

目 录

页 次

序 言	
前 言	
第 一 章 干旱地带	
B. Ben Salem M.C. Baumer	(1)
第 二 章 林业在控制沙漠化中的作用	
B. Ben Salem M.C. Baumer	(7)
第 三 章 活动沙丘的动态分类	
M. Mainguet	(12)
第 四 章 沙漠沙丘地貌学	
Bimal Ghose	(19)
第 五 章 沙丘及其伴生土壤的特征与特性	
R.P. Dhir	(30)
第 六 章 沙漠沙丘造林中的土壤—水—植物关系	
A.N. Lahiri	(37)
第 七 章 沙丘固定和植树造林:	
沙丘固定的传统方法——风障法	
R.N. Kaul	(46)
第 八 章 沙丘固定的覆盖技术:保护层法	
B. Ben Salem	(49)
第 九 章 沙丘上的植树造林	
R.N. Kaul	(52)
第 十 章 沙丘林业生产	
O.N. Kaul	(60)
第 十 一 章 有林沙丘的管理	
S.S. Dalal	(68)
第 十 二 章 防风林带的空气动力学	
Martin Jensen	(72)
第 十 三 章 风蚀及其控制	
H.S. Mann	(86)
第 十 四 章 防护林带的管理与更新	
B. Ben Salem	(92)
第 十 五 章 防护作用的研究和丹麦农业防风经验	
Frøde Olesen	(95)

第十六章	营造海岸防风林带	
	——特别提及安得拉邦	
	K. p. Muniswami	(101)
第十七章	沙丘固定、防护林带和造林项目的制约因素	
	C. M. Mathur	(103)
第十八章	林牧兼作制的新旧概念	
	R. C. Ghosh	(106)
第十九章	印度林牧兼作制经济学	
	Tirath Gupta	(111)
第二十章	干旱和半干旱地带的农林兼作制	
	T. Eren	(119)
第二十一章	社会在项目执行中的作用	
	S. P. Malhotra	(124)
第二十二章	印度干旱、半干旱地带的木材、粮食和饲料树种	
	S. B. Palit	(130)
第二十三章	印度干旱地带重要的乡土和外来的乔灌木种及其利用	
	K. D. Muthana	(135)
第二十四章	干旱地带造林中的生物因素	
	Ishwar Prakash	(138)
第二十五章	干旱地带/土地地表水开发	
	D. C. Dass	(146)
第二十六章	试验设计和数据收集	
	Daroga Singh	(159)

插图一览表

第三章 (Mainguet)

1. 侵蚀性抛物线形沙丘的形成

第五章 (Dhir)

1. 沙质土壤的田间含水量

第十二章 (Jensen)

1. 风的速度廓线

2. 与风向成直角的直线风障

3. 疏透度为48%的风障后的防护作用

4. 防护作用与孔隙百分比和离开风障的距离之间的关系

5. 防护作用的测量

第一章 干旱地带

M. C. Baumer^①

B. Ben Salem^②

引言

就地形、土壤、动物区系、植物区系、水系和人类活动而言，干旱地带的形式多种多样。正是由于这种多样性，不可能为干旱地带确定一个实用的定义。然而，干旱是一切沙漠地区固有的特点，欲知什么是干旱地区，首先必须搞清什么是干旱气候。

干旱地区的气候分类中曾经采用了各种指数，其中只有少数几种运用了生物学观点。几乎所有指标都以温度和降水量为基础。本文将只对那些以干旱气候问题为重点的指标进行讨论。

1 干热指数

粮农组织/联合国教科文组织（1963）为地中海地区编写的气候分类中，根据最冷月份的月平均温度（t）选定了三种不同的气候类型：

①温暖、暖温带及温带气候， $t > 0^{\circ}\text{C}$ ；

②寒冷、寒温带气候， $t < 0^{\circ}\text{C}$ ；

③冰川气候，平均温度低于 0°C 。

为了进一步改进这种分类方法，又确定了一种干热指数。这种指数表示干旱程度，包括降水量、降雨的天数、大气湿度、雾及露等情况、干旱月份的月指数根据下面的公式进行计算：

$$x_m = M - (DR + DM) \cdot xh$$

其中：M = 该月的天数

DR = 降雨天数

DM = 降露、降雾的天数

h = 大气湿度值

计算DM和h的值时，使用下列换算值：

雾露天算作半个旱日；

大气湿度（H）的换算值如下：

当 $40 < H < 60$ 时， $1H = 9/10$ 个旱日；

当 $60 < H < 80$ 时， $1H = 8/10$ 个旱日；

当 $80 < H < 90$ 时， $1H = 7/10$ 个旱日；

当 $90 < H < 100$ 时， $1H = 6/10$ 个旱日。

干旱季节的干热指数（X）等于算出的干旱月份月指数的总和。干热指数说明了这些干

①M. C. Baumer, 粮农组织顾问。

②B. Ben Salem, 粮农组织干旱地带林业办公室官员, 罗马。

旱月份中,从生物学角度来讲,出现的旱日数。

根据干热指数值,上面讲到的第一种类型的气候(温暖、暖温带及温带气候),又可分成下面三种:

—真沙漠:不是每年都降雨(一般来讲,当 $x > 355$ 时);

—沙漠: $x > 300$,一年中绝大部分时间是旱季;

