

黄土高原环境异质性与植被的恢复与重建

王 吟 生^{1,2,*}

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 黄土高原是一个独特的地理区域, 由于对其原生植被的不同认识, 自然区划历来富有争议。为因地制宜地进行植被建设, 在辨析植被属性有关论点(黄土无林、草原次生等)的基础上, 主要由现代植被证据进一步讨论黄土高原的自然地带。分析了生物气候条件在不同地域之间的分异性, 阐述了植被地带特征。为充分说明植被地带性, 还从历史的角度探讨了植被建设的效果。表明黄土高原环境的非均质性可表征为森林、草原等地带, 不能认为黄土高原不具有森林发育的地带性环境。相对于森林地带北界森林线, 森林草原地带北界应为树木线。植被建设不应局限于一种土地利用模式, 不能无视疏林及稀疏灌丛在森林草原地带的客观存在。

关键词: 生物气候条件; 自然植被; 造林实践; 区域分异; 黄土高原

文章编号: 1000-0933(2009)05-2445-11 中图分类号: Q16, Q948, X171.4 文献标识码: A

Environmental heterogeneity and revegetation on the Loess Plateau

WANG Han-Sheng^{1,2,*}

1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2445 ~ 2455.

Abstract: The Loess Plateau is a distinct geographical region, where natural regionalization has always been of much controversy because of variation in understanding its primary vegetation. In order to construct vegetation in line with local conditions, based on the discrimination on the viewpoints (no forests in the loess Plateau, secondary grasslands, etc.) relevant to the vegetation property of the Loess Plateau, the paper further dealt with the natural zonation of the Loess Plateau by adopting modern vegetation evidences. After analyzing the regional differentiation of bioclimatic conditions and the vegetation zonal characteristics in the region, the author investigated the actual effects of the vegetation construction in history so as to fully illustrate the vegetation zonality. It is shown that the Loess Plateau might be regionalized into several different vegetation zones of forest and steppe for no homogeneity of its environment. The opinion that the zonal environment for forest growth is not possessed in the Loess Plateau is accordingly inadequate. So far as the north demarcation line for the forest zone is called forest line, the north demarcation line for the forest-steppe zone should be called tree line. The vegetation construction shouldn't be confined to such a land use pattern as "the 28-word general plan" put forward by Zhu Xianmo. The objective reality of thin woods and sparse shrubberies in the forest-steppe zone should not be ignored. At last, some other issues deserving attention and research were also presented.

Key Words: bioclimatic conditions; natural vegetation; forestation practices; regional differentiation; the Loess Plateau

地处中国东部湿润区向西部干旱区过渡地段的黄土高原, 由于受长时期人类活动的严重干扰, 呈现少林或无林的景观, 自然植被缺失直观的连片地带性分布特征, 再加之气象站点的局限性, 对其自然环境的确切认

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD09B09); 中国科学院水土保持研究所知识创新领域前沿资助项目

收稿日期: 2008-01-28; 修订日期: 2008-11-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hswang@ms.iswc.ac.cn

识,向来就是引人注目的重大问题。究竟是森林地带?还是草原地带?自然区划对此存有争议。关于黄土高原水土流失生物治理就有两种典型的看法:有人认为,黄土高原历史上是一个森林广布茂密、水草丰美、牛羊蕃息的地方,人们所看到的植被稀少、黄土露面、童山秃岭以及土壤侵蚀严重、农业生态系统恶性循环的状况,是不合理地垦殖土地、放牧等所造成的,而气候适宜于森林生长;另有人则认为,黄土高原历史上没有大片连续的森林,原本就是草原或半荒漠、荒漠,自然环境就不适宜森林发育,因而其大部分地区要实施造林是困难的。可见,黄土高原历史自然景观以及现代自然植被真相是植被恢复与重建的重要依据。

一个地区植被的特点和性质是该地区气候,特别是热量和水分条件以及二者的配合状况在下垫面上的反映,尤其在一定的温度条件下,水分成为植物生长和分布的限制性因子,森林就是在温度条件得到保证下的湿润气候的产物。可以说,植被是自然环境分异性的重要表征^[1~4]。通过孢粉分析、考古资料、历史文献记载等追溯古代植被^[5~13],对还原黄土高原自然植被的真实面貌,应当说是很有意义的探索,但需要注意地质、气候的变化和把握适当的时间、空间尺度^[14, 15],也需要与现代植被研究相结合和统一。否则,在对历史时期自然植被的问题上易产生上述分歧。虽然残存自然植被的现实状况对认识黄土高原有关的自然地理界线有一定的困难,但以植被动态的观点,根据区域自然条件和植被类型,尤其能反映区域大气候的植被类型,植被垂直地带性从属于水平地带性,仍可反映不同的自然地带。陕北及陕甘边界地区处于黄土高原的核心位置^[16, 17],该区域植被研究积累了丰富的资料,人们往往通过对其植被特征的了解,进而掌握黄土高原的植被地域分异分布规律。笔者对黄土高原植被属性的有关论点(黄土无林、草原次生等)已进行了辨析,肯定了地植物学研究的一般结论^[15, 18]。本文在此基础上,主要根据对该区植被的研究,尤其长期造林的实践,采取综合的方式,试图进一步深入阐述黄土高原的环境异质性,同时探讨植被的恢复与重建。

1 植被生长对地域的响应

1.1 现实植被生长

研究表明,黄土高原生物气候条件并非均质,不同地域之间存在很大差异。据调查^[19],陕北优势种群,延安以北草原成分突出,延安以南森林植物明显。油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、杜松(*Juniperus rigida*)、河北杨(*Populus hopeiensis*)、旱柳(*Salix matsudana*)、榆树(*Ulmus pumila*)、大果榆(*U. macrocarpa*)、杜梨(*Pyrus betulaefolia*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)等乔灌木种类,具有较强的抗旱能力,陕北分布较为广泛;然而,延安以南许多常见的乔灌木和藤本种类,如山柳(*S. liouana*)、野核桃(*Juglans cathayensis*)、胡桃楸(*J. mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、千金榆(*Carpinus cordata*)、鹅耳枥(*C. turozaninowii*)、槲树(*Quercus dentata*)、槲栎(*Q. aliena*)等,均为典型的中生植物,延安以北则没有或罕见。黄土高原南部适宜林木生长,而隐域性地貌沟谷仍还有利于林木向北分布,但其生长发育有所逊色:30年生侧柏林的单株材积,森林地带 0.053m^3 ,森林草原地带 0.025m^3 ;森林地带45年生的油松林,树高15m,胸径17cm,蓄积量 $200\text{m}^3/\text{hm}^2$,而森林草原地带43年生的油松林,树高9m,胸径11cm,蓄积量 $60\text{m}^3/\text{hm}^2$ ^[20]。据对陕北旬邑(森林地带)、清涧(森林草原地带)、吴旗(灌丛草原地带)三地刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林的调查^①,15龄优势木的平均高,若以吴旗为100%,则清涧为140.4%,旬邑158.3%。罗伟祥等人对刺槐、油松、侧柏、杜梨、旱柳、臭椿、榆树、泡桐(*Paulownia tomentosa*)等多个树种(8~30a)的树高、胸径、材积指标进行了对比分析^[21],亦清楚地表明,陕北北部灌丛草原地带、森林草原地带,陕北南部森林地带以及关中地区之间,树木生长渐次升高。肖瑜比较研究了陕西省不同气候区域人工油松林(17~25a)的生物量和生产力^[22],调查区除北亚热带宁陕县和洛南县外,其余就是黄土高原的几个县,即暖温带蓝田县、黄陵县、黄龙县和志丹县,以及温带神木县,其结果表明了相似的规律。油松树冠生物量比例由南向北逐渐增大,而树干(带皮)生物量比例却由南向北逐渐降低。陕北北部神木县油松生物量及生产力水平最低,但其根系生物量所占比例较大。对子午岭辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林生物生产量的研究,充分说明了生境条件的显著影响^[23]。阴坡土层厚

① 高志义. 灌木与黄土高原造林. 黄河中游水土保持林体系研究成果汇编, 1986. 131~140.

