有所增加,变化幅度也较草坡地小,以上说明森林植被对系统水分的调节是明显的,森林与总径流量关系问题目前基本有 3 种不同的观点:森林减少年总径流量,这是主流的看法;森林对年径流量的影响不大,这主要是在匈牙利西部的试验结果;森林增加年径流量,这主要是前苏联的试验结果。表 5 的数据显然支持第一种观点,

但这并不能说明其对水资源不利,因为森林减少的径流量实际上是雨期地表径流,这部分水是人类难于利用的,反而可能造成灾害。伴随着水资源问题的出现,系统液态水输出量的大小日益受到重视,森林植被因较大的蒸散量导致了总径流量的减少,出现了森林恢复与水资源利用矛盾性的一面,但是由于构成系统产水量的主体是地下径流,森林的存在可以调节水分,通过降低雨期的地表径流为增加非雨期的地下径流量提供了可能性,因此,它们之间又是统一的。

在南亚热带该地区,土地被植被覆盖以后,林地土壤的蓄水、保水能力增强,干、湿季土壤水分变化幅度有所减小,不同土层间的土壤水分差异也呈减小的趋势,使系统水分循环状况大大改善,有利于土壤朝着良性方向恢复发展,这一过程反过来又能促进植物生长,从而加快了退化生态系统的恢复。

参 考 文 献

- Li, Z. A. (李志安), M. M. Ding (丁明懋), W. Fang (方炜), H. Weng (翁轰) & X. A. Cai (蔡锡安). 1995. The nutrient storage and distribution in artificial *Acacia mangium* forest. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15** (Supp. A): 103 ~ 114. (in Chinese)
- Loustau, D. & P. Bergigier. 1996. Transpiration of a 64-year-old maritime pine. *Oecologia*, **107**: 33 ~ 42.
- Ren, H. (任海), S. L. Peng (彭少麟), Z. Y. Yu (余作岳) & X. A. Cai (蔡锡安). 1995. The canopy structure and canopy radiation for *Acacia mangium* communities in different ages. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15** (Supp. A): 58 ~ 63. (in Chinese)
- Schiller, G. & Y. Cohen. 1995. Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, **74**: 181 ~ 193.
- Shen, W. J. (申卫军), S. L. Peng (彭少麟), G. Y. Zhou (周国逸), Y. B. Lin (林永标) & H. Ren (任海). 2000. Hydrological properties and water balance of grassland ecosystem in Heshan hill region. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 162 ~ 168. (in Chinese)
- Yan, J. H. (闫俊华), G. Y. Zhou (周国逸) & Q. Wei (韦琴). 2000. Environment of microclimate of monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), **18**: 397 ~ 404. (in Chinese)
- Yan, J. H. (闫俊华), G. Y. Zhou (周国逸) & Z. Meng (孟泽). 1999. How to calculate the parameters in the formulas of forest ecosystem potential evapotranspiration and evapotranspiration. Development of Research Network for Natural Resources, Environment and Ecology (资源生态环境网络研究动态), **10** (3): 17 ~ 20. (in Chinese)
- Yan, J. H. (闫俊华), G. Y. Zhou (周国逸) & Z. L. Huang (黄忠良). 2001. Evapotranspiration of the monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **37** (1): 37 ~ 45. (in Chinese)
- Zhang, W. Q. (张文其), S. L. Peng (彭少麟), H. Ren (任海) & Z. W. Yuan (袁振武). 1995. The allocation of the biomass and energy in *Acacia mangium* forest. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15** (Supp. A): 44 ~ 48. (in Chinese)
- Zhou, G. S. (周广胜) & X. S. Zhang (张新时). 1996. Feedback of vegetation on climate. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **38**: 1 ~ 7. (in Chinese)
- Zhou, G. Y. (周国逸) & J. H. Yan (闫俊华). 2001. The influences of precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**: 2002 ~ 2012. (in Chinese)
- Zhou, G. Y. (周国逸) & J. H. Yan (闫俊华). 2000. Theories and practice of compensation for ecological forests. Beijing: China Meteorology Press. (in Chinese)
- Zhou, G. Y. (周国逸), S. L. Peng (彭少麟) & Z. Y. Yu (余作岳). 1995. Approach on hydrological process of *Acacia mangium* plantation. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15** (Supp. A): 211 ~ 216. (in Chinese)
- Zhou, G. Y. (周国逸). 1997. Principles and applications of water and heat in ecosystem. Beijing: China Meteorology Press. (in Chinese)

责任编辑: 刘世荣 责任编辑: 张丽赫