—干热准沙漠: $200 < x < 300$ (旱期为9—10个月)。

2 降水量指数

Le Houérou (1973) 利用年平均降水量对撒哈拉及其周围地区的干旱土地进行了如下的分类:

气候带	年平均降水量(毫米)	地理区域
沙漠带	$< 100\text{mm}$	撒哈拉南部与北部,中东沙漠
干旱地带	$100 - 400\text{mm}$	北非的地中海干旱草原,撒哈拉以南的萨赫勒地区
半干旱地带	$400 - 600\text{mm}$	地中海半干旱苏丹—萨赫勒地带

3 De Martonne干旱指数

De Martonne以下面的指数(I)来区划不同的植被区:

$$I = \frac{\text{年降水量(毫米)}}{\text{年平均温度(}^{\circ}\text{C)} + 10}$$

指数低于5时表示从植物学和水文地理学角度讲的真沙漠,指数达10左右时为干旱草原,指数达20—30时为高草原,高于30时为荒漠植被。

4 Thornthwaite湿度指数

Thornthwaite建议用下面的公式计算湿度指数(I_m):

$$I_m = \frac{S - d}{PE} \times 100$$

其中S = 雨季月份月降雨量减去潜在蒸散量和土壤的蓄水量;

d = 干旱月份潜在蒸散量减去降雨量和土壤有效含水量;

PE = 潜在蒸散量。

然后根据下面公式计算出干旱指数:

$$M_m = \frac{100S - 60d}{n}$$

其中: S = 湿度剩余

d = 湿度亏缺

n = 湿度需要

当指数为零时,降水量刚好足够提供该年中最大蒸发蒸腾的需水量;当指数为-20至-40时,即为半干旱气候;当指数达-40至-57时,称为干旱气候,低于-57时称作极干旱气候。

1979年,联合国教科文组织出版了一幅新的干旱地带图。该图是以 $\frac{P}{E_{tp}}$ 这个关系式为基

础绘制的(公式中 P = 降雨量, E_{tp} = 潜在的蒸散量)。由于生物气候性干旱程度取决于水量输入和输出的相互关系, 因而, 上式比 $P - E_{tp}$ 式在使用上更为方便。 $P - E_{tp}$ 只是说明了可以得到的水量, 并不反映干旱程度。例如, $P - E_{tp} = 400$ 时, 可能是 $P = 1000$, $E_{tp} = 600$, 也可能是 $P = 600$, $E_{tp} = 200$ 。

$\frac{P}{E_{tp}}$ 很好地说明了干旱的程度, 因为对潜在失水量与降雨量之比相同的所有气候, 它都用同一值来表示。因此, 指标数值越小, 表示干旱程度越严重。在季节分明的地区, 这个指数与 $\frac{E_{tr}}{E_{tm}}$ 的比值在很大程度上是相符的, 其中 E_{tr} 是土壤—植物系统的实际蒸发量, E_{tm} 是在不受含水量影响的实际蒸发量。这个比值对干物质产量有直接影响, 在季节分明的地区, 一方面雨量和 E_{tr} 的差别不大, 另一方面, E_{tp} 和 E_{tm} 的差别也不大, E_{tm} 是 E_{tp} 的极限。

5 干旱系数

干旱系数是(Budyko, 1958年)根据地表水热的平衡方程式得出的。其方程式为:

$$D = R/LP$$

其中: D = 干旱系数

R = 净辐射年平均值

P = 年平均降水量

L = 水分蒸发潜热

根据干旱系数数值的大小, 建议把干旱地区作如下分类:

沙漠 > 3.4

半荒漠 $2.3 - 3.4$

干旱草原或热带稀树草原 $1.1 - 2.3$

当然, 正如Hare (1979年) 指出的那样, 各指标之间有一定的互换关系, 并且可以绘制对应图表。但是, 重要的是用词要有精确而具体的定义; 当使用生态学术语时, 如“沙漠”或“半干旱地带”等, 应保持其生态学定义。这些定义明确出现在联合国教科文组织论述该主题的最近一期出版物(1979年)中, 现总结如下:

根据这些作者的观点, 干旱地区包括超干旱(或沙漠)、干旱、半干旱和半湿润等四类地区, 或者只分成前三类。

前三类也通常被多数作者称作广义的“干旱地带”。在联合国教科文组织沙漠图上(1979年)所示的沙漠比较少, 其分布情况如下:

欧亚大陆: 塔克拉玛干沙漠、内夫得沙漠、鲁卜哈利沙漠、撒哈拉沙漠从沙特阿拉伯西北海岸至以色列死海之间的延伸部分、伊朗的卢特荒漠。

北美洲: 死谷、英皮里尔山谷。

南美洲: 阿塔夫马沙漠。

非洲: 撒哈拉、达纳基尔、纳米布、索马里北部海岸。

澳大利亚: 无。

表1 干旱地区的定义

气候类型	$\frac{P}{E_{Tp}}$ 值	植 被	降水量(P)年变化情况	降水量(毫米)	开发方式
超干旱	0.03	无永久植被或只有很少的稀疏灌木; 有雨或露时为短生的, 生长周期短。绿洲有永久水源。	高达100%	零或很小, 特别无规律, 有时几年长期无雨。	绿洲耕作, 以人畜为主的交通工具的荒漠开发方式。
干旱	0.03—0.20	沿水渠两旁, 有带刺或肉质植物。干草原, 半干草原和亚干草原。	50—100%	从80—150到200—350, 放牧, 除了有些湿润地(气温度小, 降水量变化大)外, 不能种植。	
半干旱	0.20—0.50	半草原、准干草原和亚干草原、低稀树干草原、矮灌木低干草原、多刺灌木低干草原、在夏季雨量大的地方偶有稀树干草原。	25—50%	夏季雨量300—400至雨育耕作产量大致在700—800。冬季雨量200常, 并有少量畜牧业—250至450—500。	
半湿润	0.50—0.75	稀树干草原或森林干草原。河岸森林。地中海气候下的马基和灌木群落; 黑土草原。	小于25%	雨量充沛, 通常有6个月以上的湿润期(月雨量大于30毫米)。	雨育耕作和经济作物种植, 产量正常。

这些沙漠地区相当于 $\frac{P}{E_{Tp}}$ 值小于0.03的地区; 因此, 上述三类地区不是沙漠地区, 虽然在普遍但不准确的用语中把它们称为沙漠: 例如, 许多澳大利亚“沙漠”及塔尔“沙漠”等。

6 干旱地带的特性

广义的干旱地带的一般特性是:

(a) 降雨量 不足—变化大—无规律 (例如, 澳大利亚阿里汤加三月份的平均降雨量为52毫米, 但1910年三月的降雨量为340毫米, 1911年三月的降雨量为5毫米)。强度—持续时间。植物生长发育时间的重要性 (撒哈拉以北冬季下雨, 撒哈拉以南夏季有雨)。

(b) 其他水源 相对来说, 露十分重要 (苏丹西北部的“gizzu”)。灌溉。

(c) 温 度 太阳入照辐射能大, 昼夜和季节温度变化普遍很大。离开赤道, 温度的年变化幅度逐渐大于昼夜温度变化的幅度。年变化幅度随着深入大陆而增大, 最大差距可达95℃; 不仅有热干旱地带, 还有冷干旱地带。

(d) 风 强, 频繁, 往往是有规律的 (有风能潜在)。风蚀。风沙。

(e) 土 壤 种类变化大。沙质土多, 有时很少或没有风化。许多石质土: “石漠”。风蚀土, “风蚀”浮土, 盐渍土。石灰结壳。

7 干旱土地的分布情况

下表 (F. Durand—Dastes, 1968) 说明了干旱土地的分布情况:

表2 干旱土地分布情况

大 陆	总 面 积 (平方公里)	半干旱 (平方公里) (A)	%	干 旱 (平方公里) (B)	%	超干旱 (平方公里) (C)	%	总面积 (平方公里) (A + B + C)	%
美 洲	39,917,000	3,943,160	10	2,910,000	7.5	780,700	2	7,633,860	19.5
非 洲	29,797,000	5,546,490	18.5	7,325,560	24.5	4,527,240	15	17,399,280	58
亚 州	42,365,000	6,354,750	15	8,049,350	19	1,270,950	3	15,675,050	37
澳 大 利 亚	7,703,850	2,234,120	29	3,928,960	51	0	0	6,163,080	80
欧 洲	10,032,100	752,500	7.5	200,500	2	0	0	953,000	9.5
合 计	129,814,950	18,741,020	14.5	22,414,370	17	6,578,890	5	47,734,270	36.5
其他陆地面积 (格陵兰) (新西兰)	23,418,050	0	0	0	0	0	0	0	0
陆地总面积	153,233,000	18,831,020	12.2	22,414,370	14.6	6,578,890	4.2	47,734,270	31

参 考 文 献

- Anonymous (Prof. Mohamed Kassas) Désertifica
1979 rd, Pergamon Press, Desertification: Its Causes and Consequences, p. 1-61.
- Aubreville, A. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale.
1949 Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales.
- Bagnouls, F. and Gaussen, H. Les climats biologiques et leur classification.
1957 Annales de géographie, 64 (355): 193-220.
- Emberger, L. Un projet d'une classification des climats au point de vue
1942 phytogéographique. Toulouse Bulletin de la société d'histoire naturelle, 77: 97-124.
- Eoberger, L. Une classification biogéographique des climats. Montpellier,
1955 Recueil travaux des laboratoires de botanique de géologie et de zoologie de l'Université, 7: 3-43.
- Gaussen, H., Legris, P. and Meher-Homji, V. M. Carte internationale du
1972 tapis végétal à 1/1000 000; Rajasthan. Notice explicative. Pondichery, Institut Français; Toulouse, Université Paul Sabatier
- Contille, J. Une critique de la méthode de Thornthwaite pour la classification des climats. Annales de géographie, 331: 180-185.
1983
- Hare, F. Kenneth. Climate and desertification. Oxford, Pergamon
1977 Press, Desertification: Its causes and effects. P. 63-167.
- Lettau, H. Evapotranspiration climatology, 1. A new approach to numerical

