

从植被演替和抗风性研究包兰线沙坡头段 人工植被稳定性

于云江^{1,2}, 林庆功³, 鄢永贵³, 丘明新², 刘家琼²

(1. 北京师范大学 资源科学研究所, 环境演变与自然灾害教育部重点试验室, 北京 100875; 2. 中国科学院 赛区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠试验研究站, 甘肃 兰州 730000; 3. 兰州铁路局 中卫固沙林场, 宁夏 中卫 751702)

摘要: 运用群落演替与风沙流因子分析相结合的方法论证了群落的稳定性。在沙坡头地区, 以油蒿为主的人工群落在长期的自然演替过程中已达到与生境条件相互适应的动态稳定过程。通过沙坡头与周边地区植被演替的比较研究, 表明了该地区现有植被正形成(或已形成)偏途顶极序列, 该植被在相当长的时间内会稳定存在, 这些演替可促使沙坡头地区的人工植被向更为稳定的人工+自然复合生态系统以及自然生态系统方向变化。此外, 风洞实验结果显示, 沙坡头现有主要植被和地表能够抵抗较大风沙流胁迫, 已形成了能够忍耐沙尘暴的生态系统。

关 键 词: 植被演替; 风沙流; 偏途顶极群落; 稳定性

中图分类号: Q948.15 S727.23 文献标识码: A 文章编号: 1000-3037(2002)01-0063-08

1 研究背景

包兰铁路中卫—干塘段 6 次穿越腾格里沙漠, 长达 55km, 其中沙坡头段的高大密集的格状新月型沙丘对铁路危害最大。为保证列车安全运行, 铁道部、中科院等单位曾在 20 世纪 50 年代合作建立了一条人工植被防护体系, 确保了 40 多年的行车安全。但是近年来, 该区部分植被盖度下降、甚至死亡, 因此, 人们普遍关注沙坡头人工植被能否持续下去, 沙漠是否重新会对铁路安全运营构成威胁。

生态系统的稳定性在很大程度上取决于植物群落对干扰的抵抗能力和自我修复能力^[1], 本文就是着重从沙坡头现有植被主要建群群落油蒿+草本植物+孢子植物的适应和抵抗逆境能力方面来论证现有人工植被的稳定性。有关生态稳定性的定义很多^[2-4], 本文讨论的稳定性只限于群落适应力稳定性和抵抗力稳定性。前人对稳定性的论证多取植被的数量性特征作为研究指标^[5,6], 这些数量性特征主要反映了植被发育的阶段性状况, 而没有从植被演替的连续促动过程来关注植被的稳定性。有关植物在风沙流胁迫下抵抗力、回复性的实验研究, 也未见报道。有人曾从水分、土壤等限制因子出发, 对该人工植被的动态进行过研究^[7,8]。也有人从油蒿种子库的特点和油蒿的繁殖力两方面对沙坡头人工植被进行过研究^[9]。这些研究均显示油蒿群落具有适应沙漠逆境的能力。本文通过研究当地另一主要逆境因子——风沙流对主要群落的影响, 结合观测研究沙坡头周边地区该群落的发育、稳定状况, 来论证沙坡头现有人工植被的稳定性, 以及未来大尺度时间上植被的演替方向。