($>30\text{cm}$)且湿润,阳坡土层薄($<30\text{cm}$)且干燥,辽东栎的生物量和材积,前者分别为后者的3.8倍和6.8倍;干物质和材积的现实生产量,前者分别为后者的3.8倍和5.4倍;树干(带皮)生物量,前者占总生物量的52%,后者仅占28%;根系生物量,前者仅占总生物量的24.4%,而后者占到50.8%。说明为适应干旱的生境条件,林木充分拓展根系是必须的,自然选择的压力不会促使树干生物量向加大的方向发展。根据“七五”期间的调查^[24],人工林在延安以南一般能够正常生长,而在延安以北却多数生长不正常。“小老树”主要发生在黄土丘陵以及沙地上,集中分布区大致相当于年降水量400~500mm的地带。可见,黄土高原愈往北及西北方向,用材林经营的局限性和困难性。

袁嘉祖依据284个县气象站的资料,选取干燥度、年降水量、年平均气温、年日照时数、日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数和积温、日平均气温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 日数和积温等8个指标,应用动态聚类分析方法,所作的黄土高原林业气候区划,的确也区分出与400mm等雨量线大致相齐的一条区划线^[25]。但黄土高原半湿润与半干旱的界限宜在延安一线^[26, 27],而非400mm等雨量线。一般地说,森林地带标志着对农业发展有利,草原地带则相反。黄土高原农业生产特征,就表现为东南部以农为主,可种植冬小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*),收成较稳定,而至西北部,以牧为主,能种植谷(*Setaria italica*)、糜(*Panicum miliaceum*)等耐旱作物,旱作雨养农业收成很不稳定。

黄土高原天然草场类型主要有草甸草原、典型草原、荒漠草原、山地草甸、草原化荒漠、典型荒漠、低湿地草甸、灌木草丛、疏林草丛等^[28]。由于所在环境条件以及牧草组成种类的不同,垂直地带草场的产量比水平地带为高;水平地带各类型天然草场的产量由北向南呈逐渐上升的趋势,即草原化荒漠类最低,草甸草原类较高。但是,在质量上,产量低的草场往往较高,干物质、粗蛋白质和粗灰分含量较多,而产量高的草场却低下,显示出干旱、半干旱区草场质量一般优于半湿润区草场的规律。据研究^①,草场的这种质量特点对著名的二毛裘皮滩羊的生态地理分布有着重要的影响。

1.2 植被生产潜力

由自然植被生产潜力(气候生产力)的计算可更清楚地看出黄土高原不同地域植被的非均质性。根据1977年H. A. 叶菲莫娃关于植被年产量与辐射平衡和辐射干燥指数的关系曲线估计,黄土高原南部自然植被生产潜力为 $8\sim 9\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,中部 $4\sim 8\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,北部 $4\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 以下^[29]。筑后(Chikugo)模型以及H. Lieth提出的Thornthwaite Memorial模型,尽管相互间计算结果有出入,但也都表明黄土高原自东南至西北植物气候生产力在逐渐降低^[30]。

Thornthwaite Memorial模型是以受多种气象因素的影响,综合反映一个地区水热状况的实际蒸散量来计算植物气候产量,而H. Lieth提出的Miami模型是以年平均气温、年降水量二个单因素计算植物气候产量,其可靠性仅66%~75%,但它们能反映出水热条件对植物产量的影响和限制作用。由温度所确定的植物产量平均为 $13.6\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,由降水量确定的植物产量平均为 $8.1\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,相当于温度产量的60%。二者地理分布趋势均自东南向西北递减,而且越往西北,等值线越密集,递减梯度越大。说明黄土高原气候对植物生长发育来说,热量资源比较充足,而水分是限制植物产量的主要因子。袁嘉祖等将几种杨树(*Populus*)的树高、胸径和材积指标对若干气候因素所作的灰色关联度分析^[30],亦表明影响黄土高原林木生长的主要气候因素是降水。马玉玺等对树种刺槐所作的回归分析同样得出类似结论:除林木本身的因素林龄、密度外,降雨量以及与之密切相关的土壤储水量亦与林木生长相关关系显著^[31]。这与前述分析相同,水分条件,特别是土壤水分是黄土高原林木生长的限制因子^[18]。

在黄土高原,降水是土壤水分补给的唯一来源,土壤水分状况深受降水地理分布特点的影响,在地域上存在着明显的差异。陕北黄土高原干旱的5、6月份土壤水分(1m土层)洛川15.16%,淳化13.55%,延安10.90%,米脂8.46%,吴旗6.34%;甘肃黄土高原4~6月份土壤含水量均值康乐12.78%,泾川12.07%,定

① 陈一鹏,王宏杰. 滩羊分布地区草原植被的生态特征. 宁夏农业现代化基地建设科技文选, 1983. 542~562.

西 9.37%, 兰州 6.91%, 不同区域之间的土壤含水量, 除洛川和淳化、康乐和泾川之外, 差异较大, 经 F 检验达到显著和极显著水平^[21, 32, 33]。杨文治根据各地土壤水分年循环的补偿特征, 将黄土高原的土壤水分状况划分为 5 个区, 即土壤水分年循环均衡补偿区、基本补偿区、周期性补偿亏缺区、补偿亏缺区及补偿失调区^[34]。通过对比, 可见黄土高原落叶阔叶林区与土壤水分年循环均衡补偿区或基本补偿区相当, 森林草原区或灌丛草原区与土壤水分年循环补偿亏缺区相符, 典型草原、荒漠草原区与土壤水分年循环补偿失调区对应。

由 Thornthwaite Memorial 模型所得木材气候产量, 水热条件较好的东南部为 $12.0 \sim 13.4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 而在年降水量不足 400mm 的包头、榆林、定西、兰州一线以北地区, 木材产量不足 $9.5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。筑后模型估算的植物气候生产力荒漠地带趋近于零。表明越往西北宜林性越差。可见, 黄土高原从东南至西北必然表现为从高大到低矮、从茂密到稀疏的植被特点。

