

毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式

张新时

(中国科学院植物研究所, 北京 100044)

摘 要

本文全面分析了毛乌素沙地生态过渡带的自然环境、植被的现状和历史变迁过程,以定性和定量相结合的方法阐述了环境和植被之间的动态关系,在此基础上提出了该地区草地建设的原则及优化生态模式,其中包括:水分平衡原则,半固定沙丘持续发展原则,网带状种植原则,滩地草、农、林复合系统模式、软梁半人工草地复合系统模式和硬梁天然草地放牧系统模式。

关键词 沙漠;草地;优化模式;生态

毛乌素沙地是鄂尔多斯高原的主体部分,是具有特殊地理景观的生态过渡地带。其特殊意义在于这是一个草原气候条件下的沙地,处于荒漠草原-草原-森林草原的过渡地位,是以草地放牧业为主的牧、林、农交错地区。由于沙地所造成的生态多样性与优越的水分条件,这里曾是广泽清流、水草丰美、牛羊繁茂的草地,但由于历史上的长期战乱破坏,不合理的垦荒与樵采,尤其是不合理的农垦和过度放牧引起了严重的草地退化、土地沙化与荒漠化过程,光裸的流动沙丘与严重碱化的滩地成为优势的景观,畜牧业与农、林业遭到了极度的破坏。自七十年代起由于地方政府重视植被建设,积极种草造林,使部分沙化土地得以控制恢复,农、林、牧业得到改善,但由于近年来随着人口增长而引起的垦殖与过量发展家畜的压力,毛乌素的荒漠化趋势仍未得到彻底控制,一个在经济和生态上优化的生态系统与生产体制仍有待建立与完善。本文试图根据近年来的调查研究,在分析毛乌素沙地生态地理特征的基础上,提出沙地草地建设的一些基本原则与对优化生态模式的探讨。

一、毛乌素沙地的生态地理背景

对鄂尔多斯高原与毛乌素沙地自然地理的考察与研究早在十九世纪时就已开始。Obrucher(1985)对这里的地质考察奠定了现代地理学认识的基础^[3],廿世纪50—60年代初期的中国科学院治沙队考察,80年代的中国科学院黄土队考察,三北防护林造林立地条件类型研究与内蒙古植被图与草地图的遥感调查制图均加深了对这一地区地理特征的研究。现在,从景观生态学的观点与方法对鄂尔多斯的研究,特别强调对其生态过渡带

本文制图得到本所植被数量生态学开放实验室杨莫安同志协助,部分图解由综考会慈龙骏同志提供,气候因子的回归公式计算由中国林科院计算中心田永林同志协助,并蒙伊克昭盟林沙所刘永吉同志提供资料,谨致谢意。

(Ecotone)性质的阐明与土地生态类型空间镶嵌性的划分尤其具有重要的现实与理论意义。

在生态地理方面,鄂尔多斯高原是一个多样的,或多层次的过渡带。从大气环流系统来说,它处在蒙古-西伯利亚反气旋高压中心向东南季风区的过渡;从气候来说,它是一个由西北而东南向,从干旱-半干旱-湿润的过渡带;从植被与自然地带来说,则是在大陆荒漠-草原-落叶阔叶林地带之间的过渡带;在地质地貌方面,它处在戈壁-沙丘带-黄土高原的过渡区;从水文系统来说,则处在大陆内流区向外流区的过渡,也是由风蚀地带向水蚀地带的过渡;在土壤区域方面,则处于由半荒漠的棕钙土-栗钙土-森林草原黑土的过渡;在生物区系方面,则是由古地中海的中亚旱生区系向东亚森林区系的过渡;在产业方面,它是牧区向农区与工(矿)业区的过渡。这些自然与经济文化方面的复杂过渡与融合交错决定了毛乌素沙地在生态与经济方面的多样性,也意味着它在环境与生态系统方面的敏感性。

毛乌素沙地的土地生态类型受到长期人类活动:农垦、樵采与过度放牧的影响与由此引起的荒漠化:沙化、生物生产力退化与土地盐碱化的作用而有特殊的划分因子与标准,并应考虑到合理的经营方向与目标。因而与较少受到干扰与破坏的地区有所不同,一些生物与环境的次生因子往往具有较重要的分类意义。地区的生态过渡性也显著地影响到土地生态类型的划分。

(一) 地理位置与地形

毛乌素沙地位于鄂尔多斯高原的中部与南部,处在北纬 $37^{\circ}30'$ — $39^{\circ}20'$,东经 $107^{\circ}20'$ — $111^{\circ}30'$ 之间,大致占两个纬度与4个经度,总面积约 $40\,000\text{km}^2$ 。黄河从西、北、东三面环抱高原、东南背倚黄土高原、西北敞向蒙古戈壁荒漠,处在戈壁向黄土高原的过渡地带。在行政上则位于内蒙古的伊克昭盟、陕北榆林地区与宁夏东南盐池地区的三角地带。其海拔高度一般在 $1\,300$ — $1\,600\text{m}$ 之间,由北部与西部向东南降低。地形主要是起伏的丘陵、梁地、缓平的洪积-冲积台地与宽阔的谷地或滩地;还有几条河流切割台地形成河谷汇入黄河。在台地与滩地上大部覆盖着不同流动或固定程度的沙丘与沙地,沙丘高度一般在 5 — 10m 以下。滩地有埋藏深度不等的地下水,或在盆谷底部形成碱淖(湖),故称为“毛乌素”,为劣质水之意。毛乌素沙地的北部为黄河的冲积平原,地势低平,为鄂尔多斯主要农业区;在东部与南部则逐渐过渡为黄土丘陵与低山。沙地西北方有高大流动沙丘与沙山形成的库布齐沙漠,生态条件更为严酷。黄河以西、以北则为阿拉善与腾格里的戈壁与沙漠,已进入到荒漠地带。由于毛乌素所处的自然地理与行政位置,决定了该地区以草畜牧业为主,牧、林、农相结合的土地利用格局。尤其是近年来在其东北部有以“黑金三角地带”著称的巨大煤炭基地的形成与发展,更加促进了该地区作为商品畜牧业与果蔬基地的必要性与重要意义。这里与其东南部水土流失严重、地形崎岖切割的黄土高原相比,具有更加有利的发展农、林、牧业的条件。

(二) 大气环流与气候

蒙古-西伯利亚反气旋高压中心大致处在本地区西北方中蒙交界处的蒙古戈壁与阿拉善戈壁一带,这是在冬春半年控制中亚东部与东亚的大陆性高压系统,对亚洲东部的大

陆性: 严冬、早春与多风、少雨的气候有极大的贡献。本地区在冬春两季受到这一系统的强烈控制。但在夏季时, 东南季风系统可以远达于本区, 西南季风也在其南边经过, 因此夏季降水集中, 常形成暴雨, 这与海洋暖湿气流遇到西北大陆气团而发生锢囚作用有关。在毛乌素沙地中心的乌审旗境内就存在一个暴雨中心。但是本地区基本上是从中温带向暖温带过渡, 属于干旱-半干旱气候, 尤其是春旱十分显著, 冬春多大风, 常形成尘暴, 是沙化的动力。