收稿日期: 2001-06-14; 修订日期: 2001-08-16。

基金项目: 中国科学院沙坡头沙漠试验研究站基金、铁道部科研项目、国家重点基础研究项目(2000018600)资助。

第一作者 鄢永贵, 于云江(1964-), 男, 内蒙古乌前旗人, 博士研究生, 主要从事干旱区资源与生态环境研究。

E-mail:yyj@irs.bnu.edu.cn

2 研究方法

(1) 通过比较分析沙坡头天然植被的演替规律和 40 余年的人工植被变化情况, 得出出现有人工植被所处的演替序列及今后演替的方向。

(2) 调查、研究与沙坡头生境类似的周边地区的油蒿+草本植物+孢子植物群落的稳定状况和可能的演替方向, 推论沙坡头地区的现有人工植被的稳定性, 并探索该地区人工植被的演替方向。为此, 作者分别对周边的荒漠地区、草原地区的植被状况进行调查, 并选定样方测定植被盖度及土壤含水量。样方选在具有代表性的典型地段, 在每一测点选择 4 个 5m×5m 的样方来测定植物种类、盖度及土壤水分, 盖度测定采用样线法, 土壤含水量的测定按 20cm 的等级在 0~1m 深度范围内取样, 采用烘干法, 然后求平均值。

(3) 风洞试验。通过了解沙坡头地区现有植被和地表在净风、风沙流下的变化及抗性, 以了解沙漠地区这一逆境因子对植被的稳定性。该试验在中科院沙坡头试验站的野外风洞试验室进行, 并分别对 20 世纪 50、80 年代栽植区的结皮、苔藓、草本(小画眉草 *Eragrostis poaeoides*、雾冰藜 *Bassia dasypylla* 等)、灌木(油蒿 *Artemisia ordosica*)、灌木(柠条 *Caragana korshinskii*)进行不同风速(5.9m/s, 7.9m/s, 9.9m/s, 14m/s, 19.5m/s)的净风和风沙流的吹击试验, 吹击时间为 30 分钟, 以探讨它们对风沙逆境的稳定性。恢复实验采用 10m/s、15m/s、20m/s 三种风速的风沙流。

3 研究结果与分析

3.1 人工植被动态和现状

在沙坡头固沙初期, 在无灌溉条件下陆续在流沙上所设的草方格沙障内栽植了花棒(*Hedysarum scoparium*)、柠条、籽蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、油蒿、杨(*Populus alba*)、柳(*Salix cheilophila*)、榆(*Ulmus pumila*)等 100 余种植植物, 由于自然选择的结果, 大多数植物陆续死亡, 保留下来的仅有油蒿、柠条、花棒为主的 8 种植物。这些人工植物在栽植的最初 8~9 年为旺盛生长期, 盖度达到最大; 20 年后, 形成了以油蒿为建群种的植被群落(表 1)。在 1983 至 1993 年的 10 年间, 各植物盖度均出现不同程度的下降。其中花棒最为严重, 下降了 50.1%; 油蒿次之, 下降 30.1%; 柠条较轻, 为 18.6%。花棒、柠条盖度已很低。

表 1 1964 年栽植区人工植被的盖度变化(%)

Table 1 Changes of artificial vegetation coverage in

planting plots in 1964

测定年份	花棒	柠条	油蒿*	备注
1983	4.7	5.9	43.7	* 分别在
1993	2.3	4.8	30.3	1973、1976
下降(%)	50.1	18.6	30.1	年测定

3.2 从植被演替规律看沙坡头现有植被的稳定性

3.2.1 天然沙生、旱生植被演替规律

在流动沙丘阶段, 沙丘上首先出现的是沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、籽蒿、花棒、沙芥(*Pugionium calcaratum*)、臭蒿(*Stipnolepis centiflora*)等先锋植物, 构成极为稀疏的先锋植物群落, 植物覆盖度 1% 左右, 主要分布在流动沙丘的丘间低地。这是演替的先锋阶段。随着籽蒿、沙米等先锋植物的繁衍, 流沙的流动性也逐渐减弱, 植被覆盖度越来越高, 使从附近吹来的油蒿种子在此停留, 逐渐发育为油蒿灌丛, 它与原有的籽蒿等先锋植物相结合而成为籽蒿、油蒿群落, 此时流沙趋于半固定, 这是演替的第二阶段。随着沙面流动性进一步的减弱, 适应于流沙上定居的先锋植物沙米、臭蒿等便逐渐衰退, 乃至消亡, 粒子也发育不良, 而油蒿种群则逐渐扩大, 加之年复一年的枯枝落叶, 空气中降尘的积累以及土壤微生物的作用, 生物结皮逐渐形成。流动沙丘便逐渐变为半固定—固定沙丘, 其植被也演变为以油蒿为建群种的油蒿、籽蒿群落, 这是演替的第三阶段。此后, 随