2 植被类型及其分布

植被垂直地带性在一定程度上可以说明山体以北的水平植被特征。秦岭位于黄土高原的南端, 其北坡的植被垂直地带性表现为: 海拔 2200m 以下分布落叶阔叶林, 其中 1600m 以下分布栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 和麻栎 (*Q. acutissima*) 林, 海拔 1200 ~ 1800m 分布锐齿栎 (*Q. aliena* var. *acuteserata*) 和槲栎林, 海拔 1600 ~ 2200m 分布辽东栎林; 海拔 2200 ~ 2600m 分布针阔叶混交林; 海拔 2400 ~ 3000m 为常绿针叶林; 海拔 2700 ~ 3400m 为落叶针叶林; 海拔 3300 ~ 3767m 为高山灌丛草甸, 林木绝迹。但是, 受大陆性气候的影响, 秦岭以北的植被水平地带性与此垂直地带性并不完全类同。从南部到北部和由山下到山上逐渐分异, 差别较大。秦岭以北植被水平地带性表现为: 由秦岭北麓至延安附近略偏北为落叶阔叶林, 延安以北至长城沿线为森林草原, 长城沿线以北为干草原。土壤类型分布也可佐证^[19, 20], 延安以南落叶阔叶林区为灰褐土和褐土, 以灰褐土 (黑壮土) 为主, 洛川塬为粘黑垆土 (向森林褐土过渡的土壤); 森林草原区为典型黑垆土, 其中灌丛草原区为轻黑垆土 (黑焦土); 典型草原区为轻黑垆土 (向典型草原栗钙土过渡的土壤)。秦岭北坡基带并非侧柏林, 而是栓皮栎和麻栎林, 其中栓皮栎占主要地位^[35]。这与黄土高原南部植被特征相一致。

延安以南森林地带, 目前仍存在较大面积的森林、次生灌丛和草甸。这里地带性森林以栎 (*Quercus*) 林为代表, 次生林以山杨 (*Populus davidiana*) 林和白桦林为代表。栎林中除辽东栎和槲栎外, 麻栎、栓皮栎、板栗 (*Castanea mollissima*)、槲树和榧子树 (*Quercus baronii*), 都分布在本区南端, 北以关中北山为界。由于栓皮栎和麻栎是落叶阔叶林地带南部的代表, 所以以栓皮栎和麻栎林分布北限, 可将落叶阔叶林地带划分为南部和北部两个亚地带。槲栎生态幅度稍大, 跨两个亚地带, 群落分布在崂山以南。辽东栎既耐寒又抗旱的生态学特点, 使其不仅在秦岭落叶阔叶林的上限, 而且还在接近草原区形成森林, 构成暖温带北部的标志。

森林地带还有针叶林侧柏和油松。侧柏林大多分布在其它林木难以定居的生境上, 如岩石裸露的部位、黄土陡壁、侵蚀沟头等。在一般情况下, 随着土壤的改善和发育, 水分条件趋于中生化, 侧柏林将被其它森林群落所演替。但在石灰性基质及陡壁地段上, 侧柏林可成为土壤性顶极群落。陕西南部, 接近关中的区域, 与秦岭相似, 油松林亦是不稳定的, 将逐渐被栎林所取代; 但在接近草原区, 油松林表现出和栎林类似的竞争力而具有一定的稳定性, 这里的顶极群落实际上是松栎林。正如陈昌笃所述^[36]: “在不太长的时间内, 在子午岭地区自然地理各种过程正常进行的条件下, …辽东栎群丛和油松群丛将成为所有阴坡和半阴坡最占优势的群落, 并且阳坡、半阳坡也可能大部分被它们占领, 因为随着森林植被的发展所引起气候 (湿度) 的改变 (增加), 将使阳坡、半阳坡也适宜于中生阔叶树的生长, …”。近期所参与的考察也继续证实了植被的这种动态变化^[37]。

狼牙刺 (*Sophora viciifolia*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、黄蔷薇 (*Rosa hugonis*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*) 等灌丛是在森林恢复中起主要作用的群落^[38], 它们起源于芨芨蒿 (*Artemisia giraldii*)、铁杆蒿 (*A. gmelinii*) 等多年生蒿类群落以及黄背草 (*Themeda triandra* var. *japonica*)、大油芒 (*Spodiopogon sibiricus*)、野古草 (*Arundinella hirta*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 等多年生禾草群落 (次生草甸), 可被侧柏林、白桦林、辽东栎林、油松林所演替, 但主要被山杨林所演替。黄蒿 (*Artemisia scoparia*) 是次生裸地上的先锋群落。正是

由于草本群落和灌丛,改变了贫瘠与干旱的土壤,才创造了乔木生长的适宜生态环境。黄土高原植被恢复策略“草灌先行”的依据就在于此^[39]。一般地,在植物群落演替中,前期群落比后期群落适应性强,而后期群落比前期群落竞争力强;土壤条件是植被演替的基本动力,而气候最终决定着植被的特点。

延安以北植被空间更替自东南向西北依次为森林、森林草原,森林部位由阴坡至沟谷,而且愈往西北,森林地段在沟谷中越来越少,灌丛逐渐增多,呈现出灌丛草原的特征^[35, 40]。组成森林草原的主要植被类型(地带性植被)是疏林草原(草原性矮生疏林)与灌木草原(草原性灌丛)^[41, 42]。在丘陵沟壑地形条件下,灌木草原多居上部丘顶梁脊,疏林草原分布在下部坡面上。由于森林草原地带内水热条件的差异,疏林草原在其东南部占优势,灌木草原在其西北部占优势。

疏林草原类似于干热条件下的稀树草原(savanna),其特点是一些矮乔木稀疏地分布在由旱中生和中旱生草本植物组成的草甸草原上。乔木成分均为来自森林区的旱中生种类。疏林草原有落叶阔叶疏林草原和常绿针叶疏林草原二类,主要是落叶阔叶疏林草原,常绿针叶疏林草原仅出现在东南部。落叶阔叶疏林草原包括山桃(*Prunus davidiana*)、榆树、杜梨、河北杨、小叶杨(*Populus simonii*)、山杏(*Prunus armeniaca* var. *ansu*)、大果榆等疏林草原,常绿针叶疏林草原包括油松、侧柏、杜松等疏林草原。灌木草原分布在丘顶梁脊、阳向陡坡等乔木不能生长的干旱生境中,灌木常以少量个体生长于草原群落中。它们与森林地带的灌草丛不同,那里的灌草丛由灌木和中生草甸植物构成,且灌木的多度和盖度要大得多;亦与疏林草原相异,其草本优势种为长芒草(*Stipa bungeana*)、大针茅(*S. grandis*)、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等一些旱生性较强的种类,而非芨芨、铁杆蒿等植物。由灌木成分的生态类型,灌木草原可包括旱中生灌木草原和旱生灌木草原,其中旱中生灌木草原主要有紫丁香(*Syringa oblata*)、黄蔷薇、河朔莢花(*Wikstroemia chamedaphne*)、酸枣(*Zizyphus jujuba*)、沙棘、杠柳(*Periploca sepium*)等灌木草原,旱生灌木草原主要有矮锦鸡儿(*Caragana pygmaea*)、小叶锦鸡儿(*C. microphylla*)、柠条锦鸡儿(*C. korshinskii*)、甘蒙锦鸡儿(*C. opulens*)等灌木草原。以旱中生灌木草原为主,而来自干草原或荒漠草原地带的旱生灌木多分布在土壤侵蚀严重的陡坡上,其构建类型与草原区的灌丛化草原类似,多为次生,系非地带性植被,并不占优势。