1. 辐射与温度状况 毛乌素的辐射是相对丰富的, 其日照时数、日照百分率与辐射量均由东南向西北增加。年日照时数在东南部一般为 2800—2900 小时, 在西北部则为 3000—3100 小时。由东南至西北日照百分率由 62% 增至 70%。总辐射则由 138 kcal/cm²。年增至 150 以上。但由于纬度与垂直高度增高的双重作用, 温度却由东南向西北递减, 其年均温在 6—9℃ 之间。最冷月(1月)均温 -10℃ 对农林草业有较大意义, 在东南部为 -8.5—-10℃, 大致相当于暖温带的北界, 在西北部则为 -11 至 -12℃。在 1 月温 -10℃ 界线以南多数暖温带果树可开花结果与露天越冬, 并可种植水稻与棉花。≥10℃ 积温 3000℃ 的界线也大致与此界线相符合。最热月(7 月)均温在 20—24℃ 之间, 极端最低温 -28℃—-30℃。各温度指标与地理坐标(纬度、经度与海拔高度)的回归关系如下:

$$T = 14.2 - 0.000164L^3 - 0.000002H^2 + 67964^2$$

$$WMT = [1/(-0.000562 + 0.000001H + 0.00000012G^2)]^{0.5}$$

$$CMT = \left[3604 - 0.0095L^3 - 0.672H + \frac{19249984}{G^2} \right]^{1/3}$$

$$MAX = \ln[5.98 \times 10^{17} + 0.631L - (1.21 \times 10^{14})H - 8.43 \times 10^{12}L^3]$$

$$MIN = 8.1 - 0.0278L^2 + \frac{5816282}{H^2}$$

$$SUMIO = 5563 - 6.03 \times 10^{-4}H^2 - 0.0281L^3$$

式中, T: 年均温℃; WMT: 最热月均温℃; CMT: 最冷月均温℃; MAX: 绝对最高温℃; MIN: 绝对最低温℃; SUMIO: >10℃ 年积温; L: 纬度; G: 经度; H: 海拔高度。

2. 降水 毛乌素沙地的降水梯度明显地由东南东向西北西递减, 从 490 到 250mm, 这大致是由森林草原到荒漠草原的降水范围。月降水的分布明显地集中于 7—9 月, 约占年降水的 2/3 以上。在冬春的 6 个月期间降水很少, 通常不多于 20—30mm。积雪期约 0.5 到 1 个月, 地表没有稳定的雪盖, 不利于越冬作物及春季土壤湿度的保持。但是偶然发生的暴雪则可导致家畜的严重损失。降水的年变率很大, 而且多呈暴雨态集中在几次降落, 也大大降低了降水的可利用率。

降水(P)与地理坐标的回归关系式如下:

$$P = 10^{(-45.3 + 22.81 \ln G + 1894/L^3 + 0.9 \times 10^{-4}H^2)}$$

3. 干燥度 毛乌素沙地的水热平衡状况可以利用潜在蒸散率(PER)来评估。由东南东到西北西, 其递增范围为 0.8—2.5。这表示在该地区的东南部, 可能蒸散与降水趋于平衡, 接近于森林草原带。毛乌素大部地区的 PER 为 1.1—1.5, 为典型草原带; 而趋于西北西, 属荒漠草原带, 向荒漠过渡, PER 高达 2.0 以上。毛乌素以西, PER 超过 2.5, 进入荒漠地带。

根据 Walter 的生态气候图解分析毛乌素沙地各气候站的特征,基本上可分为两种类型,即严重春旱的西部各站,其干旱期始于3月中旬至6月底7月初,延续约3—5个月。另一类型为中度春旱类型,其干旱期始于4月初而延至6月中,约2.5个月。这两个类型相当于毛乌素沙地的荒漠草原带与典型草原带。

各干燥度指数与地理坐标的回归关系式如下:

$$\text{PER} = -17.5 + \frac{306762}{G^2} - 0.1 \times 10^{-5} H^2 - 7929/L^2$$

$$K = 77.4 - 7075/G + 0.00228H - 0.311L$$

$$\text{IM} = 485 - 5733481/G^2 - 0.00118L^3 + 1.2 \times 10^{-5} H^2$$

式中,PER: Holdridge^[2] 潜在蒸散率; K: Kira 湿润指数; IM: Thornthwaite 湿度指数

(三) 地貌与基质

毛乌素沙地地貌与基质是以中生代侏罗纪与白垩纪的岩石为骨架,经过第三纪与早第四纪水成作用为主的洪积与冲积过程形成的台地,再经过晚第四纪,尤其是全新世与近代风成作用为主的风沙活动而造就今日的地表外貌。

白垩纪的绿色和红色砂岩经过剥蚀而成为低山与丘陵状的梁地,一般在海拔1500—1600m以下,其顶部与坡地残积或坡积的粗骨质的砂岩风化物,掺有细土,土层十分浅薄贫瘠,当地称之为“硬梁”。本地区东南边缘低山顶部开始有风积的黄土状母质堆积,厚度由2—10m不等。

在山坡下部与宽谷中则填充着下部为第三纪,上部为第四纪的洪积物与冲积物层,其厚度一般在2—10m或更多,通常为沙壤质、细沙质与沙砾质的间层,尚有厚约20—30cm的卵砾石层;下部为胶结较差的松软红色砂岩。再向下则为中生代的基岩—沙岩、砾岩或板岩。这些洪积—冲积层常形成缓斜平坦的台地,或被水蚀切割成梁丘状,当地称之为“软梁”,它们在最高的“硬梁”之下形成第二级台阶,常呈准平原状。

在梁地之间或台地上被河流切割而形成的宽阔河谷或古代的湖盆中形成大面积河湖冲积的滩地,基质为细沙质或沙壤质的现代冲积物,为现代侵蚀的基底,亦即前述“硬梁”与“软梁”两级台阶下的基底。

但是在软梁地与滩地上,由于风成作用对过去河湖冲积—洪积物的筛选,其中最细的粉尘被风吹扬到空中而携带到东南部,补充黄土高原的沉积,留下的沙粒受风力吹扬滚动与堆积而形成本地区广泛分布的沙丘与沙地。按照中亚干旱地区基质与地貌的风成格局,即按主风方向由荒漠中心向外顺序排列着:砾石戈壁—沙漠(或沙地)—黄土沉积的空间分布规律,毛乌素沙地正处在沙丘带的外部,向黄土高原过渡的位置,其西北的阿拉善戈壁荒漠与沙子流动性强的腾格里沙漠与库布齐沙漠则在风力最强劲的内部地带。认识到这一点的重要意义在于明确了毛乌素沙地的沙主导作用的必然性,这也是对气候作用为主的地理地带性的重要补充,其生态意义将在下一节提及。