- 1969 rical prediction of monthly evapotranspiration, run-off, and soil moisture storage. *Monthly Weather Review*, 97: 691-699.
- Meigs, P. La répartition mondiale des zones climatiques arides et semi arides. Paris, Unesco. *Recherches sur la zone aride*, note
- 1952 *Compte Rendues recherches relatives à l'hydrologie de la zone aride*. P. 208-215. (also in English)
- Penman, H. L. The physical bases of irrigation control. London, Royal Horticultural Society, Report 13th International Horticultural Congress.2: 913-924.
- 1953
- Riquier, J. and Rossetti, C. Considérations méthodologiques sur l'établissement d'une carte des risques de désertification. FAO,
- 1976 Rome, Division des terres et des eaux, rapport d'une consultation technique.
- Thorathwaite, C. W. An Approach Toward a Rational Classification of
- 1948 Climate, *Geographical Review*, 38: 55-94.
- Unesco Carte de la répartition mondiale des régions arides. Notice
- 1979 explicative. Paris, Unesco, Notes techniques du MAB 407, 55 p + 1 map. (also in English)
- Walter, H. and Lieth, H. Klimadiagramm Weltatlas. Jena, G. Fisher Verlag.
- 1960
- Warren, Andrew and Maizels Judith K. Ecological change and desertification. Oxford Pergamon Press. Desertification: Its causes and
- 1979 consequences. P. 169-260.

第二章 林业在控制沙漠化中的作用

M.C. Baumer^①

B. Ben Salem^②

1 沙漠化现象

沙漠化是由生物作用或生物物理作用引起的物理或化学—物理的变化过程，这种生物或生物物理作用减少了植被的覆盖，降低了原始生物繁殖率，结果，环境变得使人类无法利用。

a 风蚀形成了外来和原生砾漠、纯沙沙漠、新月形沙丘和纵形沙丘等

b 水蚀。泥沙淤积于沙土之上，形成结壳。石灰结核和石灰结壳。

c 蒸发，盐化和碱化可能是由下列因素造成：

—土壤质地过分粘重而水分中含盐过多（美索不达米亚）；

—排水不良（尼罗河三角洲）；

—水分不足（马格里布的塞卜卡地区和澳大利亚的干燥剥蚀平原）。

d 无气候变化。

见表1（Landsberg, 1979年，由Ilare于1979年修订）中“变化”的定义。

e 人类在造成沙漠生态系统退化后，调整了能源变换方式，从而有可能造成了最近的干旱气候。然而，这些变化过程的意义和由此引起的气候变化动向尚未明确。

f 气候变动、气候更迭和气候波动是造成沙漠化的因素。

g 对旱地条件的反馈速度：看上去小的干扰所引起的变化会以惊人的速度出现，有时足以使整个生态系统越过临界线，此后，通常不会自然恢复。例如，第2次世界大战Ksar Rhilane战役（1943年2月—3月）的坦克轮辙到1979年时依然可见，*Anthyllus henoniana*和*Gymnocarpus decander*尚未复原。比尔哈克姆、托希鲁克和比尔阿亚德也发生过同样的情况。

h 沙漠化是人类与难以管理的环境相互作用的产物。

2 历史情况

——人们随着对沙漠化的重视，了解也不断加深。

撒哈拉地区成为沙漠至少已有2,500年，不超过5,000年，但即使在下列最老的气象站中也没有关于干旱程度增加的记录：

撒哈拉以北：君士坦丁，1838；阿尔及尔，1843；耶路撒冷，1860。

撒哈拉以南：塞内加尔圣·路易斯，1855；达喀尔，1887。

——统计分析表明，旱季和雨季的顺序是不规则的，这一点通过年轮学和孢粉学得到了证实。

死海和撒哈拉地区其他湖泊的水位2,000年来没有发生变化。

^① M.C. Baumer, 粮农组织顾问。

^② B. Ben Salem, 粮农组织干旱地带林业办公室官员，罗马。

表 1 本文中描述气候变迁不同起因及周期的术语
根据landberg (1976年) 改编

术 语	周期 (年)	已知或可能的起因
气候回旋	10^6	—大地构造活动 (大陆漂移, 造山运动, 大规模水陆分布变化)。或太阳变化。
气候改变	10^4-10^6	—太阳辐射变化: 非周期性或周期性 (周期 $\geq 10^4$ 年)。 —由轨道因素 (轨道偏心率、黄道倾角和进动) 的长期变化引起的大气层外太阳辐射变化。
气候变动	10^1-10^4	—其他周期超过10年的一切自然气候变迁; 非周期的: 火山活动; 准周期的: 太阳辐射变化 (太阳黑子韵律); 磁偏角周期。 —慢速深洋流。 —陆地反馈机制。
气候更迭	10	—周期很短的准周期自然变迁; 准二年期震动 (2-3年), 陆地-大气/海洋相互作用。
气候波动	?-10	—人为因素: 影响范围分为全球、区域/次大陆或地方; 全球规模: 大气中CO ₂ 浓度增加; 区域规模: 电力生产、工业化、城市化及植被清除; 地方规模: 城市化、农业 (清耕、耕种、排水、灌溉)、放牧、蓄水、造林、荒山造林。

——目前撒哈拉处于早期中:

的黎波里: $\frac{1957-1971\text{年降水量}}{1892-1971\text{年降水量}} = 0.77$

阿加德兹: 连续4年 (1969, 1970, 1971, 1972) 降水量小于100毫米, 出现这种情况的统计概率为1/2400。

萨赫勒目前的旱灾实际上是从1954—1955年开始的, 其危害比1910—1915年的旱灾更为严重, 因为人类的压力比1910年时更大, 而且1945—1954年期间雨水又非常多。因此, 牧民增加了牲畜头数, 农民向超干旱地带扩展了耕种面积。