由于人为因素,疏林草原、灌木草原以及沟谷中的森林被破坏,形成了大面积的次生禾草草原和半灌木草原^[43]。禾草草原如长芒草、大针茅、糙隐子草等干草原,以及赖草(*Aneurolepidium dasylachys*)、白羊草、白草(*Pennisetum flaccidum*)、香茅草(*Hierochloa odorata*)等草甸草原;半灌木草原如百里香(*Thymus mongolicus*)、冷蒿、铁杆蒿、芨芨、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、蒙古蒿(*A. mongolica*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica*)等。在气候稳定、不发生较大波动的自然状态下,这些次生草原群落可被疏林草原和灌木草原演替。动态方面,与延安以南森林地带完全相反,多年生禾草群落在前,多年生蒿类群落在后。这里旱中生和中旱生的芨芨、铁杆蒿难以适应干旱贫瘠的土壤,而以长芒草为代表的旱生性禾草却有着较强的适应性而首先定居。

森林草原是森林地带与草原地带之间的复杂接触空间,既有森林地段也有草原地段的配置特点,明显反映出其过渡性,完全不同于延安以南的植被分布与组合特征。在森林地带,森林能够占居丘陵的各个地形部位。由上述可见,森林草原带南界是森林线,而北界实质上就是树木线。因为作为划分森林草原重要依据的疏林草原,其建群种是草原植物,乔木的盖度一般不超过 20%,有时还低于 5%,对群落内的环境不产生显著影响;森林草原边缘的灌丛草原区,丘陵地形的梁峁显域生境无林,即使沟谷,也仅能生长灌丛和稀树灌丛,森林生长受到限制。这种情况类似于树木线与森林带之间的高山或亚高山疏林带,这里由于热量不足,树木生长稀疏、低矮,树干弯曲,同样构不成茂密的森林而成为一种独特的植被类型。当然,疏林草原的形成是由于水分条件的制约。

至长城沿线以北的干草原区,分布着以长芒草、大针茅、百里香、冷蒿等为主的草原,森林完全绝迹,前述灌丛的分布也受到限制,仅在沟道和梁峁阴坡半阴坡草原群落中生长有扁核木(*Princepia uniflora*)、白芨梢(*Buddleja alternifolia*)等,其它则为草原区的几种锦鸡儿。目前该地带植被的显著标志是沙化草原,风沙滩地

植物群落以沙柳(*Salix cheilophila*)、蒙古柳(*S. mongolica*)、臭柏(*Sabina vulgaris*)、白刺(*Nitraria schoberi*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙蒿(*A. sphaerocephala*)、柠条锦鸡儿、牛心朴(*Cynanchum hancockianum*)、沙米(*Agriophyllum arenarium*)、沙竹(*Psammochloa mongolica*)等为优势。历史上这里有林木分布,但受自然和人为因素的影响,原生和次生林木都表现为草原地带的隐域现象。沙地有利于降雨的入渗,对水分的凝聚、贮积以及抑制蒸发的作用,使得在局部供给植物的水分条件比同样干草原条件下的栗钙土要优越,从而适宜于栗钙土上通常没有的乔木、灌木等旱中生或中生植物的生长。

尽管自然地理界线仅具有相对的意义,但却是客观存在的。综括而言,黄土高原自东南至西北依次可区分认定为森林、森林草原、典型草原、荒漠草原等地带^[4, 12, 20, 44~51], 分属中国暖温带落叶阔叶林(夏绿阔叶林)区域和温带草原区域。其中,森林地带又可区分为偏干的北部亚地带和偏湿的南部亚地带。由陕北黄土高原的植被特征可见,植被分区在于结合生态条件了解植被的区系组成、水分生态型、生活型、主要类型及其相互间的关系。荒漠草原地带也分布有较大面积的沙生植被,但它们不同于显域植被。掌握长芒草原和短花针茅(*Stipa breviflora*)草原的分布演替规律,对于区分荒漠草原地带和典型草原地带具有重要的意义。需要指出,著名的二毛裘皮滩羊主要产于宁夏及其毗邻地区,干燥温暖、灰钙土与棕钙土上分布的荒漠草原是其突出的环境特征。在荒漠草原地带,二毛裘皮性状良好,而至草原化荒漠或典型草原地带,品质都下降^①。深入草原化荒漠或典型草原地带,二毛裘皮滩羊逐渐退化淘汰。可见,二毛裘皮滩羊生态适应幅度较窄,对草原植被的分布具有指示意义。

3 植被恢复与重建的效果

3.1 典型实例

子午岭的原始森林于明、清时代走向破碎以至被毁灭^[36, 52]。明代初期,人口激增,农耕蓬勃兴起,至清代中叶,已遍行于林区。农业垦殖是森林衰退的主要原因,由目前许多废弃的窑洞和田埂遗迹可说明问题。在耕垦的过程中,强烈的土壤侵蚀,致使大量成土产物砂礓残留在地表,近沟处还形成黄土柱、黄土墙、黄土陡壁等破碎地形。由于基本物种所幸未因规模化农耕而完全消亡,它们在深险沟谷等地段保留下来,为后来次生林的发育提供了繁衍基础。清朝同治5年(1866年),回、汉民族之间发生纠纷,这里大部分居民逃离,耕地从此开始撂荒;清朝光绪3年天大旱,该地居民的外迁,再次促进了弃耕的过程。在比较有利的地形和气候条件下,由于残存母树天然下种及萌生,植被得以逐渐恢复。至清代末期,子午岭次生林广泛分布,森林覆盖率达70%以上。之后,又经过多次人为干扰,以至形成现在的残败梢林景观。由此可见,在森林地带,即使森林破坏严重,只要母树尚存,在封禁条件下,仍然还可以恢复起来。陕北黄龙山、乔山林区的油松林,与解放后采取封山育林的措施密不可分。这也表明,局部营造母树林,利用自然力来扩展恢复森林是一条可行的途径。

有资料表明,荒山草地通过封育及补播改良(包括飞播),均可促进天然牧草生长,增强其繁殖更新能力,使草地植被得到良好发育;产量、盖度得到较大程度提高的同时,改善草群结构,提高草地质量,禾本科、豆科牧草比重增加,杂类草比重下降。近年来不少地方实行禁牧都有明显的成效。例如,延安以北分布的长芒草、长芒草+芨芨草、白羊草+达乌里胡枝子、铁杆蒿等草原植被,盖度一般仅35%~40%,封禁3~4a,可提高到70%~80%;若群落中残存灌木成分,则可恢复为盖度达80%~90%的灌丛植被。乌审旗乌审召乡将沙地草场油蒿+杨柴(*Hedysarum mongolicum*)-1年生草封育8a,与退化草场相比,植物种数由12种提高至15种,盖度由25%提高至60%,生物量由202.5kg/hm²提高至697.5kg/hm²^[53]。封禁期间,安塞县茶坊试验区在盖度不及50%的草原群落和先锋草本群聚中补播达乌里胡枝子、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、油蒿、沙棘、狼牙刺、柠条锦鸡儿等,可在2~3a内加速植被的恢复,盖度可达50%~80%,提高幅度最低25%,最高可达45%。同时,同心县、固原县飞播沙打旺,吴旗县飞播沙棘,均取得成功。

上述事实说明,通过封禁以及封禁与植被建造相结合是重要的植被恢复途径,亦从植被实际恢复过程的

① 陈一鹏,王宏杰. 滩羊分布地区草原植被的生态特征. 宁夏农业现代化基地建设科技文选, 1983. 542~562.