按照沙层的厚度或高度,堆积形态与流动程度,又可分为复沙厚度不同的沙地,不同高度的流动沙丘、半流动/半固定沙丘与固定沙丘。据毛乌素沙地的气候条件估计,其代

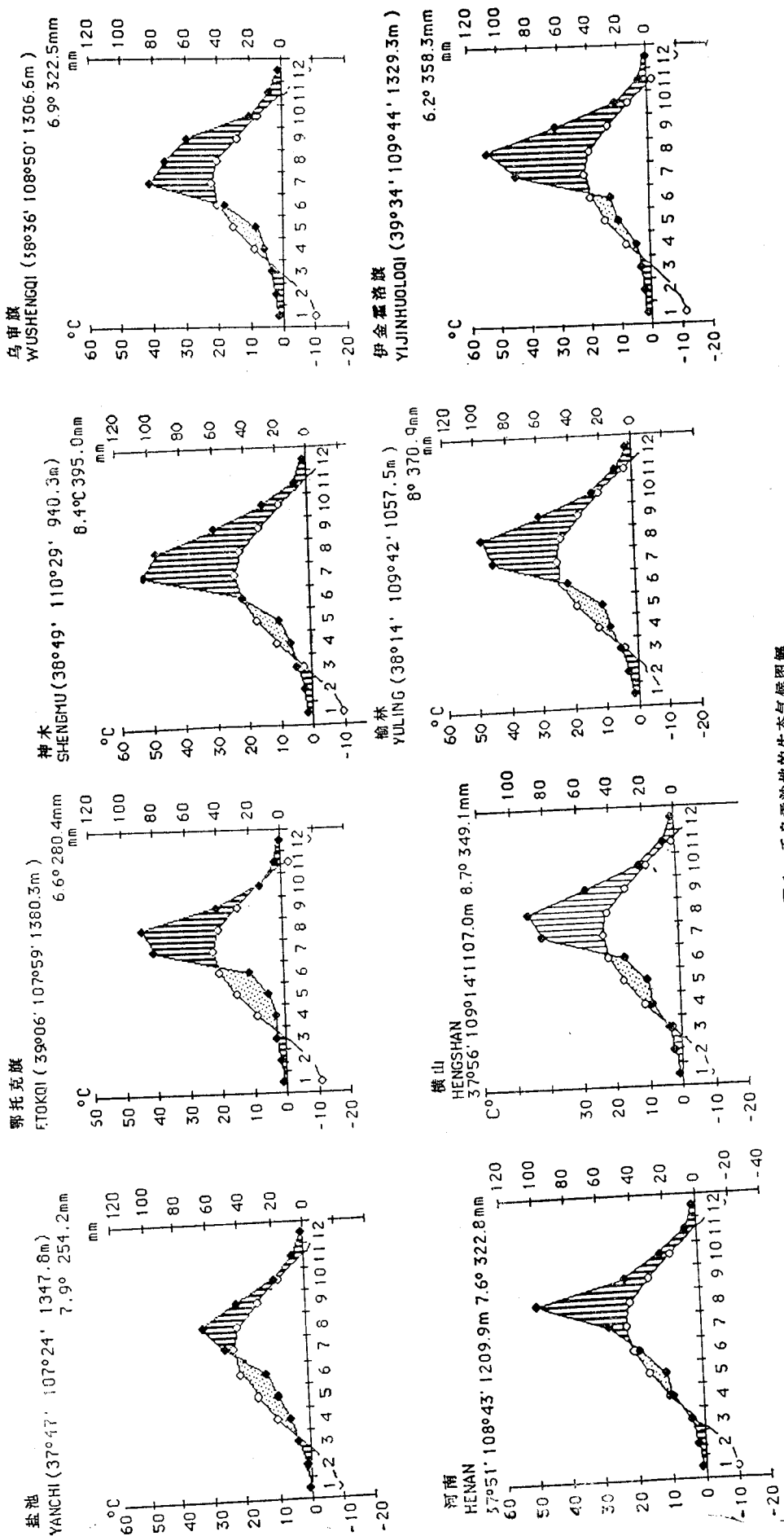


图1 毛乌素沙地的生态气候图解
Fig.1 Ecoclimatic diagram of the Maowusu sandland

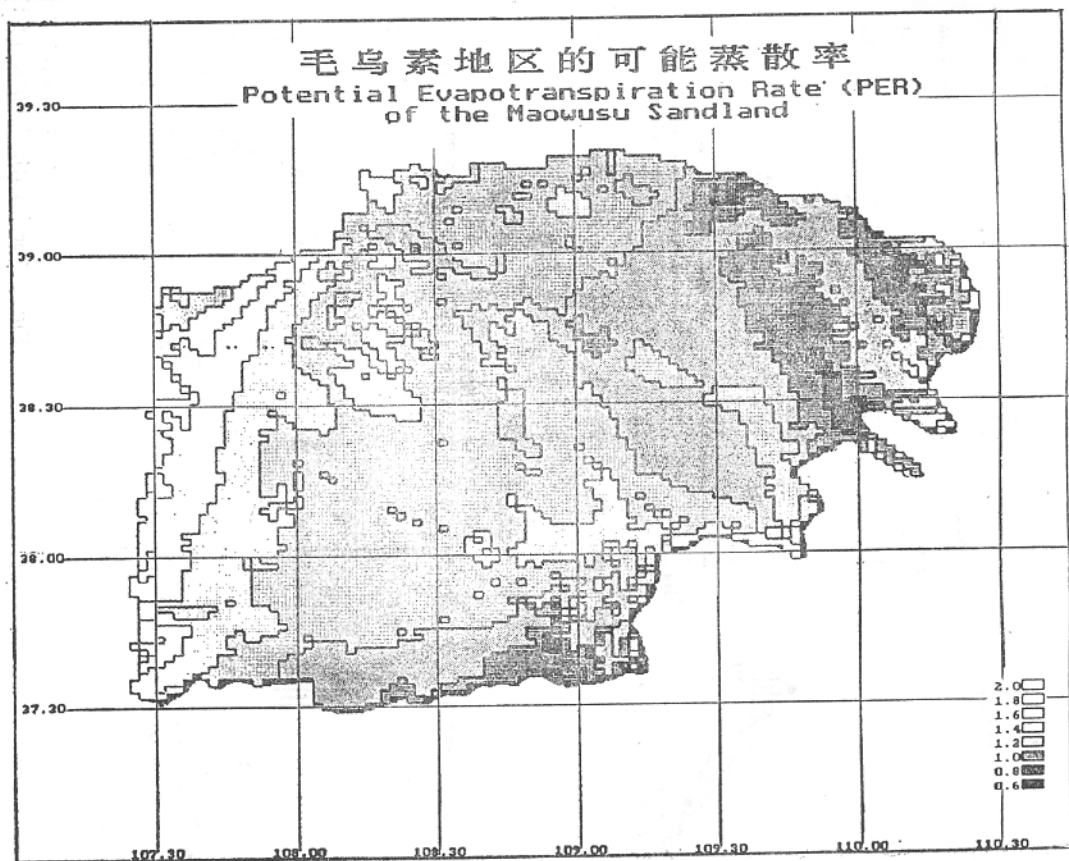
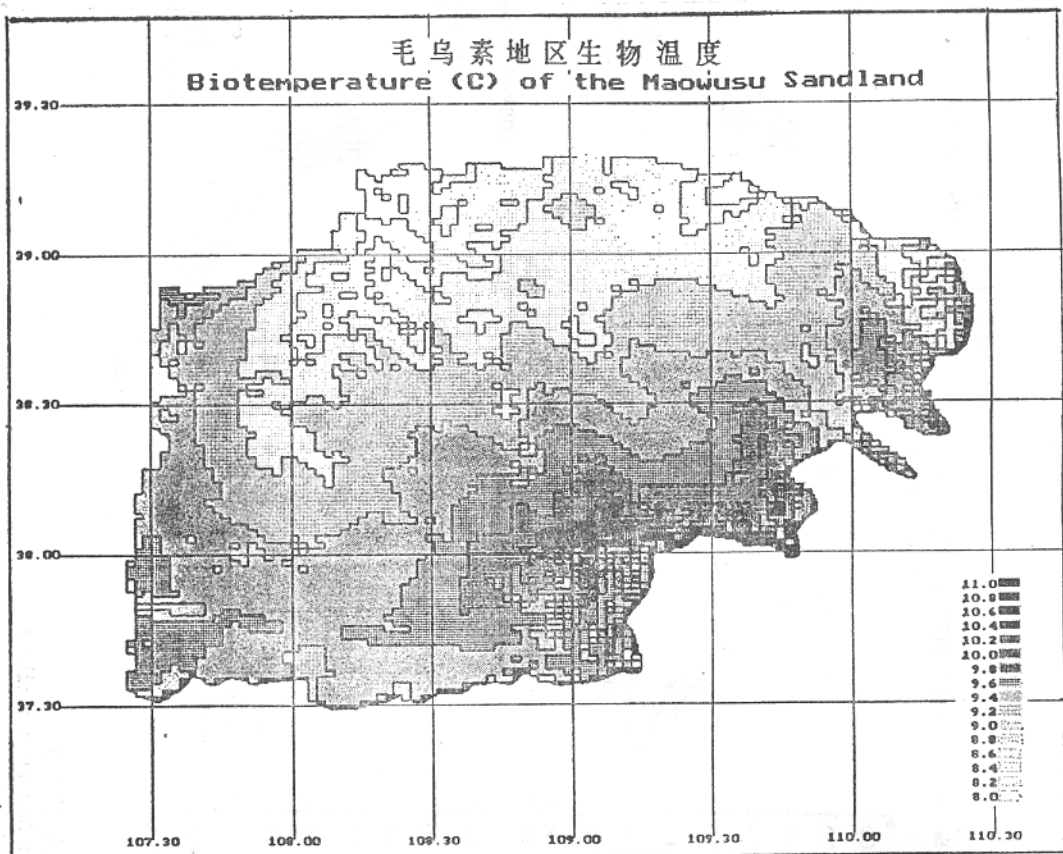


图2 Fig. 2

表性的沙丘与沙地应是半固定-固定的、中等高度(5—10m)或以下的沙丘与沙地,在未遭到人为活动破坏的情况下,当有被草原禾草或沙生灌木所大部覆盖的植被,历史上也曾有对该地“茂草清流”的描述。但在人类恶性活动长期对植被破坏的情况下,引起了荒漠化过程发展,终而导致了大面积流沙肆虐,寸草不生的严重退化,极大影响了人民生活与生产的发展。

(四) 水 文

毛乌素沙地的水分供应来自大气降水、河川与湖泊,以及地下水。其中年平均降水量为250—450mm,由东南向西北减少,降水集中在7—9月,占全年的60—70%以上,且多属暴雨,年变率大,冬季降雪甚少。因此降水缺少保证,春旱严重,低于平均降水的早年时有发生,成为发展草地畜牧业的限制因子。本地有较丰富的地表水与地下水。仅伊克昭盟就有大小河流近100条,湖泊820余个,其中外流河流域面积3万多平方公里,内流河流域8千平方公里。这些河流多属间歇河或为河道比降大、洪峰高与含沙量大,较难用于灌溉。湖泊则多为含盐、碱的内陆湖,多不宜灌溉。