——过牧有时是耕作过度的结果。

——耕作过度作为沙漠化的起因往往被低估。现以科尔凡多 (苏丹) 为例:

年 度	花 生			芝 麻		
	耕种面积	产量(10 ³ 吨)	产量/弗丹 ¹	耕种面积	产量(10 ³ 吨)	产量/弗丹 ¹
	A	B	C	A	B	C
1960—61	184	73	0.400	112	38	0.384
1963—64	200	58	0.290	299	30	0.106
1966—67	241	45	0.216	382	31	0.083
1969—70	300	69	0.232	450	43	0.096
1972—73	810	73	0.090	778	14	0.030

弗丹是一种面积单位, 等于1.038英亩 (译注)。

毁伐木本植物以作薪材是沙漠化的原因之一。每人每天需要1—3公斤薪材,据此,五口之家大约需要1公顷土地1年的产量。因此,满足易沙漠化地区 8×10^7 名左右的居民的薪材需求,就必须有 16×10^6 公顷的薪材产量。

3 沙漠化不可逆转吗?

生长有其限度;有必要制控生物压力。

欲扭转沙漠化趋势,必须先极大地改变人们的心理,并认识:

- 生活方式和文化的多样性;
- 以不同的方式计算的经济效益;
- 以有关人口所判断的效用;
- 相互关系;
- 复杂性。

4 林业对开发沙化地的贡献

林木和多年生植被在这种开发中可以发挥明确而积极的作用,其意义在于这种植被:

- (1) 能稳固土壤,以防水蚀风蚀,从而有利于增加粮食生产。
- (2) 是牲畜和野生动物饲草的重要来源,尤其在青饲料缺乏的关键时期;
- (3) 是人类粮食的一种来源;
- (4) 是薪材、木炭、杆材和木材的来源;
- (5) 有利于严重干旱条件下的环境改良。

4.1 对粮食生产的贡献

缺水、土壤性质不稳和脆弱以及不利的气候条件是提高干旱土地生产率的主要自然障碍。目前,林业在克服这些自然障碍中的贡献,尤其是树木和森林在改善小气候和保持粮食生产所依靠的水土资源方面的作用,已经得到了更好地理解 and 广泛的认识。

即使进行大量的研究和投资,在近期内仍不可能人为地使干旱地区的气候发生重大变化。然而,可以采用较为简单的、费用较少的方法来利用树木和植被,改善小气候,从而增加作物和畜牧产量。

例如,通过正确规划和建立风障和防护林带,农作物产量可以提高10%—200%,增产幅度取决于气候条件和作物的防护要求。防护林带的效用随着自然生长条件的恶化而更加明显。美国、中国和苏联在干旱气候条件下进行的研究表明,通过建立防护林带和风障,谷物产量可以提高15%—50%。水果生产在防护林带的保护下可增加25%—35%,而且质量得到改进。饲草产量和质量也都有提高。在过度炎热的环境下,防护林带可以同样提高牲畜产量;研究结果表明,幼畜成活率及其生长率都有上升。

1966年至1971年在Ander Douthi(尼日利亚)进行的实验表明,沿等高线筑小石墙把土地分成小块或沿浅犁线排状种植一种须芒草属植物(*Andropogon gayanus*),可使产量大幅度提高(棉花增产97%—192%,花生增产60%—80%)。此外,下雨时和雨后土壤得到很好地保持。这个事例说明,无须进行规模大和投资大的项目,农业村社亦可迅速取得适当而有效的成果。

某些树种和农作物有系统地间种能提高土壤肥力和增加作物产量。最佳的例子是种白金合欢树(*Acacia albidia*),该树种的生长周期与一般作物相反,具有三个显著优点:第一,

由于白金合欢树雨季落叶，给土壤提供了大量有机质。实际上，白金合欢树使有机质成倍增加，土深120厘米处仍然可见。第二，作物生长季节该树不遮阳光，种于树下的作物能够正常生长。旱季中，树叶又使土壤免遭风吹日晒。最后，在一年中牧草资源干枯和营养成分低时，该树的荚果和叶子又提供了绝好的牲畜饲料。

今天，许多国家在多种所谓的农林兼作制中更加广泛地利用了各种树木，以便通过粮食作物与多年生植物间种而提高粮食产量。在当地的轮垦经验的基础上，发展新型农林兼作制，利用树木保护土壤和粮食作物免遭强风暴晒，并提供枯枝落叶以提高土壤肥力，在这方面取得了相当大的进展。苏丹种植阿拉伯胶树就是建立这种制度的一个实例。除了恢复土壤肥力和防止风蚀外，苏丹胶树（*Acacia senegal*）能在休闲期中生长，不仅提供薪材、筑栅栏材料和饲料，而且产出阿拉伯树胶，增加大量收入。