角度提供了植被恢复的依据。

3.2 植被建造类型

过去普遍认为西北地区绝大部分都能造林。如 1958 年甘肃河西走廊,由一万名劳动力,花 20 多天时间,在盐沼土上造林,结果是树木成活率为零。1958 ~ 1961 年在干旱地区又曾飞播 27.3 万 hm^2 ,成活状况也极差^[54]。黄土高原的情况与此类似。甘肃兰州市的一个县,年降水量 249.0mm,曾每年造林数千公顷,可是,年年造林不见林,至今依旧荒山秃岭^[55]。一般地,降水量 250 ~ 550mm 为旱作农业区,乔木成林成材困难,难以形成有规模的森林。陕西榆林地区以杨树、旱柳、刺槐等乔木树种大面积上山进沙造林一再都告失败,曾有约 80% 的林业基建投资用于乔木育苗和栽植,但灌木林的保存面积却占到林地面积的 77.4%,而乔木林仅占 22.6%;耗费相当资金的乔木林不仅保存面积少,而且成林状况极差^[56]。总结甘肃定西岷口林场对荒山绿化树种的选择,可分为 3 个阶段:第一阶段全部选用沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、榆树等乔木;第二阶段采用杨树的同时,加进了耐旱灌木中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*);第三阶段继续使用中间锦鸡儿的同时,用柏树(*Juniperus chinensis*)或油松代替了不耐旱的杨树。三北地区固沙造林初期基本上以乔木为主,如宁夏沙坡头栽植沙枣、小叶杨、小青杨(*Populus pseudo-simonii*)、榆树、桑树(*Morus alba*)、油松等 10 余种乔木,但都未成功^①。实践证明,在干旱地区除有径流汇集、灌溉或地下水丰富的生境外,不宜大量发展乔木^[18]。在半荒漠地带,由于水分赤字太大(年降水量 150 ~ 250mm,年蒸发量 900 ~ 1200mm),前苏联经过 50 多年的顽强工作,绿化沙丘就是栽植松树也遭失败。可以肯定地说,沙丘营造乔木林是不可能的。半荒漠能够营造乔木林的面积最多不超过 10% ~ 15%,也就是说只能在湿润的盆地造林^[57]。可见,在降水量少、自然植被生产潜力很小的地区造林并期望生产大径材是不现实的,不顾及水量平衡,硬要普遍种树造林,其结果必然是事倍功半,得不偿失。

黄土高原造林,土层厚度除少数山地外并不认为是起主导作用的因素。要保证林木速生丰产,充分发挥速生树种的生长优势,必须要有充足的水分供应;选择适宜的生态区或有利的立地类型,不能忽视降水量的分布规律及其对造林的影响。在年降水量 400mm 以下的黄土高原地区,种草、种树应以草灌为主,符合草原地带的植被特点。

关于古代植被的研究,对黄土高原植被恢复有着较大的影响。由前述可见,黄土高原无林论是不能成立的,但若不考虑历史时期的气候变迁,以黄土高原大部分地方古代都有茂密森林分布的论述为根据,总认为是由于人类破坏的结果而试图重建原来的景观,也是不妥当的。历史文献考证将甘肃陇中地区的马衔山、屈武山、寿鹿山、枪龙山、哈思山、官炭山等林区作为区域宜林的证据,显然是不合适的。在一个完全不宜林的地方大面积造林不能说没有盲目性,应当重视当前气候条件下地带性顶极群落的向导意义。根据植被区划所揭示的环境异质性,不同植被区可有着不同的植被建造类型^[18]。不同于自然植被,在劣质立地上培育人工林,值得注意“草灌先行”存在的问题^[39]。

年降水量 400 ~ 550mm 的森林草原地带是黄土高原“小老树”的主要分布区,其根源就在于对这里的植被分异性规律缺乏认识,往往以对过去森林的考证以及尚残存的树木为依据,采取以点代面、以偏概全的观点所致。典型的如过去“山顶戴绿帽”(营造乔木)的配置方案,实践证明是不可行的。所以,后来梁峁顶植被建造转变为“戴草帽”或种植灌木,符合森林草原地带草原地段多居丘顶、梁脊或分水岭上,森林地段分布在深谷、冲沟和其它比较湿润地方的客观自然规律。陕西绥德水土保持试验站于 20 世纪 50 年代曾在梁顶栽种了刺槐,10 ~ 15a 内形成了茂密的林子,但随后则出现了枯死现象^[58]。由此也可以看出,朱显谟关于黄土高原整治的“28 字方略”——“全部降水就地入渗拦蓄,米粮下川上塬,林果下沟上岔,草灌上坡下坳”^[59],较为确切地描述了森林草原地带的土地利用或植被配置模式。很显然,它不能完全概括典型草原地带、荒漠草原地带或森林地带的植被建造用地依据。然而,具有典型丘陵沟壑地貌特点的森林草原地带是黄土高原水土流失最为

① 刘焱心. 旱生植物种的选择. 干旱造林研究, 1991. 37 ~ 42.

严重的区域,从这一点上说,“28 字方略”确实具有积极的建设性意义。

4 小结

(1)以现代植被研究为主,与古代植被探索相结合、相互印证,可对黄土高原自然环境的属性作出准确的判断。显然,符合现今气候条件的水平地带性植被(显域植被)是重点。基于此,本文由植被生长、分布以及造林实践,着重阐述了区域分异性。表明黄土高原并不在一个自然带内,以某一个自然带概括说明其整体自然环境是不确切的。与降水量由东南至西北递减的趋势一致,黄土高原的植被外貌也依次呈现着密林、疏林及草原的特征。分析指出,黄土高原具有森林发育的地带性环境,相对于森林地带北界森林线(延安略北),森林草原地带北界为树木线(长城沿线),进一步明确了黄土高原的造林规模。其中特别是对森林草原地带植被类型及分布特征的阐述,可较好地解释该地带集中出现的“小老树”现象。表明疏林及稀疏灌丛在森林草原地带是客观存在的,黄土高原植被建造不能无视这种自然规律而强求营造郁闭林。朱显谟提出的“28 字方略”指导森林草原地带的植被建设更为恰当,对于其它植被地带,应该依据本地带的植被特点,因地制宜地建设植被,而不应局限于一种土地利用模式。

