

一个未受关注的荒漠化机制与对应措施

黄培

(新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 干旱区水源不足是制约荒漠植被发展的原因。当植被衰退, 径流侵蚀作用将加剧, 降水仍存留于原地的量将更少, 更难以维持植物的生存; 而范围较广的集水地形即因淤积、蒸发作用而导致盐渍化, 虽水量充裕亦难助植物繁生, 有限降水的水源, 反成加剧荒漠化过程的动因。研究表明: 利用微集水以重建荒漠植被是化解此恶性循环的关键。  
关键词: 干旱区的降水; 荒漠化; 恶性循环; 荒漠植被; 植被重建  
中图分类号: S 171. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409( 2005) 05-0101-03

An Unnoticed Desertification Dynamic and Its Countermeasure

HUANG Pei-you

(College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** In arid area, insufficient water restricts the development of desert vegetation. But after the vegetation declining, erosion of the runoff will be aggravated. A little water remained in the same place can not preserve the vegetation living. Though there has enough water resource, the runoff collecting area also can not sustain the lush growth of vegetation, because of its siltation, evaporation and salinization. So the limited precipitation may intensify desertification. The study shows that the vegetation reconstruction is the key to dispel the vicious circle. According to the data on the spot, a series of countermeasures are put forward.  
**Key words:** the precipitation in arid area; desertification; vicious circle; desert vegetation; vegetation reconstruction

1 问题的提出

近期, 在准噶尔盆地南缘, 对曾进行荒漠植被对融雪水空间分布效应<sup>[1]</sup>的研究现场进行后续观测, 检测荒漠植被导致融雪水向植丛基部汇流的后效。在 1990 年春观测时, 荒漠植被盖度不足 2%, 1998 年及 2001 年秋同地的样地抽查 (4 m × 4 m × 10), 植被盖度平均达 33%。该地年降水 100 ~ 127 mm, 在流沙丘上, 除降水外无其他水源接济, 而荒漠植被竟藉有限的降水恢复到该盆地植被的平均规模<sup>[2]</sup>, 已具稳定流沙的作用。显然, 前期出现稀疏植丛, 并由此产生的效应是重要的, 前期缺少植丛的沙丘至今仍呈裸沙。

另一观测现场在艾比湖南岸的强风区, 测地亦为流动沙丘, 但曾采用植物茎干在光裸沙表上围封成一个个约 1 m × 1 m 的沙障网格, 在原来寸草不生的丘顶, 少量植物竟成功地在沙障网格内定居, 种类有猪毛菜 (*Salsola spp.*)、梭梭 (*Haloxylon ammodendron*)、和白梭梭 (*H. persicum*) 等。观察定居的植物水源供给, 注意到沙障网格的作用, 他抑制了沙表流动, 亦构成以网格为单元的微集水地形, 导致水源移集于网格中的低洼点。当地降水约 100 mm, 低洼点汇集的水量约为此值的 4 倍, 依靠这集积的水源, 实现了这些植物定居并维持了植物的生存。

H. Walter<sup>[3]</sup>的研究指出, 降水少的干旱地区, 集水作用对植物的生存具有重要意义。干旱区有限的降水若平均散布, 只能维持光裸的地表, 但地形略呈起、受水表面将发生移

集作用而水分将于相对低位汇集, 从而满足一些植物的最低需求。研究表明, 移集水量取决于集水面积/受雨面积的比值, 其关系如下式:

$$\omega = (1 + \alpha \frac{1-X}{X}) \rho$$

式中:  $\omega$ ——汇集的水量以 mm 表示,  $\alpha$ ——产流系数, 在准噶尔盆地一次性降水 3 mm 时为 30% ~ 40%<sup>[4]</sup>,  $X$ ——集水面积/受雨面积的百分值%,  $\rho$ ——该地降水量。

从上式可知, 汇集的水量主要受  $X$  值影响, 当  $X$  值逐渐变小, 即集结的水量将随之上升, 当达到某一值即有水源可供植物生长需要, 故可通过构建某种比值的集水面积以供建立植丛。Walter 曾记录到开罗—赫勒万 (Cairo—Helwan) 的降水为 25 mm, 这些水竟满足谷地植物的繁茂生长<sup>[3]</sup>。但进一步计算却出现另一景象, 当  $X$  值进一步变小, 汇水将急遽增加 (表 1)。