着油蒿种群的进一步繁殖,籽蒿则明显衰退而消亡。与此同时,一年生小画眉草、雾冰藜、绵蓬(*Corispermum hyssopifolium*)以及苔藓、藻类等孢子植物大量繁衍,与建群种油蒿共同组成油蒿+草本植物+孢子植物的植物群落,这是演替的第四阶段。该系列演替到此后,地表生物结皮已愈来愈厚,油蒿的后代也愈来愈多,这就形成了在相当长时期内都比较稳定的偏途顶极植物群落。

按照地带性与气候性的特点,再过相当长时期,待沙土发育成地带性土壤时,则植被也会发育成地带性植被——红砂植物群落或短花针茅(*Stipa breviflora*)群落^[10]。由于该地区地处荒漠草原与荒漠区的过渡地带,并位于这两个气候区范围内,因此,沙坡头地区相应地就会有荒漠区与荒漠草原区这两个顶极植物群落,或有这两个顶极植物相互渗透的复合群落——红砂+短花针茅植物群落。该演替系列及其演替顶极若在人为严重干扰(如盲目开荒、大量樵采,过度放牧等)的不良影响下,也会发生逆行演替,即返回到流动沙丘阶段,沙坡头站对面的黄河南岸香山山前一带就是明显的例子。

3.2.2 人工植被的形成、演替

在地理位置、大气候带以及土壤基质均相同的环境条件下,人工植被演替方向必然遵循天然植被演替规律,在目前阶段应为偏途顶极:油蒿+草本植物+孢子植物群落。沙坡头铁路人工植被与天然植被所不同的是,它的演替是由在无灌溉条件下所栽植的花棒、柠条、籽蒿、油蒿、杨、柳、榆等100余种植物开始的。由于自然选择的结果,以中生植物为首的绝大多数植物陆续死亡,保留下油蒿、花棒、柠条等8种植物,随着植被的发育,沙面趋于半固定,生物结皮不断加厚,而沙层水分则逐渐下降,花棒、柠条等深根性植物不断衰退,甚至死亡,唯油蒿不仅能正常生长发育,还能天然更新。与此同时,人工植物群落中大量新的种群入侵,加速了天然生草过程。尤其是藻类、藓类孢子植物的出现,使人工群落变成由人工植被+天然植被组成的复合群落,目前沙坡头人工植被区大部分地段处于这个阶段,即油蒿+草本植物+孢子植物这一偏途顶极,部分地段还在向该群落演替,按照自然演替规律,沙坡头现有人工植被正处于偏途顶极阶段,能够在相当长时间内稳定存在。

3.3 从周边油蒿群落发育状况分析沙坡头现有植被的稳定性

3.3.1 偏途顶极群落——油蒿群落

组成群落的种类为油蒿、牛心朴子(*Pycnostelma lateriflorum*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、胡枝子(*Lespedeza Bicolor*)、列当(*Orobanche coerulescens*)、雾冰藜等。该群落主要建群种油蒿耐干旱、耐贫瘠、耐沙埋,具有特殊的气味,牲畜不喜采食,但霜冻后即消失,因而该群落常被作为冬春季放牧场。该群落广泛分布于我国宁夏河东沙地盐池县、毛乌素沙地、乌兰布和沙漠、内蒙古阿左旗、宁夏中卫县和永康县等地。在沙坡头地区主要分布于一碗泉、长流水、红卫一带至大水滩南部以及香山北坡山前洪积扇和南山台子的伏沙地上。毛乌素沙地是油蒿集中分布的源地。油蒿自然分布的西界在甘肃古浪县境内,

表2 沙坡头周边地区油蒿群落的生长状况(1996)