(2)自然环境分异性是客观存在的,各植被带的特征应当是肯定的,但由于地理界线仅具有相对的意义,有关区划仍可以讨论,本文提出的森林草原带北界为树木线也可作为进一步探讨的依据。黄土高原植被分布主要是森林与草原的地带界限,当然也存在典型草原与荒漠草原的地带界限,此关系到草场的饲用价值、生产力、载畜量等问题。毕竟,黄土高原草原植被占有较大的空间,区分不同性质的草原植被是不可忽视的。在全球变暖趋势明显的情况下,黄土高原植被,尤其过渡地带(森林草原、荒漠草原)的植被如何变化?不能不引起注意。古代植被研究表明,在全新世中期,由于气候暖湿,黄土高原的植被分布格局可与现在大为不同。

(3)本文主要从大气候角度讨论了黄土高原的环境异质性,其实在一个自然地带内的环境也并非是同质的,如前述森林草原地带。由于地形对大气候条件的再分配,坡向、坡位、坡度等的不同,可造就相异的具有自然地理综合体含义的生态环境(生境、立地)。选择和利用小气候或小生境是植被建造的一个重要方面,过去大量的立地研究^[18, 21, 32, 33]就表明了这一点。立地基本单位为立地条件类型(生境类型、森林植物条件类型),植被地带是其较高级别,立地分类与植被区划相结合在实践上可较良好地将显域生境与隐域生境或者地带性植被与非地带性植被兼顾。过去区划和立地(土地)分类“自上而下”地进行,现在根据景观生态学的发展,“自下而上”或者与“自上而下”相结合^[60~62],有必要重新认识区域分异规律,以使区划更加完善和符合实际。

(4)长期造林的实践一方面表明尊重区域分异自然法则的重要性,另一方面也说明人工林生长的地理响应也可作为自然地带划分的依据。进一步的研究需要明确区分显域生境与隐域生境。促进自然植被发育,通过建立下种母树林,自然扩繁森林,是值得重视的植被恢复途径,需要深入研究树种选择和空间配置的问题。

(5)“28 字方略”在黄土高原有着广泛的影响,并得到有关方面的积极响应,为增强植被建设的针对性,本文对此根据植被地带特征提出了不同的看法,谨供讨论。

References:

- [1] Walter H. Vegetation of the Earth and Ecological Systems of the Geo-biosphere(Translated by Ecological Laboratory, Institute of Botany, CAS). Beijing: Science Press, 1984. 1—45.
- [2] Zhang R F. Essence of zonality law in natural geography. Journal of Northwest University, 1958, (3): 49—57.
- [3] Wei S M. Theoretical explanation of the time-space sequence in geographic environment. Journal of Northwest University, 1986, 16(4): 84—91.
- [4] Zhang P Y, Zhao S L. Discussion on forests in Loess Plateau from modern scientific viewpoints. Journal of Lanzhou University(Social Sciences), 1983, (4): 21—24.
- [5] Shi N H, Cao E Q, Zhu S G. Historical changes of forests and steppes in Loess Plateau. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1985. 44—168.
- [6] Liu D S, Zhang Z H. The loess in China. Acta Geologica Sinica, 42(1): 1—14.
- [7] Dai Y S. Discussion on soil and water loss in Loess Plateau from palaeo-climatic environment of Yellow River middle reaches. Yellow River, 1980, (4): 1—8.

- [8] Wang S C. The Loess Plateau vegetation and its variation in historical period. *Yellow River*, 1994, (2): 9—12.
- [9] Wen H R, He Y H. Historical survey on distribution of forest resources in China. *Natural Resources*, 1979, (2): 72—85.
- [10] Xian X W. On forest and environmental changes in Loess Plateau in history. *Journal of Lanzhou University (Social Sciences)*, 1983, (4): 17—20.
- [11] Xian X W. Historical distribution of forests and grasslands in Gansu province. *Economic Geography*, 1984, 4(3): 195—198.
- [12] Zhang L Y. Opinions on tree and grass planting in Loess Plateau. *Journal of Lanzhou University (Social Sciences)*, 1983, (4): 24—25.
- [13] Tang S Q, Wu G H. Several issues on changes of natural conditions in Loess Plateau of Gansu in historical period. *Journal of Lanzhou University (Social Sciences)*, 1984, (1): 27—32.
- [14] Zhang L Y. The influence of the uplift of Qinghai-Xizang Plateau on the quaternary environmental evolution in China. *Journal of Lanzhou University*, 1981, 17(3): 142—155.
- [15] Wang H S, Wang Q N. Discrimination on opinions related to vegetation attributes of Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(5): 149—154.
- [16] Yang Q Y. How large actually range of Loess Plateau? *Geographical Knowledge*, 1988, (3): 4—5.
- [17] Zhang B S, Zhang R H. The natural divisions on Loess Plateau. *Journal of Northwest University*, 1984, 14(4): 98—105.
- [18] Wang Q N, Wang H S, Zhou J B. Analysis on forestry bases of vegetation construction in Loess Plateau. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2005, 26(2): 115—120.
- [19] Zou H Y. Study on vegetation and its restoration in Loess Plateau of north Shaanxi. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1986, (1): 23—28.
- [20] Wang Y F. The management of Loess Plateau and the development of grass industry—Take account of the development conditions for forest and grass in Loess Plateau. *Natural Resources*, 1991, (4): 1—9.
- [21] Luo W X, Zou N G, Han E X, *et al.* Study on site classification for forestation in Loess Plateau of Shaanxi and planting suitable trees in accordance with site conditions. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1985, (1): 1—16.
- [22] Xiao Y. Comparative studies on biomass and productivity of *Pinus tabulaeformis* plantations in different climatic zones in Shaanxi Province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1990, 14(3): 237—246.
- [23] Zhang B L. Study on biomass and productivity of *Quercus liaotungensis* stands in Ziwuling forest region of Shaanxi Province. *Journal of Northwestern College of Forestry*, 1990, 5(1): 1—7.
- [24] Northwest Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR. Summary on experiments and demonstrations in some typical places for integrated control of Loess Plateau during 7th five-year national planning. In: Resources and Environment Bureau, CAS ed. *Integrated control of small watersheds in Loess Plateau and their development*. Beijing: Science and Technology Literature Press, 1992. 1—37.
- [25] Yuan J Z. Dynamic cluster analysis of forest climate in the Loess Plateau region. *Journal of Hebei Forestry College*, 1991, 6(3): 175—182.
- [26] Li G S, Yang Q Y. Division between sub-humid and semi-arid areas in Loess Plateau. *Geographical Knowledge*, 1988, (3): 6, 11.
- [27] Yang Q Y, Zheng D, Sun H N, *et al.* Discussion on natural zones in Loess Plateau. In: Loess Plateau Comprehensive Scientific Survey Group, CAS ed. *Study on comprehensive control and exploitation of Loess Plateau region (Ningxia, Gansu and Qinghai)*. Beijing: Science Press, 1988. 88—94.
- [28] Loess Plateau Comprehensive Scientific Survey Group, CAS. Comprehensive development of agriculture, forestry and animal husbandry in Loess Plateau region and their rational distribution. Beijing: Science Press, 1991. 217—235.
- [29] Lu Z C. Discussion on productive potential of natural vegetation and rate of surface erosion. In: Loess Plateau Comprehensive Scientific Survey Group, CAS ed. *Symposium for study on comprehensive control and exploitation of Loess Plateau region*, Beijing: China Environmental Science Press, 1993. 29—37.
- [30] Yuan J Z, Zhang H X. Optimized models for establishing forest vegetation on the Loess Plateau. Beijing: Science Press, 1991. 36—48, 91—99.
- [31] Ma Y X, Yang W Z, Han S F, *et al.* On the growth dynamics of locust in the Loess Plateau. *Acta Conservationis Soli et Aquae Sinica*, 1990, 4(2): 26—32.
- [32] Zou N G, Luo W X, Xu P C, *et al.* Study on soil moisture under different site types in Loess Plateau of Shaanxi. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1987, (2): 28—33.
- [33] Li J J, Yu H B. Site classification and planting suitable trees in accordance with site conditions in Loess Plateau of Gansu Province. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1990. 44—52.
- [34] Yang W Z. A trial zonation of soil water regime in the Loess Plateau and problems of forestation. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1981, 1(2): 13—19.
- [35] Zhu Z C. Features of vegetation zones in Qinling Mountain and its northern loess area. *Scientia Geographica Sinica*, 1991, 11(2): 157—163.
- [36] Chen C D. The vegetation and its roles in soil and water conservation in the secondary forest area in the boundary of Shaanxi and Gansu provinces. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1958, (2): 152—223.
- [37] Zou H Y, Liu G B, Wang H S. The vegetation development in North Ziwuling forest region in last fifty years. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 2002, 22(1): 1—8.
- [38] Zhu Z C. The types and dynamic characteristics of shrubs on Loess Plateau in north Shaanxi. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1992, (1): 36—42.