过量集水将超出植物生长所需, 当无外泄通道, 集水过量的地形将因积水而引起强烈的蒸发作用, 残盐将聚积地表而导致盐渍化过程; 当足够大的受雨空间, 汇水将形成湖泊并发展为盐湖<sup>[5]</sup>。若如此, 无论降水接受区或汇水区, 水资源对植物将近于无效或效益极低, 地表裸露将受物理规律支配, 有限降水却成为环境恶化的动力, 导致荒漠化的两类过程——沙漠化和盐渍化的并行发展。因而, 研究这一未受关注的荒漠化机制, 设法加以调控, 使此有限水源从荒漠化的动因转变为孕育荒漠植被的因素, 遏制恶化环境的局势发展。

① 收稿日期: 2005-07-13  
基金项目: 国家自然科学基金 (30070640); 973 项目 (G19990435) 课题部分资助  
作者简介: 黄培 (1936-), 男, 教授, 从事干旱环境生态研究。

表 1 降水的水量全部收集后可灌溉的理论面积 <sup>[12]</sup>			
降水量 /mm	每公顷总的降 水量/ m <sup>3</sup>	集流可灌最大 面积/ m <sup>2</sup> *	集水面积/ 降水 面积/ %
1	10	20	0. 2
10	100	200	2
20	200	400	4
30	300	600	6
40	400	800	8
50	500	1000	10
100	1000	2000	20

\* 按 500 mm 降水的效果计算。

## 2 干旱区的降水与植被

干旱区的降水既可成为孕育植被、促其成为良性发展的宝贵资源,藉此维持一定规模的植被覆盖;亦可导致水土流失,诱发朝荒漠化的两个方向发展。因而必须研究这一地区降水与植被有关问题。

### 2.1 荒漠植被生存的水源

干旱区降水稀少,最大值在 250 mm 以下<sup>[9]</sup>,按降水量将难以维持植物的生繁,但荒漠植被除少数类型外,基本依存于当地降水。前面提到融雪水与植丛作用的研究现场,植丛完全依靠降水而生长,甚至依赖当地水源而使植被覆盖扩展至一定规模。荒漠植被不但依靠降水而生繁,且其繁茂程度亦受制于年际波动<sup>[3]</sup>,当年的干湿气候直接影响第一性生产<sup>[7]</sup>,影响种子萌发与幼苗保存率<sup>[8]</sup>。有关事实表明,荒漠植被主要以当地降水作为生存水源。

### 2.2 植物的立地及其含水

按干旱区的降水量、将无法维持植物的正常生存,而当地生存的植物是以降水作为其生活水源,这近似相互矛盾。事实上,荒漠植被的实际生存空间极其局限,大范围的极度稀落和有限的荒漠植丛聚集的空间格局是极其普遍现象;广大空间实际获得的水量低于当地降水量,而有限集水区即大大超出当地降水值(见表 1),是这一分布格局的根源。

应当指出,温带荒漠的冬雪区、通过植丛对融雪水空间分布的反馈作用,使融雪水沿植丛基部移集,其作用有类于微地形集水,但非地形起因,而是通过植物对融雪水的效应而引起,应属于特定空间生物与环境相互作用的范畴<sup>[1]</sup>。

上述测区的年降水量平均在 100~120 mm 间,通过微地形集水或生物效应,使降水在该空间重新分布。暂定植物生长需要量=400 mm 计算,即集水面积/受水面积比在 11%~13% 范围将能满足这种需求,这里可作为植物的扎根地。它的枝叶伸展形成的投影盖度按 33% 计算,似乎已对荒漠起到有益作用。

## 3 干旱区降水的效应分析

### 3.1 植物着生地的含水下限

按干旱区降水的量推算,水源普遍不能支持植物正常生长。只有冬雪区在冬雪较多的年份才能维持早春短命植物群的暂短生长,但受雨表面因地形起伏,使各点实际接纳的水量并不均匀,植物生存的立地含水,必然高于其所需下限,否则将不可能生活。考虑强烈的蒸发作用,沙层虽有利于减少沙地的蒸发耗失,但持水和供水能力较低,故假定相当 400 mm 的年降水量、是当地植物生存需要的最低水量,从流沙地的植丛分析似乎是合理的。当缺乏集水作前提,有限的降水对旱生植物将难以维持其生机。