4.2 对畜牧业的贡献

林业最显著的作用大概是通过提供牲畜饲料对农业经济作出的贡献，旱季缺乏草地植被时，尤其如此。研究和经验表明，旱季木本植物提供的蛋白质是牲畜饲料的重要成分。而且，由于在大多数干旱地区旱灾是一种反复现象，树木和灌丛成了牲畜的“应急饲料储备库”，意义更加重大，因为木本植被比一年生植物更能渡过延续旱灾。这方面，白金合欢树（*Acacia albida*）因其对牲畜饲料的贡献，是各树种中特别值得注意的。每公顷60棵树约产出400-600公斤左右的可食用荚果。

4.3 对乡村能源的贡献

薪材和木炭是目前所有非洲干旱国家乡村的主要烹调燃料。木质燃料占非洲大陆能耗总量的58%。最近在巴马科城进行的木质燃料消费量调查表明，木质燃料占家用热能总需要量的95%以上。对薪材的严重依赖，加之木材供应的地方特点，使森林覆盖和其他木本植被受到越来越大的压力。

特别是在人口稠密的农区和中心城市周围，成千上万公顷的原稀树干草原因过度砍伐和刨根用作薪材，树木濒临绝迹。严重的薪材供应问题正继续恶化，尤其是在大的人口密集地区，不断扩大的城市周围木材资源已被耗尽。对薪材和木炭的需要使许多地方的林地面积越来越小。更糟的是，无林地区的面积正在以惊人的速度扩大。萨赫勒的一个大城市中，不久前还没有一个人到50公里外采运薪材，而现在到100公里外去砍伐薪材已经非常普遍。薪材短缺不断严重，影响了城乡人口中大多数最贫困的人。有些地方，人们得花去收入的25%购买燃料。人们常说，“燃料比食品还贵”。

薪材问题需要从两方面来着手处理：提高木材的热能转换率和更加合理地管理木材资源。用慢燃明火烹调所需能源约是用煤油炉的五倍之多。简单地改进炉灶设计，就能大幅度减少这种损失。第二个减轻薪材短缺的措施是保护和管理现有自然木本植被，并且，只要有可能，与粮食和作物生产相结合，在农场内、道路两旁、防护林带和风口种植更多的树。例如，在与非洲沙漠相似的沙漠地区进行的初步研究表明，一公里种植两排*Conocarpus* 树的防护林带每20年能提供350立方米薪材，现价值1,050美元。

4.4 对环境改良的贡献

在严重干旱的情况下，树木和森林植被发挥着重要的改良作用。植被覆盖地区的反射率比沙漠和草地小。撒哈拉地区最近的一次实验中，两组只有规定地面反射率不同的全球大气环

流模式比较表明,因植物覆盖减少引起的反射率增加导致降水量的减少,并有可能引起或延续旱灾。因此,森林植被在小气候改良中明显发挥着重要的作用。特别重要的是树木通过提供遮阴对人类环境产生的直接影响;尤其是在这些干热地带。所以,许多国家对路边植树和在城市周围建立绿化带和公园给予了重视。

5 结论

上述回顾表明,在干旱土地的开发利用中林业可以发挥重大作用。林业对这种开发的贡献既有直接的(提供木材、饲料和薪材),又有间接的(防止土壤侵蚀、径流和改良小气候)。在已经发展了适当技术的地方看来存在着一些技术知识方面的空白。例如,似有必要进行更多的研究,选定最适宜在干旱、半干旱条件下防止土壤侵蚀、沙丘造林、建造防护林带、生产薪材和饲料的树种。而且,对适合干旱条件的森林作业法了解甚少。因为林业不应只被看作是“利用剩余土地”,所以,需要研究和执行在乡村综合发展林业的各种形式。不仅如此,如果要使林业在乡村发展中发挥重要作用,必须发动群众参与。因此,林业工作者首先想到的应是林业对发展的作用,这种作用表现在提供薪材和木炭等能源,有助于提高作物和畜牧产量,尤其是通过农林合一的全面规划在乡村发展控制沙漠化中发挥重大作用。

参 考 文 献

- Anonymous, Desertification: an Overview. *In* Desertification: its causes and consequences; 1-62. Oxford, Pergamon Press.
1979
Harc, F. Kenneth. Climate and Desertification. *In* Desertification: its causes and consequences; 63-167. Oxford, Pergamon Press.
1979
Landsberg, H. E. Man-made Climate Changes. *In* World Meteorological Organisation: Physical and Dynamic Climatology; 262-303.
1974
Geneva (Switzerland), WMO Publication No. 347.

第三章 活动沙丘的分类动态

M. Mainguet^①

1 引言

活动沙丘传统分类的论述很多,但是,现代研究技术(航空照片和卫星图象等)使之能够从活动沙丘的集体构成角度来理解它们的动态特性。鉴于沙漠化(尤其是萨赫勒地区的沙漠化)的实际过程和扩大沙丘固定活动的必要性。提出了一个以力学标准为基础的新分类法。新分类法的目的是帮助从事抗沙化活动的人们理解不同地形和风场条件下沙丘的发生及其演变,从而能够制定更有效的保护措施。

2 沙丘的一般特性

2.1 活动沙丘——固定沙丘

活动沙丘是由风积沙粒构成的一种堆积形态:“活动沙丘”这个术语包括风积物的各种形体(不论其颗粒大小和矿物性质)。当发生下列作用过程后,“活动沙丘”就不再具有其基本特性:

(1)成土作用:氧化铁引起的固化或硬化,或石膏、碳酸盐、铁、可能还有二氧化硅引起的壳化。

(2)固定:由颗粒较大的沙形成覆盖层,这些沙的颗粒大于信风搬积的沙粒(这些结构叫做固定沙丘)。

(3)覆盖:由不同密度和性质的植被覆盖;这些沙丘称为覆盖沙丘。

活动沙丘可分成三类,包括多种形态。这三类沙丘与三种主要风力情况相符:

——新月形沙丘出现在有一盛行风向的干旱环境中;

——线形沙丘出现在有二个风向或由不规则地形分割的盛行风向的干旱环境中;

——金字塔形沙丘出现在无盛行向的干旱环境中。

2.2 沙丘结构

可分成下列复杂程度递增的三种结构(T. Grow和S. Breed, 1979):

(1)简单(或初级)结构:最简单的形体,也叫“初级单位”;

(2)复合结构:由相似的初级单位如简单形体构成的沙丘,但集合的沙丘数量较多,规模不等;

(3)复杂结构:这是不同形态的沙丘并置或重叠形成的一种组合体。这种结构包括不同规模的单位,有时可形成主从结构。

2.3 风、环流和风运概念

风

温度导致空气密度差,由此产生的密度梯度引起空气流动,形成风。

旋风(涡旋)

空气绕某一轴旋转,这个轴心线与地面的夹角可以从水平到垂直的各种倾角。旋风的

^① M. Mainguet: 法国兰斯大学教授。

起始风速要乘5。

有效风

风速足以对土壤表面产生明显作用即风蚀或颗粒搬运或侵蚀(土脊、蚀沟和走廊形……)的风。

3 风力搬运类型

3.1 悬移搬运

气流团能带着尘粒流动,只要尘粒很小以致因重力引起的落体速度很慢和气流速度足以使尘粒悬浮在气团中。粘质土粒因其粘性绝少被风卷起。但一旦被风卷起,粘土颗粒常升上大气高空(达几千米),形成尘暴。壤土和粉砂颗粒比粘土颗粒更易被风吹起,其速度比砂粒的快。

3.2 跃移搬运

跃移搬运是颗粒连续跳动的过程。在风的作用下,颗粒几乎被垂直卷起,并在因重力作用而下降时,倾斜地被风吹走。最易被跃移搬运的颗粒直径为75至600微米。然而,风积物颗粒的形体大小在200至400微米之间,这也是最常见的形成沙丘的砂粒尺寸。

3.3 蠕移搬运

当颗粒体积大到不能被风吹离地面时,颗粒只能通过蠕动或推移方式向前移动,因此,这种搬运是通过连续位移而实现的。风力搬运还能搬走大于沙粒的颗粒:小的卵石和砾石(R.P.Sharp)。

3.4 正向流和反向流概念

当一股风沙流遇到凸出或凹进的障碍物如沙丘、土脊、山和湖时,就会被分成两股支流,并在障碍物背风面相汇;随着因障碍物外形而产生的汇流角的变化,或相互削弱或相互增强。在风沙流被凸出或凹进的障碍物分开而后又在背风面相汇的流体结构中,可注意到气流出现速度差,这个速度差会产生压力梯度、湍流和涡旋,特别是在障碍物的背风面会出现涡旋运动和反向流(Whitney)。

4 新月形沙丘

本类沙丘又分成两种:新月形沙丘和抛物线形沙丘。

4.1 新月形沙丘

4.1.1 简单沙丘或新月形沙丘

从投影图上看,新月形沙丘凸面向风,呈新月形,其横截面成二边形。新月形沙丘的大小不等,从几十厘米到1,000多米。

这一类沙丘有三个共同的特征:

(1)新月形是沙丘的基本形态;

(2)有一个对称轴:实际上,这些沙丘是由对称轴两侧的二个翼体构成。对称轴总是表明盛行风向,正是由于这种盛行风向,才产生了这种沙丘结构。

新月形沙丘有二个地貌特点和动态特性不一的风面:

——向风面(或背面)。向风面长,坡缓,是沙粒沉积和移动的坡面。

——背风面或正面。背风面是滑动面,坡陡。正向流和反向流挟带的沙也在这一面积落。背风面起着滑坡的作用,旋风垂直于背风面表面移动。正面坡可以是一简单的线形坡,沙坡

上会出现舌状滑坡，或者是带小沙脊的滑坡。

(3)存在着活动丘顶：新月形沙丘的丘脊或活动丘顶是向风面和背风面的交接线，这两个风面构成了这个二面体。

4.1.2 前新月形沙丘

从时间和空间上的发生过程来讲，新月形沙丘形成前都出现一些前新月形沙丘。

(1)饼状沙丘

饼状沙丘是最简单的新月形沙丘。从地面上看外形如鸡蛋，纵断面看丘面凸出，非常平缓。饼状沙丘由沙土沉积而成。这种沙堆不活动，但沙土可受风蚀迁移和跃移搬运。

饼状沙丘，只要其高度适当，通常能保持其形状，向风面和背风面坡度低缓，保持对称。这种沙丘随着高度的增加，会成为风障，引起风沙流疏散。

(2)初生类新月形沙丘

是活动沙丘，与前一种不同，因丘顶出现了风蚀口。风蚀口俯视时呈凹状，位置随每次沙暴的风向而变化。

月牙形凹口不断迎风伸展；坡度逐步增加，出现滑动面，从而形成一个二面体。这样，初生类新月形沙丘就变成了类新月形沙丘。

(3)类新月形沙丘：

是一种带角形丘顶的新月形结构，这种丘顶因背风面尚未达到丘尖的凹口而形成。只有当凹口达到丘尖时，才形成新月形沙丘。类新月形沙丘的向风面（投影）比凹面延伸得长。这种沙丘通过沙粒沉积和移动而发展，并有一个滑动面。位于沙丘背风面上的凹体只影响最初形状的一小部分。