- [39] Wang H S. Review on tactics of vegetation restoration in Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*. 2004, 2(1): 42—45.
- [40] Zou H Y, Li L. Vegetation features of forest steppe zone of Xing Zi River Valley in north of Shaanxi. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 1991, 11(5): 10—19.
- [41] Zhu Z C. Phytocoenosis type of forest steppe in north Shaanxi I. savanna forest and fruticous steppe. *Grassland of China*, 1982, (2): 1—8.
- [42] Zhu Z C. Preliminary studies on the *Juniperus rigida* open wood in the Loess Plateau of northern Shaanxi Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 1991, 27(4): 447—451.
- [43] Zhu Z C. Phytocoenosis type of forest steppe in north Shaanxi II. grass steppe and semi-frutex steppe. *Grassland of China*, 1984, (1): 13—21.
- [44] Wang Y F. Vegetation resources and their utilization and protection in Loess Plateau region of Gansu and Qinghai. In: *Loess Plateau Comprehensive Scientific Survey Group, CAS ed. Study on comprehensive control and exploitation of Loess Plateau region (Ningxia, Gansu and Qinghai)*. Beijing: Science Press, 1988. 285—294.
- [45] Shangguan T L. Analysis of the horizontal zonality of the vegetation in Shanxi province, China. *Journal of Shanxi University*, 1989, 12(1): 104—111.
- [46] Zhu S G. Study on problems of environmental changes in contiguous areas among Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia. In: *Loess Plateau Comprehensive Scientific Survey Group, CAS ed. Symposium for study on comprehensive control and exploitation of Loess Plateau region*, Beijing: China Environmental Science Press, 1993. 141—147.
- [47] Xu H C, Sun Z F, Guo G R, *et al.* Geographic distribution of *Pinus tabulaeformis* Carr. and classification of provenance regions. *Scientia Silvae Sinicae*, 1981, 17(3): 258—268.
- [48] Jiang Y, Tian L S, Lei M D, *et al.* Analysis of the regional differences of floristic composition and the nature of vegetation in the lower zone on the eastern slope of the Helan mountain range. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1990, 14(1): 46—53.
- [49] Zou H Y, Cheng J M. Distribution of the grassland vegetation in natural sanctuary of the Yunwu mountain of the Loess Plateau. *Grassland of China*, 1985, (4): 53—57.
- [50] Gao Z Z. Vegetation in sandy land in Ningxia steppe region. *Grassland of China*, 1985, (2): 32—37.
- [51] Li B, Zhang J T. Analysis of relationships between vegetation and climate variables in Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 82—89.
- [52] Liu L P. Flora of woody plants in Ziwoing. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1998. 1—12.
- [53] Loess Plateau Comprehensive Scientific Survey Group, CAS. Integrated control of land sandy desertification in northern sand-laden windy part of Loess Plateau region. Beijing: Science Press, 1991. 22—24.
- [54] Hou X Y. Vegetation geography and how to develop agriculture in the arid areas of northwestern China. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 1986, 6(2): 81—98.
- [55] Zhao S L. Introduction to catchment agriculture. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1996. 12—30.
- [56] Li W D. Discussion on development direction of forestry in Yulin from evolution of its natural environment. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1990, (4): 39—43.
- [57] ГАЕЉБ А Г. Discussion on forestation in sandy land and its water relationship (Translated by Zhao X L). Beijing: Science Press, 1958. 16—33.
- [58] Xiong G S. Arrangement of measures for soil and water conservation in light of local conditions. *Soil and Water Conservation in China*, 2000, (3): 16—17.
- [59] Zhu X M. The formation of Loess Plateau and its harnessing measures. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1991, 11(1): 1—8, 17.
- [60] Liu C. Discussion on land types and regionalization. *Acta Geographica Sinica*, 1985, 40(3): 256—263.
- [61] Xu H C. Landscape Ecology. Beijing: China Forestry Press, 1996. 112—148.
- [62] Liu Y H. About the structure, evolution and ecological planning of land type — take the 500, 000: 1 land type map of Shaanxi Province as an example. *Natural Resources*, 1987, (3): 25—33.

参考文献:

- [1] Walter H. 世界植被——陆地生物圈的生态系统(中国科学院植物研究所生态室译). 北京: 科学出版社, 1984. 1—45.
- [2] 张仁甫. 自然地理地带性规律本质. 西北大学学报, 1958, (3): 49—57.
- [3] 韦省民. 地理环境时空有序性的理论解释. 西北大学学报, 1986, 16(4): 84—91.
- [4] 张鹏云, 赵松岭. 试用现代科学观点探讨黄土高原的林木. 兰州大学学报(社会科学版), 1983, (4): 21—24.
- [5] 史念海, 曹尔琴, 朱士光. 黄土高原森林与草原的变迁. 西安: 陕西人民出版社, 1985. 44—168.
- [6] 刘东生, 张宗祜. 中国的黄土. 地质学报, 1962, 42(1): 1—14.
- [7] 戴英生. 从黄河中游的古气候环境探讨黄土高原的水土流失问题. 人民黄河, 1980, (4): 1—8.
- [8] 王守春. 历史时期黄土高原的植被及其变迁. 人民黄河, 1994, (2): 9—12.
- [9] 文焕然, 何业恒. 中国森林资源分布的历史概况. 自然资源, 1979, (2): 72—85.
- [10] 鲜肖威. 关于历史上黄土高原的环境和森林变迁. 兰州大学学报(社会科学版), 1983, (4): 17—20.
- [11] 鲜肖威. 历史上甘肃的森林和草原. 经济地理, 1984, 4(3): 195—198.