### 3.2 地形的作用

地形对降水起重分布作用,但同时受基质性质影响。现以水文性质相同的细砂为例,将沙地地形分为三类讨论:a

类地表平坦;b 类地表近平坦,但存在微起伏;c 类有明显地形起伏。

由于干旱区降水常呈偶发性<sup>[9]</sup>,连阴细雨极少发生,此处基质主为细砂,排除了降雨时表面渗入的差别,在缺乏地形影响前提下,受雨表面可以充分接纳同等份额的降水。当出现偶发性大雨且持续时间短而总水量又不太大时,降落于平坦的 a 类地表,水分将垂直下渗,每次降水量将决定水分下渗深度而决岂湿沙层厚度。准噶尔盆地的沙丘顶部偶或存在局部相对平坦的沙地,多次雨后观测,当一次性降水 3 mm 时,湿沙厚约 5 cm 内外;5 cm 降水湿沙厚在 8~11 cm 间;降水 15 mm 时,湿沙层在 25~30 cm。雨后转晴,沙表将发生强烈蒸发,使 3~5 cm 浅沙层很快变干,其含水降量将降至 0.8%~1% 范围。已变干的沙下维持 1%~2.5% 的含水。夏季雨后一段时间,表沙层下 20~30 cm 的含水降到 1% 左右。仍保存在沙地的水量将取决于湿层深度。由于沙地的毛管效应极弱,距表层一定深度后含水将不受蒸发影响而较长期保存<sup>[9]</sup>。在 a 类地形,纵使不考虑蒸发影响,全部降水下渗,其量亦只相当于当地降水量,故无法满足植物生长需水,因而极小有植物生存。在地表仅有些微起伏的 b 类地形,降水时可能发生有限范围的移积现象,部分将沿表面下渗,另一部分将由稍高处移到相对低处汇集。当汇水表面为受雨表面的某一百分值,如在准噶尔盆地,当汇水区占受雨表面 11%~13% 时,此处汇集的总水量约为 400 mm,汇水点湿层将较移出区明显加深,经表面蒸发而能长期保存于沙层的水分将远高于平坦沙地,将有稍多水分供荒漠植丛生长。这类旱生植丛多沿集水点散布,在集水较多处,亦有较密集分布现象。植株生势因受总水量限制,普遍稀疏低矮,植丛适应大气和土壤干旱的能力较强,特别是多年生植物如此<sup>[8]</sup>。在地貌明显起伏,甚或呈现丘谷相间的 c 类地形,遇 3 mm 以上<sup>[4]</sup>的阵发性降水,隆凸区受雨后容易引起相应程度的地表径流,由高处移集于谷底。径流挟带冲洗出的粉砂和黏粒形成混浊的水流,汇积于低地而淤积,持续作用将引起龟裂土发育,不利于水分下移,降水时表面可能过湿或积水,晴天即强烈蒸发而变成含水低的干硬表层,此层含水通常为 1%~1.5%,但其萎蔫系数约 8%~10%,故植物难于龟裂土区生长。且径流携带的盐分,经蒸发后残积于表层,导致盐渍化逐渐加强,只有少量盐生植物偶或出现。有些旱生植丛,如梭梭亦具一定耐盐能力,但遇到地表出现持续积水,将造成细胞膜系统的破坏而导致死亡<sup>[10]</sup>,从而使水量充裕的汇水区不能为植物有效利用。这样,径流移出的空间因水源不足而植物无法生长,而降水在较大范围的移、积过程,将导致流沙或盐渍化的发展,使有限的降水对生物的生存价值更低。由于缺乏植物的参与,物理因素的过程,将对这一空间演化起绝对支配作用,它正是长期以来未被关注的另一种荒漠化机制,亦是当前难于对付的难题。