本地区的地下水具有较大的开发潜力,据估计,在伊克昭盟的浅层地下水(开采深度70m上下)补给量约22亿 m^3 ,可开采储量为13.45亿 m^3 ,主要为第三系、白垩系、侏罗系与三叠系的含水层,局部有第四系冲积、洪积层的承压水。其中白垩系含水层厚度一般为200—600m,为良好的供水水源。在滩地的浅层地下水位约在0.5—1.5m,但多属矿化度较高的咸水,局部可供沙地灌溉。

(五) 植被与土壤¹⁾

沙地的天然植被经过上千年的人为活动开垦、破坏与过度放牧利用几乎已经荡然无存,仅在极少数地段还能见其残存的片段或个别的植物代表,现有的植被多是次生的或人工的。

毛乌素沙地的植被大致可以划分为三个(亚)地带与三大类群。从植被地带来说,其西部边缘属于向荒漠过渡的荒漠草原亚地带,占90%以上的中部与东部则属于干草原亚地带。在东南边缘,从气候上来说,开始向森林草原过渡,但由于沙基质的覆盖,在植被上的差异不显著,一般仍划为干草原亚地带。本区的三大植被类群是梁地上的草原与灌丛植被,半固定、固定沙丘与沙地上的沙生灌丛,以及滩地上的草甸,盐生与沼泽植被。与其相对应的土壤类型是梁地上的栗钙土或淡栗钙土,沙地上的各类风沙土,以及滩地上的草甸土、盐碱土与沼泽潜育土。

毛乌素沙地大部分位于淡栗钙土干草原地带,向西北过渡为棕钙土半荒漠地带,向东南过渡为黄土高原暖温带黑垆土地带,恰处于几个自然地带的过渡地区。因此,土壤也表现出这种过渡特点。分布上表现为由东北-西南向排列的水平地带性的变化,即淡栗钙土和棕钙土。南部和东南部黑垆土的分布受局部地形和母质的影响未表现出这种排列的地带规律,而是分布在黄土高原的沙黄土母质上。草原地带的土壤以风沙土为主,地势高处也有黄绵土分布。

1) 本段摘自“毛乌素沙地立地分类评价和适地适树的研究”,由张新时执笔。

1. 梁地植被与土壤 在本地区未覆沙的硬梁地与局部软梁地上分布着反映气候地带性的草原与灌丛植被,在西部荒漠草原亚地带以几种荒漠草原群落为主,主要是:

(1) 戈壁针茅(*Stipa gobica*),沙生针茅(*S. glareosa*)与冷蒿(*Artemisia frigida*)组成的荒漠草原群落。群落中除旱生草原成分外,出现了一些超旱生的荒漠成分,如多根葱(*Allium polyrrhizum*)、伏地肤(*Kochia prostrata*)、亚菊(*Ajania achilloides*)、银灰旋花(*Convolvulus armannii*)等。土壤为棕钙土。

(2) 超旱生灌木、半灌木与戈壁针茅和沙生针茅的荒漠草原群落,在禾草中混生一种或数种超旱生的荒漠灌木:藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、蒙古矮黄花木(*Ammopiptanthus mongolicus*)或半灌木:红砂(*Reaumuria soongarica*, *R. kashgarica*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)、木盐蓬(*Salsola arbuscula*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla* var. *gracilis*)等,土壤为碳酸盐棕钙土。

在中部与东部的干草原亚地带的未复沙梁地上则分布着:

(3) 长芒草(*Stipa bungeana*)与兴安胡枝子(*Lespedeza dahurica*)是典型的草原群落,土壤为淡栗钙土。在薄层石质的淡栗钙土地段则出现小片的百里香(*Thymus mongolicus*)群落。

(4) 黑格兰(*Rhamnus erythroxylon*)灌丛也是草原亚地带中硬梁地上的旱生灌丛,过去曾有广泛分布,现仅有少数的残存片段。

2. 沙生植被与土壤 沙生植被实际上是毛乌素沙地最有代表性和分布最广的类群。从气候条件推断,沙地的西北部与中部过去大部分是半固定的灌丛沙丘,而东南部则为固定的灌丛沙丘。光裸或先锋植物稀少的流动沙丘是在不合理利用状况下的沙地荒漠化所造成的结果。

本地区西部荒漠草原亚地带的沙生植被具有明显的荒漠化特征,在群落中出现大量超旱生的荒漠植物成分。如狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)仅出现于北亚地带,为荒漠草原的明显标志。此外,如驼绒藜、兔唇花等仅出现于西部的沙丘上。

中部与东部干草原亚地带的沙生植被十分丰富多样,并保留一些可能是原生型的群落片段。主要的类型如下:

(1) 白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)群落是半流动沙丘上植被发生演替早期的代表,适于流动性较大的沙地,群落盖度在15%以下。群落组成除白沙蒿外,其它种类较少。当沙地趋于固定,白沙蒿就逐渐被其它的演替种类所代替。由于白沙蒿耐流沙的生态特性,故是用以固定流动沙丘的先锋植物。

(2) 黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)又称油蒿,是毛乌素沙地中分布最广泛的沙生植物群落的优势种,遍见于半固定与固定的沙丘沙地,被认为是沙地天然植物群落。但当沙丘固定程度增大到一定程度时,则有趋于衰退的迹象,看来是在连续强度放牧状况下得以维持稳定的偏途顶极群落类型。在西部荒漠草原中的黑沙蒿群落有较多荒漠成分加入,在中部东东部则以草原成分为主,甚至有一些中生草甸成分出现。黑沙蒿群落是当地主要的天然放牧场,并具有较好的固沙功能。

(3) 杨柴(*Hedysarum mongolicum*)灌丛在本区南部常成片分布于半固定沙丘与波状起伏的固定沙地上。杨柴对流沙有良好的适应性,在本地区广泛用于飞机播种,在流沙

地上形成茂密的灌丛。但过分密集的杨柴群落会因沙地水分蒸腾消耗造成强烈的自然稀疏而退化。以合理的稀疏密度与成行带状播种杨柴用于固定流沙及割草场或放牧场, 具有很大意义。

(4) 柠条(*Caragana intermedia*) 灌丛天然分布于硬梁复沙地上。柠条具有良好的固沙性能, 耐沙埋、抗风蚀, 在沙地上形成稳定的群落, 又是优良的饲草地, 耐啃食与刈割, 是本区防护林主要的灌木树种, 也是草-林-农复合系统(*Agroforestry*)中灌木带(层)的优势组成者。

(5) 沙地柏(*Sabina vulgaris*) 灌丛是本地区东南部固定沙丘上的天然植被, 如今仅残存于局部地段。沙地柏的覆盖度可高达 90%, 形成郁密青翠的全面被盖而并无衰退与干枯的迹象。这是由于沙地柏具有减少蒸腾的特殊生理功能与防止沙地蒸发的作用。沙地柏虽不宜作饲草, 但其强大的固沙性能却应得到很大重视。沙地柏灌丛下有明显的成土过程, 其土壤为有机质含量较高的暗色变质栗钙土。

(6) 沙柳(*Salix cheilophila*), 乌柳(*S. microstachya*) 灌丛, 俗称“柳湾”, 即在流动沙丘与半固定沙丘的丘间低地或沙丘与滩地边缘成带状蜿蜒的柳灌丛, 由沙柳与乌柳分别构成群落或二者混生的群落。柳湾有丰富的潜水补给, 潜水位一般在 0.5m, 且是流动的淡水, 雨季时有地表积水, 土壤为湿润的草甸土。柳灌丛下有丰富的草甸草类, 适于大畜放牧。沙柳不仅有良好的防风固沙性能, 又可用作饲草、编织、建筑与薪柴。但天然的柳湾灌丛已遭到严重的破坏, 应在适宜地段予以恢复重建, 作为防护林的重要组成部分。

除上述几类沙生植物群落外, 在毛乌素沙地的东南隅还有片段的灌丛, 由若干种中早生的灌木, 如黑格兰(*Rhamnus erythroxylon*), 小叶鼠李(*Rh. parvifolius*), 丝棉木(*Evonymus bungeana*)等组成^[1]。它们可能是毛乌素沙地中森林草原亚地带昔日原生植被的残遗指示者。

3. 滩地植被与土壤 毛乌素沙地的滩地总是与较高的潜水与盐碱化相联系的, 这里发育着靠潜水补给的草甸植被。一些滩地底部常有碱湖存在, 沿湖滨分布有盐生植被与沼泽。

(1) 寸草(*Carex stenophylla*)草甸, 俗称“寸草滩”, 是滩地常见的群落类型, 潜水位一般在 0.5m 以内, 土壤是湿润的草甸土。寸草占优势的草甸低平致密, 如一片绿垫, 盖度可高达 90% 以上, 高度一般在 10cm 以下。几乎整个生长季节都有家畜在此放牧, 在过度啃食的情况下则发生碱化。

(2) 马蔺(*Iris ensata*)草甸分布在滩地中稍高与碱化的地段, 往往是由于过度放牧而形成的次生草甸群落, 具碱化草甸土。

(3) 芨芨草(*Achnatherum splendens*)草甸分布在潜水位 1—5m 的较干燥的滩地上, 土壤盐渍化较重, 发育盐化草甸土。

(4) 盐生植物群落分布于碱湖湖滨或盐碱化的滩地, 以碱蓬(*Suaeda corniculata*与 *S. heteroptera*)群落最为常见。在荒漠草原亚地带则系盐爪爪(*Kalidium foliatum*, *K. cuspidatum*)与白刺(*Nitraria tangutorum*, *N. sibirica*)的盐生群落。