- [12] 张林源. 黄土高原种草种树问题管见. 兰州大学学报(社会科学版), 1983, (4): 24~25.
- [13] 唐少卿, 伍光和. 历史时期甘肃黄土高原自然条件变化的若干问题. 兰州大学学报(社会科学版), 1984, (1): 27~32.
- [14] 张林源. 青藏高原上升对我国第四纪环境演变的影响. 兰州大学学报, 1981, 17(3): 142~155.
- [15] 王晗生, 王青宁. 黄土高原植被属性有关论点辨析. 林业科学, 2005, 41(5): 149~154.
- [16] 杨勤业. 黄土高原的范围究竟有多大? 地理知识, 1988, (3): 4~5.
- [17] 张保升, 张仁慧. 黄土高原的自然界限. 西北大学学报, 1984, 14(4): 98~105.
- [18] 王青宁, 王晗生, 周景斌. 黄土高原植被建造的林业基础分析. 内蒙古农业大学学报, 2005, 26(2): 115~120.
- [19] 邹厚远. 陕北黄土高原植被及其恢复研究报告. 陕西林业科技, 1986, (1): 23~28.
- [20] 王义凤. 黄土高原的治理与草地事业的发展——兼谈黄土高原发展林草的条件. 自然资源, 1991, (4): 1~9.
- [21] 罗伟祥, 邹年根, 韩恩贤, 等. 陕西黄土高原造林立地条件类型划分及适地适树研究报告. 陕西林业科技, 1985, (1): 1~16.
- [22] 肖瑜. 陕西省不同气候区域油松人工林生物量和生产力的比较研究. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(3): 237~246.
- [23] 张柏林. 子午岭地区辽东栎生物生产量的研究. 西北林学院学报, 1990, 5(1): 1~7.
- [24] 中国科学院、水利部西北水土保持研究所. 黄土高原综合治理定位试验示范“七五”期间的总结报告. 见: 中国科学院资源环境科学局. 黄土高原小流域综合治理与发展. 北京: 科学技术文献出版社, 1992. 1~37.
- [25] 袁嘉祖. 黄土高原地区林业气候动态聚类分析. 河北林学院学报, 1991, 6(3): 175~182.
- [26] 李高社, 杨勤业. 黄土高原亚湿润与半干旱的界限. 地理知识, 1988, (3): 6, 11.
- [27] 杨勤业, 郑度, 孙惠南, 等. 试论黄土高原的自然地带. 见: 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区综合治理开发研究(宁甘青部分). 北京: 科学出版社, 1988. 88~94.
- [28] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区农林牧业综合发展与合理布局. 北京: 科学出版社, 1991. 217~235.
- [29] 陆中臣. 试论黄土高原自然植被生产潜力与地表侵蚀速率. 见: 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区综合治理开发研究论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 29~37.
- [30] 袁嘉祖, 张汉雄. 黄土高原地区森林植被建设的优化模型. 北京: 科学出版社, 1991. 36~48, 91~99.
- [31] 马玉玺, 杨文治, 韩仕峰, 等. 黄土高原刺槐生长动态研究. 水土保持学报, 1990, 4(2): 26~32.
- [32] 邹年根, 罗伟祥, 徐鹏程, 等. 陕西黄土高原不同立地条件土壤水分研究报告. 陕西林业科技, 1987, (2): 28~33.
- [33] 李嘉珏, 于洪波. 甘肃黄土高原立地分类与适地适树. 北京: 北京科学技术出版社, 1990. 44~52.
- [34] 杨文治. 黄土高原土壤水分状况分区(试拟)与造林问题. 水土保持通报, 1981, 1(2): 13~19.
- [35] 朱志诚. 秦岭及其以北黄土区植被地带性特征. 地理科学, 1991, 11(2): 157~163.
- [36] 陈昌笃. 陕甘边境子午岭梢林区的植被及其在水土保持上的作用. 植物生态学与地植物学资料丛刊, 1958, (2): 152~223.
- [37] 邹厚远, 刘国彬, 王晗生. 子午岭林区北部近50年植被的变化发展. 西北植物学报, 2002, 22(1): 1~8.
- [38] 朱志诚. 陕北黄土高原灌木林的类型及其动态特性. 陕西林业科技, 1992, (1): 36~42.
- [39] 王晗生. 黄土高原植被恢复策略回顾. 中国水土保持科学. 2004, 2(1): 42~45.
- [40] 邹厚远, 李玲. 陕北杏子河流域森林草原区的植被特征. 西北植物学报, 1991, 11(5): 10~19.
- [41] 朱志诚. 陕北森林草原区的植物群落类型 I. 疏林草原和灌木草原. 中国草原, 1982, (2): 1~8.
- [42] 朱志诚. 陕北黄土高原杜松疏林草原初步研究. 林业科学, 1991, 27(4): 447~451.
- [43] 朱志诚. 陕北森林草原区的植物群落类型 II. 禾草草原和半灌木草原. 中国草原, 1984, (1): 13~21.
- [44] 王义凤. 甘青黄土高原地区植被资源及其利用与保护. 见: 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区综合治理开发研究(宁甘青部分). 北京: 科学出版社, 1988. 285~294.
- [45] 上官铁梁. 山西植被的水平地带性分析. 山西大学学报, 1989, 12(1): 104~111.
- [46] 朱士光. 晋陕蒙接壤地区环境变迁问题的研究. 见: 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区综合治理开发研究论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 141~147.
- [47] 徐化成, 孙肇凤, 郭广荣, 等. 油松天然林的地理分布和种源区的划分. 林业科学, 1981, 17(3): 258~268.
- [48] 江源, 田连恕, 雷明德, 等. 贺兰山东坡低山区植被种类组成区域分异与植被性质的分析. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 14(1): 46~53.
- [49] 邹厚远, 程积民. 黄土高原云雾山自然保护区草场植被的分布. 中国草原, 1985, (4): 53~57.
- [50] 高正中. 宁夏草原区的沙地植被. 中国草原, 1985, (2): 32~37.
- [51] 李斌, 张金屯. 黄土高原地区植被与气候的关系. 生态学报, 2003, 23(1): 82~89.
- [52] 刘立品. 子午岭木本植物志. 兰州: 兰州大学出版社, 1998. 1~12.
- [53] 李文丁. 从榆林自然环境的演化谈该区的林业发展方向. 陕西林业科技, 1990, (4): 39~43.
- [54] ГАЕЛЬ А Г. 论砂地造林与水分关系(赵兴梁译). 北京: 科学出版社, 1958. 16~33.
- [55] 熊贵枢. 因地制宜布置水土保持措施. 中国水土保持, 2000, (3): 16~17.
- [56] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策. 水土保持通报, 1991, 11(1): 1~8, 17.
- [57] 刘闾. 土地类型与自然区划. 地理学报, 1985, 40(3): 256~263.
- [58] 徐化成. 景观生态学. 北京: 中国林业出版社, 1996. 112~148.
- [59] 刘胤汉. 论土地类型的结构、演替与生态设计——以陕西省1:50万土地类型图为例. 自然资源, 1987, (3): 25~33.