## 4 对有限降水调控的探讨

(1) 干旱区降水稀少是导致植被稀疏的原因,但荒漠植被对稳定干旱荒漠生态系统的作用不应忽视。以准噶尔盆地中部为例,该地年降水在 100~120 mm 间,大规模开发前,荒漠植被平均盖度达 30% 内外,97% 的沙丘被固定<sup>[2,11]</sup>。1998 年秋、在植物干落前夕,我们在灌丛对融雪水效应的样地重测时,灌木和半灌木逐株记录的冠幅投影盖度累计达 33%。这是原为流沙丘的植被复原的记录,它亦证明 40 多年前此地曾有过的植被覆盖,亦表明该地有限的降水若得较充分利用可以达到的植被规模。流沙有可能依赖这一份额降水

而重新被抑制, 干旱区恶化的生境, 可以利用这类自然水源达到一定程度改善。

(2) 前面的分析表明: 降水必须通过移集后才有可能对植物生长有作用, 但降水在地表移动的规模将与其效果有关。有限范围的移集, 使移集量维持在 400~500 mm 间具有良好的效果。若移动规模较大, 且集水面积/受雨面积的百分值过低, 将造成移出区无足够水可供维持植被生长, 而集水区过度积集将导致淤积和盐渍化, 将使降水成为加速荒漠化过程的动因。这种地质过程曾经长期存在, 但经漫长的过程, 植被终于成功取代物理规律的支配地位, 植被的作用推进生态系统演替的运行。近期人为因素造成荒漠植被的破坏, 且这种作用仍在持续, 在人类可预见的短期内, 依靠曾经数度绿化荒漠的植物本能再度绿化荒漠, 在较短期内已属不可能, 因此, 受损的系统将继续处于物理规律的支配下, 加剧其他地质过程的自然进程, 降水成为这一地球物理过程的重要动力。

(3) 能否在缺水的荒漠开展植被复原的工作? 在一定降水条件下、答案是肯定的。但必须对降水在地表实施点状而小型的集水处理, 这样将制止有限的降水无谓的流失并遏止荒漠化的过程。利用人为控制有限规模的集水, 构建荒漠植被自然恢复的基本格局, 通过人工扶植的植物与环境构成的作用与反馈机制, 犹如曾研究过的荒漠植丛对融雪水效应的样地、经自然作用而恢复一样, 实现植被恢复。这种可能是客观存在的, 问题是在恶劣的生境中如何走出第一步。

(4) 参照艾比湖南岸的流沙地, 由于建立人工沙障而抑制沙表的流动, 以沙障网格为单元, 在较平缓的丘顶构成约 1 m×1 m 的微地形集水小区, 使仅有 100 mm 的降水调控为具有 400~500 mm 的水量, 即汇水区为降水面积 10% 左右的有限面积内转变成植物可以生长的小生境。事实上猪毛菜和少量梭梭幼苗已在这样范围内成功定居、生长, 因此不妨按此作为 100 mm 降水区的一种最小型集水设计, 藉以建立零散的先锋植丛。

1990 年观测植丛对融雪水效应的现场, 植丛是极度稀落的, 每一植丛影响融雪的半径在 1~3 m 不等。按此计算, 即小区面积为 3.1~28 m<sup>2</sup>, 这样的范围实施集水将对植丛的供水有效。按当地降水 120 mm 计算, 当集水面积/受雨面积为 13% 时, 集中的汇水量将能维持植丛的存在并逐渐扩展。水分汇集最小面积约相当于 0.64 m×0.64 m, 即 0.4 m<sup>2</sup>。而最大面积为 1.9 m×1.9 m, 即 3.64 m<sup>2</sup>。当然各地降水和基质条件千差万别, 需要根据具体情况进行调整, 参照自然界存在的信息, 可能比凭空想象的强一些。

参考文献:

[1] 黄培, 潘伟斌, 李海涛, 等. 准噶尔盆地植丛对融雪水空间分布的反馈[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(4): 346~353.

[2] 张立运. 新疆莫索湾地区短命植物的初步研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(3): 213~222.

[3] H 沃尔特. 世界植被[M]. 中国科学院植物研所生态室译. 北京: 科学出版社, 1984.