Table 2 Growth situation of *Artemisia ordosica* community in Shapotou and the vicinity in 1996

调查地点	降水量(mm)	株高 *(cm)	盖度 *(%)	长势	备注
毛乌素黄蒿涧*	395.4	45.23	30	优	群落已稳定 174 年以上
内蒙古阿左旗	142.8	36.65	25	优	牧场, 飞播区
中卫一碗泉	186.2	40.86	28	优	牧场
甘肃民勤	111.5	33.18	32	优	70~80 年代飞播, 含水量 0.89%
古浪石峡子	178.5 [#]	50.45	22	优	

注: * 黄蒿即油蒿, # 石峡子的 3 年平均观测值(1990、1991、1992 年), ** 均为 3 个样方的平均值。

即腾格里沙漠西缘，这些地区的油蒿群落植被总盖度可达 25%~32%，建群种油蒿株高平均 33~50cm 左右，冠幅 50~100cm²，群落均发育良好（表 2）。

由表 2 可见，无论在降水量较大（400mm 左右）的毛乌素沙地，还是在较小（140~180mm）的阿左旗和中卫，甚至在更小（110mm）的民勤，油蒿群落均能发育良好，说明在沙坡头的周边地区，油蒿群落具有良好的适应能力和生长势。据靖边县志^[11]载，在清道光二年（公元 1822 年）时就已有“黄蒿涧”（即油蒿）地名的记载，说明当时就已有大量的油蒿群落存在。在 1996 年调查时，群落发育良好。在沙坡头西北的民勤县位于腾格里沙漠西部（图 1），降水量仅 110mm，经测定，1m 土层内平均含水量仅 0.89%，植物生境远比沙坡头地区差，但形成大面积油蒿群落，其盖度可达 32%。因此，与民勤地处在同一沙漠（腾格里）的沙坡头（在毛乌素沙地的靖边县与民勤之间）土壤基质与民勤一样，雨量还比民勤大，理应长期稳定下去。在沙坡头北侧的阿左旗年降水量 142.8mm，数万亩天然油蒿群落生长良好，几代牧民放牧其中，未见退化。从沙坡头周边的观测可以看出，油蒿群落至少已更新成活了百年以上，它已变成非常稳定的偏途顶极群落。按铁路设计安全运营 100 年的要求推断，完全可以保证铁路的畅通。

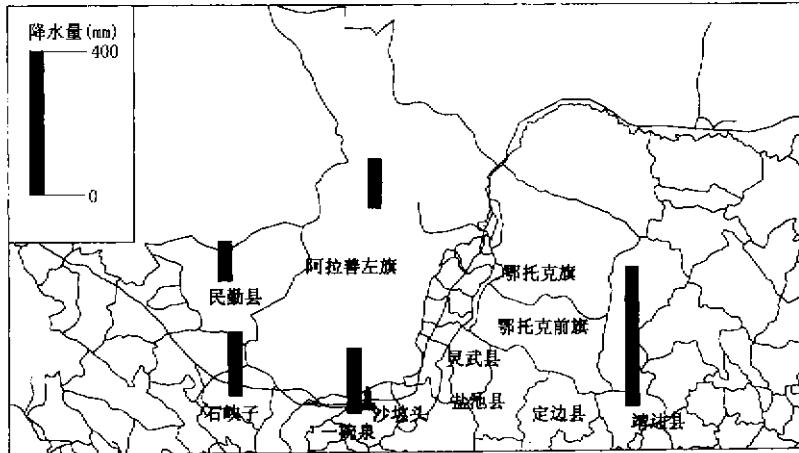


图 1 观测点的降水量(柱状体)及与沙坡头相对位置

Fig.1 Precipitation of observation site (bar) and relative position to Shapotou

3.3.2 现有植被的可能演替方向

(1) 短花针茅植物群落 据观测，在沙坡头以东毛乌素沙地的局部地段已出现了油蒿群落发育不良，甚至衰退、死亡现象。如鄂托克旗的乌兰镇南部、该旗西部至乌海一带、宁夏中卫南山台子等地已衰退的油蒿群落中出现了株丛或盖度不等的短花针茅。在 2m×2m 样方内出现了 10~50 余丛的短花针茅，盖度达 20%~40%，组成了油蒿+短花针茅群落。随着时间推移，按照植被演替规律，油蒿有可能进一步衰亡，而代之以荒漠草原区的顶极植被短花针茅群落。