虽然毛乌素沙地具有多样的植物群落类型, 但各类灌丛植被却是优势和最显著的类型。这是由于毛乌素的地带性位置, 沙的优势覆盖和水分特点决定了灌木成为“地带性”的

植物生活型,而不是乔木或草类。灌木地上部分多分枝的茎干与近地的树冠具有很强的防风固沙能力,其根系分布深而广,能在广大的沙体中获取水分或达到潜水层。灌木枝条生长迅速与产生不定根的特性则使它能随着沙的堆积向上长高,甚至可在高达 10m 的流动沙丘上枝繁叶茂。毛乌素沙地中大多数的灌木树种又是良好的饲料,比较耐啃食与刈割。因此,在该地区防护林的建设中,灌木具有极大的作用。

二、毛乌素沙地的生态特点

在前述的生态地理背景基础上,毛乌素沙地最突出与关键的生态因子,成分或亚系统是:沙、水分、地貌(基质)控制与灌木生活型。

(一) 沙生态

由于毛乌素处在亚洲中部干旱区强度大陆高压反气旋吹蚀作用下的空间地理格局:戈壁—沙丘带—黄土带的中间地带,它基本上是一个沙质覆盖的地域。在大气候控制下,沙就成为这里主要的生态因素,风沙作用对生态过程有重大的作用。在经营失控的情况下,可能引起严重的土地沙化。但是沙的大量存在与覆盖,固然有其不利的生态特点,如:持水保肥性能差,基质的不稳定性,风沙的机械危害,温差剧烈等;然而在干旱草原气候条件下,沙又有其特殊有利的方面。

1. 沙对环境的有利作用在于

- (1) 沙覆盖在干旱气候条件下,阻止和减少蒸发,有利于水分的下渗、水气的凝聚与在深层的积贮,形成“地下水库”;
- (2) 沙覆盖防止土地盐碱化的发生与发展;
- (3) 在不同基质条件的下垫层上,沙往往是有利的覆盖层;
- (4) 沙所造成的昼夜温差增大,在一定程度上有利于生物量的积累与糖分的形成;
- (5) 沙的疏透性有利于深广根系的发展;
- (6) 沙覆盖丰富了生境的多样性,不仅形成了沙的生境,且在沙丘的不同部位造成了水分的再分配与生存条件,等等。

2. 沙对生态系统,尤其是植物的影响在于

- (1) 由于沙生境的多样性,导致了生物与生态系统的多样性。与相对单调的草原植物群落相比,沙地生态系统与生物成分的丰富度大为增加,植物群落类型多样;
- (2) 沙地具有多样的植物生活型:乔木、灌木、草类与不同的生态类型,大大丰富了生态系统的种类组成;
- (3) 形成较多样的景观生态单元,不仅在群落内部有丰富的食物链网。且导致不同单元间的交流,从而维护着整体景观系统与各个生态系统的稳定性,充分利用与发挥生境的生产潜力;
- (4) 植物与植被在沙地生态系统中的核心与关键控制作用显得更为重要,这是由于沙地生态系统固有的脆弱性,即一旦植被遭到了破坏,系统的平衡失调,风的吹蚀与搬运作用就会形成流沙,荒漠化过程迅即发生。因此沙地具有荒漠化的巨大潜在威胁,植被是其控制因素。

3. 沙造成了生产的多样性

沙地生境与生物的多样性造就了毛乌素生产的多样性与巨大的生产潜力。因此可以多层次和循环地利用沙地丰富的能量、水土与生物资源,形成农、林、牧、园及有关副业与加工业的综合发展。

因此,沙可以形成“沙化”也可以得到“改善”,关键在于合理保护、规划,开发和利用。这一切均应建立在对沙地生态系统与景观进行深入系统研究的科学基础上。要随时记住沙地的生态“脆弱性”,以免在经营和利用不当时发生系统的退化与破坏。

(二) 沙地水生态

水是毛乌素沙地的限制因子。大气-沙-植物的水分关系与平衡是本地区最重要的过程与关系。从理论上说,本地区干燥度或可能蒸散与降水之比为 2—3.5,即耗水超过降水 2—3.5 倍,水分严重不足。但由于沙对水分的再分配、凝聚、贮积与防止蒸发可以局部地使植物获得多于大气降水的供给,从而生长乔木、灌木等在干旱草原条件下通常不出现的偏中生的植物。但是这些偏中生植物在沙地的出现不是无限制的,必须维持大气-沙-植物之间水分的收支平衡。

$$TR + EV + PC + RO \leq Prec + RI + GW + ST$$

其中: TR: 植物蒸腾耗水; EV: 土表蒸发耗水(水支出); PC: 沙地深层渗透水; RO: 通过地表与地下径流流出水; Prec: 大气降水; RI: 地表与地下径流补充水; GW: 潜水供应(水收入); ST: 沙层持水

如果在沙丘丘间洼地条件下,通常不存在地表与地下径流流出水($RO = 0$),沙地表面的蒸发也很少,略而不计($EV = 0$),渗入深层的水与潜水补给相抵($PC = GW$),沙层持水(ST)来自降水,可以不计,则上列公式可简化为:

$$TR = Prec + RI$$

这样,如果植物密度或叶面积指数过大,单位面积的蒸腾水分量(TR)超过了大气降水(Prec)与径流的补给水分量(RI),植物的生长就会受到严重抑制,甚而凋亡而自疏。据本研究组测定,杨柴的蒸腾速率达到 $5.1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,因此在毛乌素沙地飞机播种的杨柴(*Hedysarum mongolicum*)密丛中,沙层水分全被蒸腾消耗,根系分布层十分干燥,从而发生自疏。此外,在种植过密的乔木林中,由于同一理由而导致“小老头树”的现象均当归因于此。

(三) 地貌与基质的生态控制

沙与水是本地区最重要的生态因子与限制因子,但它们在很大程度上受到地貌与基质的生态控制作用。前述硬梁、软梁与滩地的三级地形台阶及其上的沙覆盖状态对于水分的再分配有决定性意义。因此,在毛乌素沙地、地貌形态、部位与基质是划分景观生态类型或土地类型的最重要因子与标准,也是土地合理利用方式的主要依据。土地生态类型则是草地类型划分的依据。关于毛乌素沙地土地生态类型的分类原则、标准与系统将专文论述,在此仅列出简要的分类系统如下:

硬梁(砂岩山地或梁地): 不覆沙硬梁;覆沙硬梁。

黄土梁或丘陵。

软梁(冲积-洪积台地): 不覆沙软梁;覆沙软梁。

高大的流动沙丘(>10m)