(4)新月形沙丘

新月形沙丘与类新月形沙丘的区别在于活动丘顶的位置。类新月形沙丘的活动丘顶在背风坡上，而新月形沙丘丘顶与向风面顶部相合。新月形沙丘的背风面无沉积面。其正面是由风蚀和沙崩产生的。

4.1.3 新月形沙丘发生的条件

形成新月形沙丘的必要条件是：

- (1)一个有盛行风向且风速足以引起跃移搬运的风场；
- (2)一个固体基质或由体积大于风能运积的沙粒所构成的基础；
- (3)地形变化小。新月形沙丘遇到障碍物就会变形而成为另一类沙丘。任何产生涡旋运动的地形障碍都能破坏这种沙丘；
- (4)存在着能被风跃移搬运的沙土；
- (5)能形成新月形凹口。

新月形沙丘周围的沙粒运动十分复杂。当气流吹过向风面时，沙粒随风扬起；气流穿过丘顶涡旋后，就会立即产生反向运动，反向运动又使沙粒返回到沙丘。这种涡旋运动大多数情况下有一根垂直的轴线，并在背风面上从对称轴吹向月牙形的两翼。这就是两翼扩伸过程。有时，涡旋运动的轴线也可以是水平的。

并不是所有的气流都吹过向风面，因为实地能够见到气流绕向风面底部环流，此时，较粗的沙粒产生蠕动现象。

4.1.4 新月形沙和孤立沙丘的动态特点

这类沙丘不论体积大小,其动态特点相同。新月形沙丘是一种整体移动沙丘,活动性最强。移动速度取决于沙丘的体积和沙丘前进面的坡度。沙丘体积越大前进速度越慢。当地形呈向风坡时,沙丘前进速度增加;呈背风坡时,速度下降。从动力学角度来分析,孤立沙丘可看作运沙工具。沙丘前进的方向即沙丘的对称轴向。如果这类沙丘位于村庄或种植园的向风面,并具有潜在的人侵可能,则了解上述事实是有用的。当新月形沙丘遇到棕榈树丛或村庄时,受阻不能前进,随后解体形成沙积物,其沙粒易因风蚀而被搬运。因此,新月形沙丘是一种潜在侵蚀源。

4.1.5 链状或带状新月形沙丘

这两类沙丘是在沙丘移动速度放慢、沙粒又不断增加,使沙丘呈链状或带状结构而形成的。这些沙丘构成几个流沙区,沙稀少时,沙丘在沙区中由沙廊相隔分立存在,岩石裸露表面平坦。

新月形沙丘链与盛行风向垂直,与孤立的新月形沙丘相反,它们的活动性不大。沙丘链构成了沙堆聚集区,沙上能横向从一个沙堆移积于另一个沙堆,也可能被风刮出聚集区。

4.2 抛物线形沙丘

抛物线形沙丘是两翼向风的新月形沙丘,其向风坡低于背风坡。这些沙丘是在单向风场条件下于平坦的地面上形成的,并因开阔植被的作用而处于稳定状态。

按发生学分抛物线形沙丘可分成两类:

——沉积型;

——侵蚀型。

4.2.1 沉积型抛物线形沙丘

这类沙丘是因流沙受植被阻挡、产生沉积而直接形成的,可分成简单的和复合的两种。简单的沉积性抛物线形沙丘可为U形(如墨西哥的白沙和Cascogne沙丘)或V形(如南美洲哥伦比亚盆地的沙丘)。复合形的是几个抛物线弧的组合,使沙丘呈肥齿不齐的耙状体。在Rajaathan沙漠中能见到这种耙状沙体的最好例子。

4.2.2 侵蚀型抛物线形沙丘

新月形沙丘从裸地下旱带移向长有干草原植被的地带时被抛物线形沙丘取代。

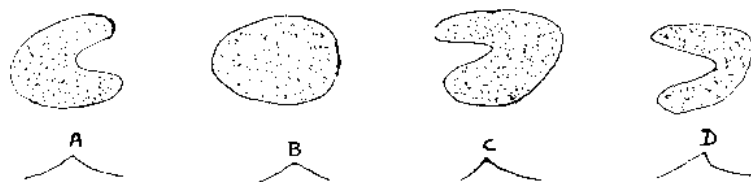


图1 侵蚀型抛物线形沙丘的形成

A: 仍可辨别新月形沙丘的形状,但两翼已被截短,体积缩小。

B: 沙粒填满新月形沙丘的凹口后,新月形沙丘变成了一个沙堆,形如鸡蛋,呈锥体状。

C: 沙丘中心出现凹槽,原形受损,呈带封闭“Caondeyre”的鸡蛋形沙丘。