(2) 红砂顶极植物群落 该群落广泛分布于沙坡头地区的周围，东起照壁山（距沙坡头 30km）一带，西至孟家湾（距沙坡头 6km）以西，南到香山（距沙坡头 5.4km）山前，北至通湖山（距沙坡头 12.2km）周围及腾格里乡西、北部，群落发育在土质、石质、沙质生境中。其中照壁山一带不少红砂群落就发育在沙质地上，群落覆盖度达 40% 以上，建群种红砂盖度可达 20%。这表明沙坡头铁路人工植被，在其沙质地上以及随成土过程形成的沙壤质、壤质土上，完全可能发育为红砂顶极群落。

此外，在沙坡头地区的黄河南岸香山山前壤质土上，发育着红砂、短花针茅复合群落。

落，植物生长良好，经测定盖度可达30%~40%，红砂、短花针茅分盖度大致相等。因此该复合群落也可能是沙坡头铁路人工植被进一步演变的方向。

因此，从大尺度的时间范围内来看，沙坡头地区的油蒿群落在无干扰的自然条件下，如果发生衰退，是向下一个植被的正常演替，即朝着顶极群落红砂群落或短花针茅群落演替，这虽然会减少油蒿群落的重要性，但却会增强整个生态系统的稳定性，使人工植物所形成的生态系统更加良性化。

4 从风洞实验论证沙坡头人工植被稳定性

野外风洞实验结果显示：较低风速（5.9m/s, 7.9m/s, 9.9m/s）对50、80年代栽植区植物没有影响或影响不大。在该组风速下，油蒿植株体倾斜，叶片抖动，颜色变暗，叶片边缘有轻度卷曲；草本植物倒伏，整株植物体颤动；土表风蚀，表面有轻度粗糙化。当风速（风沙流）为14m/s时，油蒿完全倒伏，有断枝出现，叶片萎蔫卷曲，落叶明显，嫩枝开始干枯，风蚀露根；草本植物已萎蔫倒伏，土层剥离，藓、藻类植物变为土褐色、黑色，表面粗糙、裂缝增大，皴裂明显，已产生掏蚀，有局部坍塌。当风速（风沙流）为19.5m/s，柠条倒伏，迎风面枝条上叶子被吹掉，油蒿比14m/s吹击受到的损伤更大，小枝被折断。吹蚀试验结束后，分别在实验前后进行土壤含水量测定（表3）。

表3 风沙流对油蒿等植物土壤含水量的影响(%)

Table 3 Effect of wind flow on soil water content of *Artemisia ordosica krasch etc*

植物种	0(对照)	5.9m/s	7.9 m/s	9.9 m/s	14.0 m/s	14.0m/s 占对照
油蒿	3.04	2.03	1.54	1.25	1.10*	36.0
小画眉草	3.15	2.73	2.42	1.49	1.29*	40.9
生物结皮	13.34	13.20	10.10	9.82	5.39*	40.4
苔藓	19.62	19.22	18.86	18.43	17.91*	91.3

注：*与对照相比有显著性差异 $p=0.05$

由表3可见，随着风沙流增大，无论油蒿、草本植物、生物结皮还是苔藓，土壤含水量不断下降，以油蒿降低最大，仅占对照的36.00%，而苔藓保水能力最强，失水很少，占对照的91.3%。