滩地与谷地: 覆沙滩地;寸草滩地;碱滩地。

其中覆沙软梁与滩地又可按沙地形态、高度与流动或固定程度作第三级划分,滩地还可按潜水位深浅进一步划分,在此不详。

(四) “地带性”的灌木生活型

毛乌素的地理地带(气候决定的与风成的)位置,沙的优势覆盖与水分特点确定了这里的优势生活型是耐风沙与干旱的灌木,而不是草原禾草或中生森林乔木。灌木地上多分枝的茎干与低矮稠密的树冠具有很强的防风固沙与水土保持能力;其根系深而广,能从大体积的沙体中吸取较多水分或达到潜水层,其根茎比一般大于乔木;沙生灌木茎干生长迅速与产生不定根的特性使它能随沙埋而升高,甚至在高达8-10m的沙丘顶部枝繁叶茂地生长,形成灌丛沙丘,并形成适当稀疏密度的散布以维持良好的水分平衡。沙地柏(*Sabina vulgaris*)则具有特殊低的蒸腾力,而能在沙丘上形成稠密的全面覆盖。因此,沙生灌木特别适宜于在流动与半流动沙丘上种植以形成半固定沙丘维持沙地的生态平衡或在坡地上具水土保持功能。因为毛乌素沙地的自然生态平衡基本上取决于水分平衡、风水沙作用力的平衡与畜-草平衡三方面,而灌木正是在这三方面居于关键地位的结构成分。毛乌素的灌木,如柠条(*Caragana intermedia*, *C. Korshinskii*)、杨柴(*Hedysarum mongolicum*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、沙柳与乌柳(*Salix cheliophila*, *S. microstachya*),以及半灌木沙蒿(*Artemisia ordosica*, *A. sphaerocephala*)均为良好的饲料植物,是形成天然草地的主要成分,具有强大的再生能力与良好的固沙性能。因此,沙生灌木无论在稳定与保护生态环境方面以及支持草地畜牧业经济方面均具有极为重要的地位与意义。

三、毛乌素沙地草地恢复与建设的原则

从生态与经济方面考虑,毛乌素沙地草地植被的恢复与建设应遵循以下八项原则:

1. **水分平衡原则** 在毛乌素沙地,无论进行造林、植灌与种草首先必须考虑水分收支平衡的原则,即从大气降水、径流的输入(含灌溉)与输出以及植物的蒸腾强度三方面进行估算,其收入的水分(大气降水+径流输入)应超出支出(径流输出+蒸腾)的20%,以此来决定造林植灌的密度(单位面积的株数)或种草的覆盖度。最粗略的估算是如下:

如可能蒸散率(可能蒸散/降水)=2.0,则造林、植灌或种草的覆盖度=0.4,即不超过土地面积的40%。

在有侧方地表或地下径流输入或潜水供应情况下,如滩地或丘间洼地,种植密度或覆盖度可以相应加大,但以维持一定的潜水位为限。在潜水矿化度较高的滩地则需适当覆沙以减少地表蒸发以降低盐碱度,并种植耐盐碱的灌木与草类,如怪柳、草木樨等。梁地,尤其是硬梁地上由于水土流失,土壤干旱贫瘠,保水性差,一般不宜种植树、种草,如必要可挖水平沟或鱼鳞坑,进行带状种植耐粗质土与较抗旱的樟子松与灌木。

2. **半固定沙丘持续发展原则** 根据毛乌素沙地的地理环境,景观格局与生产发展

来看,形成并维持被植被半固定的沙丘可能是较适当的景观模式。全部固定的沙地因违背水分平衡原则而不可能实现。事实上,在一些被植物较全面密集覆盖的沙丘根际层的干沙层已表明这样的固定沙丘不可能持久稳定存在;与此相反,在光裸的流动沙丘,在不深的沙层(10—20cm)以下就有含水的湿润沙层。因此,建立并维持植物覆盖度 30—40% 的半固定沙丘无论对维护生态平衡、防风固沙、保持自然景观格局与经营草地畜牧业方面都是必然和必需的,可以保证长期较稳定的持续发展。当然,这一原则并不反对在水分得到充分保证的灌溉或潜水充分供应条件下建立高密度的农田、人工草地或速生用材林、经济林与防护林;只是试图防止过去曾一再发生过的,在干旱地区无灌溉条件下进行营造大面积片林,宽带防护林或全面种草、植灌、绿化“沙漠”的企图,因为那只是违背自然法则、破坏生态平衡和劳民伤财之举。

3. 网带状种植原则 网带状种植的意义一方面在于成带的树木、灌木或草地可以有效地减低风速或径流,从而具有最高的防护效率;另一方面则在于在干旱地区的带状植物可以利用带间空地的土壤水分作为对大气降水不足的补充,同时在带内的植物仍享有群体的小环境,以及在带两侧占很大比例的“边缘效应”的优越性。在无灌溉条件下的大片造林、植灌是违背水分平衡原则的,但不妨小团块状种植。

从防护和拦截水分的目的出发,在平坦地面上的林带、灌木或草带应垂直于主风方向;在坡地上则应按等高线配置。带间空地的宽度应根据防护作用的需要与水分平衡的计算来确定。例如,在可能蒸散为 2.0 的地方,一条 2m 宽的灌木带在理论上至少要 3m 以上的带间空地来补给水分,实际上还要更宽些。

4. 景观与生物多样性原则 一个地带的景观是由多种生态系统的片断镶嵌组成的,这形成了景观的多样性。它要求不同的经营措施,具有不同的生物成分,这又是其中的生物多样性。在恢复与建立草地时应特别注意区分与保持这两类多样性。例如在滩地中,既有各类沙丘的复沙滩地,沙丘的迎风面与背风面,以及丘间低地均提供了不同的小生境;又有不覆沙的滩地,因潜水与盐碱程度不同而有较大差异;在建立与经营草地时应因地制宜地采取不同的方式方法。在一种类型的立地条件建立与经营草地时,应尽可能地考虑不同种类的组合,或各种乔-灌-草,灌-草或不同草种混种的结合方式,以发挥综合的防护效益及为家畜提供多种形式的饲料。

5. 灌木优势的原则 灌木生活型在毛乌素沙地的优势已如前阐明,在恢复与建立草地时应特别强调采用各种灌木种类。毛乌素的豆科灌木是极为宝贵的固砂、饲料、肥土多用途资源。因此,在鄂尔多斯沙地草地试验站,特别规划了灌木园,其中将搜集毛乌素这个灌木王国中的各种灌木,保护其种类的多样性,并便于进行各种灌木的生物-生态学特性与繁殖培育方式的深入定位研究。

6. 防护、经营、利用并重的原则 毛乌素沙地的草地建设必须强调生态平衡的保护、草地的合理经营和充分开发利用相结合,偏废任何一方面都将导致环境的破坏,草地的退化与生产的倒退。

7. 天然放牧草地、半人工草地与人工草地相结合的原则 为了建立完整合理的草地系统、地区内的草地应进行系统规划,在围栏轮牧的天然放牧草地基础上,建立补种乔、灌、草的半人工草地与保证冬春补饲为主的、高度集约的人工草地,其面积比例大致为