[4] 肖笃志. 龟裂地径流及其利用的初步研究[J]. 干旱区地理, 1985, 8(1): 28~34.

[5] 中国科学院新疆综合考察队等. 新疆地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1978.

[6] 汤奇成, 曲耀光, 周聿超. 中国干旱区水文及水资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[7] H 里思, R H 惠特克, 等. 生物圈的第一性生产力[M]. 王业蓬等译. 北京: 科学出版社, 1985.

[8] 黄培. 干旱区免灌植被及其恢复[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[9] 耿宽宏. 中国沙区的气候[M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[10] 周培之, 候彩霞, 陈世民. 超旱生小乔木梭梭对水分胁迫反应的某些生化特殊性(初报)[J]. 干旱区研究, 1988, (1): 1~8.

[11] 孙树海. 新疆社会经济发展与保持生态平衡[A]. 见: 大西北生态环境论丛[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991.

[12] 黄培. 干旱生态学[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1993.

在干旱区已退化地段全面铺开植被复原, 从目前财力物力都难以有效保证, 借鉴于沙障网格植丛定居和稀疏植丛在自然状态下扩展的资料, 我们认为不妨采用稳步推行植被恢复是适宜的。可先选局部有利地形, 人为协调防沙、集水的有关事项, 在计划恢复原区, 宜分成若干点, 每点范围在 10 m×10 m 内外, 在此区采用防沙、集水等多种办法以扶持有限植丛生长, 待植物成功定居后, 构成有如曾经研究过的融雪水效应现场的稀疏植丛格局, 保护这些植丛使其依靠自身的力量由点向面扩展, 点的融合结成大片, 各大片融合将控制一个地区。仿效先锋植物的自然建群过程, 依靠植丛自身力量而实现植被重建的最大目标, 将是以最小的投入达到最好效果的办法。

引入的先锋植物, 应以耐旱能力强, 繁殖周期短且植丛低矮而多分枝的种类作为首选植物。观察中发现几种多年生绢蒿属植物(*Seriphidium spp.*), 它可较快形成近地层的覆盖并构成分散丛生微地形, 有效自然扩展, 在新疆准噶尔盆地在恢复初期较为适宜。其次为沙拐枣属的精河沙拐枣(*Calligonum ebinuricum*), 它的分枝低, 其侧枝有如网状起伏地表, 可以有效积沙; 其他的如白皮沙拐枣(*C. laucocladum*)、沙拐枣(*C. mongolicum*) 亦为选择之列。流沙丘的迎风面, 三芒草(*Aristida pennata*) 亦应作为重要种类。柽柳属植物可以形成沙丘植丛, 在流沙区具有重要固沙作用, 但在其定居初期、不能在流沙丘高位建群, 仅适在迎风面的低位利用集水区进行, 以龟裂地和沙丘边缘区较理想。在多数地段, 可采用多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、短穗柽柳(*T. laxa*)、刚毛柽柳(*T. hispida*) 等种类; 在塔克拉玛干的丘谷宜以塔克拉玛干柽柳(*T. taklamaka*) 作为惟一选择种类。在西北地区柽柳是最重要的干旱区灌丛树种, 可以形成密丛, 有强大积沙能力。西北具冬季积雪区, 包括盐渍地但不产生积水区, 梭梭是极重要种类, 其优点在于可以在冬雪区各类生境发展成灌林, 但其对地表的保护能力较弱。白刺属(*Nitraria*) 植物在西北地区分布范围较广, 河西走廊的荒漠形成大面积白刺灌丛沙堆, 在盐渍地水位较高区可以形成面积达 10 m<sup>2</sup> 以上的大灌丛, 其他生境植丛的规模较小。白刺多见于平地少见于低丘。

采用直播办法培植旱生灌丛有其简便之处, 但受干旱区气候波动影响极大, 难以控制。在全裸的干旱区建群, 采用‘嫩苗定植法’似较可行<sup>[8]</sup>, 定植时机, 在融雪期或降水最集中季节施行较有保证。为求有效, 应在定植时穴灌有限水分, 促其较快融入生境, 随后依赖当地的自然水源维持生繁。植丛定植成功后即由植物体自身作用与反馈机制而自然运转。