19.5m/s风速测试结束后，进行复水试验，结果表明，地表生物结皮、苔藓类孢子植物，迅速呈现绿色，恢复生机。从1996、1998年先后进行的实验可知，油蒿恢复较好，柠条也能恢复，小画眉草虽然倒伏较大，但复水2天后观测，已基本复壮。说明沙坡头人工+天然植物复合群落在风沙流持续吹袭半小时、土壤水分急剧下降情况下，复水后仍能恢复生长。为了说明这几种植物的生理恢复情况，不但在吹风前后分别测定了净光合速率，而且在风吹后5、10天时也分别测定了净光合速率的恢复情况。结果表明，油蒿、柠条、小画眉草在风吹后净光合速率均下降，且风速愈大，下降愈大。在15m/s的风速下，油蒿、柠条5天已基本恢复，小画眉草10天后完全恢复。通过统计分析，10天后的净光合速率恢复情况。

表4 不同风速吹击后植物净光合速率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)的恢复情况

Table 4 Recovery of net photosynthetic rate under different wind velocities

风速	10(m/s)				15(m/s)				20(m/s)			
	吹前	吹后	5天后	10天后	吹前	吹后	5天后	10天后	吹前	吹后	5天后	10天后
油蒿	6.89	5.42	6.91	6.82	7.23	5.12	6.64	7.28	7.32	4.89	6.23	7.41
柠条	6.35	5.24	6.21	6.32	6.80	5.21	6.23	6.77	6.21	4.32	5.39	6.23
小画眉草	5.10 无风数据	2.88	3.28	5.2	5.23	2.68	3.18	5.33	5.26	2.46	3.12	5.38
生物结皮												

风速 25m/s, 半小时后未破损

合速率与吹风前的无差异(表4)。

5 结论与讨论

5.1 现有人工植被的演替阶段

本文研究表明,沙坡头铁路人工植被遵循自然演替规律,随着流动沙丘逐渐变为半固定、固定沙地,植被也相应地从先锋植物花棒、籽蒿等演替到籽蒿+油蒿群落、油蒿+籽蒿群落,直至演替到现在的油蒿+草本植物+孢子植物群落。对沙坡头以及周边地区该群落的调查表明,油蒿群落在该气候带内能够作为主要建群群落广泛分布并稳定生存百年以上,可形成相对稳定的偏途顶极植物群落。因此,沙坡头现有人工植被的主要建群种在演替动态上处于偏途顶极,具有较好的稳定性。虽然有些年份的油蒿出现了大量死亡,但这是由于降水量少所致,属于正常的波动范围,它不会影响该植被的稳定性。如1999年降水量仅140.4mm,4~9月降水量为131.1mm;2000年7月以前我们观测该地区的人工植被,80%的油蒿出现萎蔫、死亡(有的是假死),但在2000年7月27日降了一场60.3mm的大雨后,在9月16日观测时,又有90%的油蒿得以恢复,加上天然更新的补充,植被盖度得以稳定。Macarthur^[12]研究了物种多样性和稳定性之间的关系后认为物种较多的群落稳定性强。

表5 主要固沙植物的种子雨及在土壤种子库中的密度与频度^[9]

Table 5 Seed rains of main sand fixation plants and their density and frequency in soil seed bank

植物	种子雨(粒/m ²)	密度(粒/m ²)	频度	虫害(%)
油蒿	545.57	355.0	95.12	0
花棒	4.54	0.22	7.31	31.92
柠条	0.005 33	0.02	2.4	83.29

油蒿的幼苗很多,达21~108株/m²^[13]。虽然油蒿当年生幼苗死亡率高达70%^[14],但保存下来30%,足以维系较高盖度的植物繁衍。此外,油蒿种子成熟后,逐渐脱离株体,到来年5月尚有约20%残存在植株上,可连续补充到土壤种子库中,在降雨时可及时萌发,提高了繁殖成功率。