6:3:1,并逐步增大后两者的比例,向舍饲为主的经营方向过渡,以最终脱离靠天养畜的传统的草地放牧生产方式,以发展商品化的畜牧业为目的。

8. 牧(草)林农工复合系统的原则 在毛乌素沙地以发展草地畜牧业为主的前提下,必须强调牧林农以及其它有关副业、加工业等相结合。如前所述,在毛乌素不适于发展大规模的农业(种植业)垦殖,因为在沙性土地与缺水条件下的强度开垦将导致风蚀、流沙与次生盐渍化;亦不宜大面积营造用材林,因受到水的限制。但在局部水土条件较好的滩地或软梁地可以发展以粮食、油料、饲料与牧草为主的高度集约的种植业以及防护林与果园等,立足于为牧业服务。与保证牧林农业发展有关的饲料加工、打井灌溉、农机、电力、贮藏以及销售系统等亦应配套发展,其中打井灌溉是启动草业发展的关键。

畜牧业本身的发展也应具有多样性,目前基本上以养羊业(绵羊、绒山羊)为主,随着人工草地的发展,可适当增加养牛,畜产品方向则毛、绒、皮、肉、乳兼备,以供应地及附近煤矿工业区对农畜产品的巨大需求。

一个良性的牧林农工复合系统不仅在生态方面,而且必然在经济方面也是优化的。

四、毛乌素沙地草地的优化模式基本方案

根据上述原则,毛乌素沙地草地的优化模式有以下组合:

(一) 滩地草、林、农复合系统模式

1. 滩地覆沙草农林复合系统型 滩地覆沙是发展人工草农林复合系统的最适宜类型。薄层覆沙(厚度小于 30—40cm),潜水位在 50cm 以下的滩地可改造为乔木(旱柳、杨树)防护林带保护下的农田与人工草地系统,并具有良好的灌溉条件或靠潜水补给。农作物以种植玉米、糜子与向日葵等为主,人工草地可种植苏丹草、小黑麦、赖草、无芒雀麦、苜蓿等,并可种植饲料玉米与甜菜以发展养牛业。应相应发展青贮、饲料粉碎与加工业以提高饲料的转化率,并发展暖棚越冬管理,以逐步实验并扩大舍饲的比率。

厚层覆沙(50cm 以上),潜水位在 1—1.50m 以下的滩地是建立乔、灌、草三个层次的人工—半人工草地复合系统的适宜类型。在草沙地上可垂直主风方向种植 1—2 行的旱柳乔木林带,间以沙柳的灌丛带,间距 20—30m,带间可播种牧草,以供轮牧。在流动沙丘,可在向风蚀水平带状播种杨柴,在背风落沙坡下部种植沙柳行。在有灌溉条件的复沙滩地则可局部发展果园。

2. 芨芨草滩与碱滩半人工草地型 芨芨草滩可实施围栏轮牧,碱滩则应采用柽柳插条形成集沙带,在覆沙上播种草木樨等以改造成半人工草地。

3. 寸草滩天然草地轮牧型 在大面积的寸草滩地由于过度放牧而生产力退化,该类型的经营与利用方式为:

(1) 围栏轮牧: 实验表明,寸草草甸在合理轮牧条件下,生产力显著提高,可作为春、夏、秋三季母畜与幼畜的放牧地。

(2) 覆沙的改造: 由于寸草滩潜水位过高,不适种植乔灌木或农作物与人工草地,但必要时可采用扦插柽柳条,成行状垂直于主风向,以在行间集沙后在其上播种草木樨与带状种植沙柳、旱柳等通过生物蒸腾,降低潜水位后即可种植人工草地或农作物等,将滩地

改造为草、林、农复合系统。

(二) 软梁地半人工草地复合系统模式

1. 软梁半人工草地轮牧型 在不覆沙的软梁地可发展灌-草型复合人工草地, 在带状种植的柠条行间(间距 10—15m)播种牧草或天然生长草木, 一般隔年或隔 2 年播种牧草, 此后休闲 1—2 年, 使土地积贮含水层, 而不宜连年种草以免耗竭土层水分, 可进行分区轮牧。

2. 覆沙软梁半人工草地轮牧型 大面积覆沙和软梁地可进行飞播杨柴、花棒、沙打旺等。但不宜过密, 在过密的播种地可带状疏开, 带距 5—7m。局部的覆沙软梁地可水平带状扦插沙柳行。

在有可能进行灌溉的条件下, 软梁地可能开发为草林农复合人工草地系统。

3. 覆沙软梁天然草地轮牧型 生长油蒿丛的固定沙地是天然放牧草地, 由于过度放牧而导致衰退或发生虫害, 对这种草地应实行围栏轮牧, 并确定适当的载畜量与放牧强度。

(三) 硬梁天然草地放牧系统模式

残存的硬梁坡地上的针茅草原可在夏季进行适当放牧, 但这种类型已所剩无几, 多被开垦为旱地。由于发展放牧的潜力不大, 且强度放牧与开垦导致水土流失, 故应对放牧加以节制。

如前所述, 毛乌素沙地草地畜牧业体系的天然放牧草地、半人工草地和人工草地(含饲料地)面积的适当比例大致为 6:3:1, 故应按适当的载畜量与放牧强度(采食量不超过 60% 的地上部分生物量)确定畜群的数量, 合理地规划放牧地、割草地与人工草地和饲料地, 逐步扩大舍饲与肥畜的比例, 以促进毛乌素沙地的良性循环与持续发展, 既能较大幅度地持续发展畜牧业, 又能保持与改善沙地的生态平衡。

参 考 文 献

- [1] 北京大学地理系、中国科学院自然资源综合考察委员会、兰州沙漠所、兰州冰川冻土研究所, 1983: 毛乌素沙区自然条件及其改良作用, 科学出版社。
- [2] Holdridge, L. R., 1967: Life Zone Ecology, Rev.^{ed.}, San. Jose, Costa Rica, Tropical Science Center.
- [3] Obrucher, V. A., 1985: 中亚细亚的风化和吹扬作用(中译: 禾铸), 沙与黄土问题, 科学出版社。

PRINCIPLES AND OPTIMAL MODELS FOR DEVELOPMENT OF MAOWUSU SANDY GRASSLAND

Zhang Xin-shi

(*Institute of Botany, CAS, Beijing 100044*)

Abstract

A thorough discussion and analysis on the history as well as the current states of the environment and vegetation in Maowusu Sandy grassland is presented. Using a combination of both qualitative and quantitative methods, the author proposed the general principles and models for the grassland development there based on the ecological background information. Particularly this includes: the water balance principle, sustained development principle for semi-fixed sand dunes, net-belt planting principle, grass and agroforestry model for low land, semi-artificial cultural model for soft hills and natural grazing model for hard hills.

Key words Desert, Grassland, Optimal model, Ecology