5.2 现有人工植被的抗逆性

前人通过研究该人工植被对沙地水分这一限制因子的适应性后,认为优势群落类型油蒿+草本植物+孢子植物已经适应了旱化的生境,将长期波动稳定下去。张继贤等研究认为人工植被建立后,加速了沙丘土壤发育过程。可导致人工生态系统向自然生态系统演变^[15]。张利平从油蒿的气体交换特征方面,研究了油蒿与另一主要固沙植物柠条进行竞争时所表现的适应优势后,认为在沙坡头地区,油蒿具有较低的胞间CO₂浓度和较高的水分利用率,这可能是油蒿适应旱化环境,在与柠条竞争中占优势的重要原因之一^[16]。沙坡头风沙天气十分常见,起沙风速为4.5m/s,多年平均风速为2.8m/s,大于20m/s的风速平均每年有3次。本文的风沙实验表明:风沙流造成植物土壤水分下降,干燥作用加剧,虽然油蒿等株体在大风下枝条干枯、折枝、倒伏,但在复水处理后外形能够很快恢复。从油蒿和小画眉草在风沙流胁迫下的光合作用来看,虽然在风沙流吹击后,对小画眉草的影响比对油蒿的大,但10天后基本能够恢复到原来的生理状态。因此,无论从外部形态还是从生理状况,油蒿群落都具有较强的抗性和恢复能力。油蒿群落之所以能够抵挡风沙流袭击,还因为在该群落形成偏途顶极的同时,地表也形成了生物结皮;据风洞试验观测,沙结皮能够抵抗25m/s的大风而不破损(表4)。风洞试验证明该群落能够适应当地的风沙流及沙尘

强。沙坡头人工栽植区在20年后植被群落已由结构较为单一的灌层演变为灌层+草层+孢子植物的物种较多的群落,从而增加了该群落的稳定性。油蒿群落之所以能够稳定,还取决于油蒿所具有的大量的种子雨(表5)和繁殖对策。

可见,在现有人工植被的主要灌木中,油蒿无论种子雨、密度或频度均最高,且无虫害,所以油蒿

暴袭击。事实上,该人工植被在1993年遭到“五·五”特大沙尘暴的袭击,大风一直延续24小时,其中瞬时风速达26m/s的沙尘暴持续1~1.5小时,而植被安然无恙^[17],充分说明它对风沙流有较强的适应性,在风沙流胁迫下可表现出较强的稳定性。

5.3 演替动态

黄银晓在研究了腾格里沙漠沙生植物演替规律后得出结论,认为“油蒿群落是较稳定的”^[18]。丘明新认为沙坡头地区可能存在多元顶极,“油蒿群落应当是一个亚顶极群落”,而且是“比较稳定的群落”^[19]。但是,若无干扰,按照地带性与气候性的特点,再过相当长时期,待沙土发育成地带性土壤时,油蒿群落也会发育成地带性植被——红砂植物群落或短花针茅群落。同样,该演替系列及其演替顶极,若在人为严重干扰下(如大量樵采,过度放牧等),也会发生逆行演替,即返回到流动沙丘阶段,沙坡头站对面的黄河南岸香山前一带就是明显的例子。

参考文献:

- [1] 党承林.植物群落的冗余结构——对生态系统稳定性的一种解释[J].生态学报,1998,18(6):665~672.
- [2] 周集中,马世骏.生态系统的稳定性[A].马世骏.现代生态学透视[C].北京:科学出版社,1990.54~71.
- [3] Barbour M G, Burk J H, Pitts W D. Terrestrial Plant Ecology (2nd.ed.)[M]. Menlo Park, California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.,1987.156~316.
- [4] 蔡晓明.生态系统生态学[M].北京:科学出版社,2000.74~77.
- [5] 宝音陶格涛,成格尔,张丽云.退化羊草草原浅耕翻处理植物群落恢复演替的研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),1999,(30)3:354~359.
- [6] 郑元润.大青沟植物群落稳定性研究[J].生态学报,1999,19(4):578~580.
- [7] 邱国玉,石庆辉.沙坡头人工固沙区水分动态和植被演替[A].中国科学院沙坡头沙漠试验研究站.中国科学院沙坡头沙漠试验研究站年报[C].兰州:甘肃科技出版社,1993.120~129.
- [8] 石庆辉.腾格里沙漠东南缘沙坡头段铁路北侧人工植被演替动态[A].中国科学院沙坡头沙漠试验研究站.中国科学院沙坡头沙漠试验研究站年报[C].兰州:甘肃科技出版社,1993.89~107.
- [9] 梁学功,王刚.沙坡头人工固沙区种子库动态及对植被演替方向预测[A].中国科学院沙坡头沙漠试验研究站.中国科学院沙坡头沙漠试验研究站年报[C].兰州:甘肃科技出版社,1993.108~119.
- [10] 赵兴梁.沙坡头地区植物固沙问题的探讨[A].中国科学院沙坡头沙漠试验研究站.腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究(二)[C].银川:宁夏人民出版社,1988.50.
- [11] 靖边县地方志编纂委员会.靖边县志[M].西安:陕西人民出版社,1993.5.
- [12] Macarthur R H. Fluctuation of animal population and a measure of community stability[J]. Ecology,1955,36:533~536.
- [13] 刘熳心,黄兆华.腾格里沙漠治理40年[J].中国沙漠,1997,17(3):220~224.
- [14] 张强.油蒿群落更新的研究[J].生态学杂志,1983,(2):14~19.
- [15] 张继贤,杨达明.沙面结皮的自然形成过程及人工促进措施的探讨[A].中国科学院沙坡头沙漠试验研究站.腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究[C].银川:宁夏人民出版社,1980.205~220.
- [16] 张利平,王新平,刘立超,等.沙坡头主要建群种植物油蒿和柠条的气候交换特征研究[J].生态学报,1998,18(2):133~137.
- [17] 刘家琼,李金贵,张民力.宁夏中卫地区“五·五”特大沙尘暴灾害调查[J].中国沙漠,1993,(3):72~73.
- [18] 黄银晓,汪健菊.内蒙古腾格里沙漠的植被及其改造利用意见[A].中国科学院治沙队.治沙研究第四号[C].北京:科学出版社,1962.181.
- [19] 丘明新.油蒿植物群落与固沙造林关系的研究——兼论用该群落在沙坡头建立人工植被的可能性[J].西北植物学报,1984,(1):29~39.

Exploring the stability of artificial vegetation at Shapotou section along Baotou-Lanzhou railway: proceeded from succession and wind-resistence capacity of vegetation

YU Yun-jiang^{1,2}, LIN Qin-gong³, GAO Yong-gui³, QIU Ming-xin², LIU Jia-qiong²

(1. Key Lab of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China ; 2. Shapotou Desert Experimental Research Station, Institute of Cold and Arid Regions Environment and Engineering, CAS, Lanzhou 730000, China; 3. Zhongwei Sand Control Forestry Center, Lanzhou Railway Bureau, Zhongwei 751702, China)

Abstract : Based on community succession and analysis of sand flow, the stability of community was studied. In Shapotou area, the artificial communities in which *Artemisia ordosica* community is dominant are adaptable to the habitat environment in long-term natural succession and they are stable. The results of observation and comparative study of vegetation succession in Shapotou and the vicinity showed that existing vegetation communities are evolving towards disclimax and in the future long periods of time *Artemisia ordosica* community will be stable. These successions can facilitate the evolution of the local artificial vegetation towards more stable artificial natural compound ecosystem and even natural ecosystem. Furthermore, the research result of impact of wind flow on plant and earth-surface wind-tunnel experiment result showed that main vegetation and earth-surface of Shapotou at present can resist greater stress from wind flow and the ecosystem that can stand sand-dust storms has been formed.

Key words: vegetation succession; wind flow; disclimax community; stability