

黄土高原林草植被建设的地带性特征

陈云明 梁一民 程积民

(中国科学院水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)
水利部

摘要 针对黄土高原现有人工林草植被存在的主要问题, 依据天然植被地带性分布规律和实测资料, 分析了以水分为主的生态条件及林草植被对水分利用的地带性特征, 提出了黄土高原林草植被建设的群落学原理和关键技术。即: 依据植被地带分布规律指导人工林草植被建设; 选择地带性植被优势种作为主要造林种草的植物种; 模拟天然植被结构实行乔灌草复层混交是快速建造稳定植被的科学途径。根据一些/ 适地适树0 树种并不能正常成林的现象, 提出造林应强调/ 适地适林0 的原则, 同时给出适宜黄土高原不同植被地带林草植被建设的主要树草种和伴生种或四旁绿化树种。

关键词 黄土高原 植被建设 适地适林 适地适树

THE ZONAL CHARACTER OF VEGETATION CONSTRUCTION ON LOESS PLATEAU

CHEN Yun_Ming LIANG Yi_Min and CHENG Ji_Min

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

Abstract The following study aimed at constructing vegetation, according to zonal distribution orderliness of vegetation and measured data by studying the zone character of ecological conditions and water utilization by vegetation. The key techniques and principles of plant sociology followed in vegetation construction on Loess Plateau, were a) to construct vegetation in different zone according to zonal distribution law of natural vegetation b) to select the dominant plants of zonal vegetation as main species for establishing woodland or grassland c) to simulate natural vegetation structure and d) to carry out compound layer mixed cropping of trees, shrubs and grasses so as to construct a stable vegetation. The principle that afforestation for a site should be carried out with suitable trees is effective in most of the cases but not all. Beside this, we propose to choose a suitable plant community other than trees for a site in terms of afforestation.

Key words Loess Plateau, Vegetation construction

黄土高原历史上绝大部分地区曾有着广袤的森林和草原, 保持着良好的自然生态系统(孟庆枚, 1996)。随着人口的增加和广种薄收、滥牧过牧的生产方式, 植被遭到严重破坏。目前, 黄土高原地区森林覆盖率 7% 左右, 加上疏林和灌木林约 7.67 万 km², 占总土地面积的 12.2% (吴钦孝等, 1998); 开垦指数约 30%, 其中水土流失严重的丘陵沟壑区开垦指数达 40%~50%; 荒坡草地也因滥牧、过牧而退化。

解放后的 50 多年来, 黄土高原以水土保持为中心的生态环境建设取得了很大成绩, 但因种种原因, 治理成效并不理想, 水土流失和荒漠化加剧的趋势没有得到有效控制, 生态环境仍十分脆弱。随着我国西部大开发战略和山川秀美工程的实施, 国家加大了这一地区/ 退耕还林(草), 封山绿化0 的力度, 林

草植被的恢复建造作为生态环境建设的核心也被提到战略高度, 日益受到政府和群众的重视。但长期以来, 林、草建设中存在的一些科学问题没有得到很好解决, 人工造林种草中存在的成活率低和生态经济效益低等问题, 增加了人们对这一地区林草植被建设前景的顾虑(蒋定生, 1997)。本文依据多年来在黄土高原开展林、草植被建设的实践, 从水分条件及植被地带性分布规律出发, 研究黄土高原林、草植被建设的地带性规律, 以提高林草植被建设成效。

1 人工林草植被建设现状

1.1 造林种草布局不尽合理

黄土高原从东南到西北, 依次为暖温性森林地带、暖温性森林草原地带、暖温性典型草原地带和暖温性荒漠草原地带(王义凤, 1991)。在不同地带应

建设相应的林、草植被。但黄土高原林、草植被建设中,一直存在重乔轻灌草问题。特别在森林草原地带和草原地带,营造大面积乔木林,违背了植被地带性分布规律,导致大面积人工林为小老树林。黄土高原小老树集中分布区也正是典型草原区和森林草原区(吴钦孝等,1998)。

1.2 人工林树种、结构单一,保存率低,生态经济效益低

据统计,全区造林保存率约 25% (吴钦孝等,1998)。除森林地带造林树种较多外,无林地区不管森林草原地带还是草原地带人工造林树种主要为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和小叶杨(*Populus simonii*),灌木主要有柠条(*Caragana microphylla*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)。林分结构单一,大部分为纯林。加之造林时全面整地,天然草灌被破坏,一些林分的林冠郁闭后,地表仍无地被物覆盖,其水土保持和水源涵养功能远不如天然林。部分林分因树种选择不当,生长发育不良,郁闭度小,生态、经济效益均很低。此外,在人工林草植被建设中,存在过分强调经济效益的问题,由于经营管理不力,即使是经济林,多数也收益甚微。黄土高原特别是丘陵沟壑区大部分地方人均 0.13~0.2 hm² 基本农田和 0.13~0.2 hm² 经济林果,只要集约经营,达到优质、高产、高效,即可获得稳定的粮食和经济收入。约占总面积 50%~70% 的土地应建设以防止水土流失或土地荒漠化为主的林草植被。若能合理开发利用,还可适度发展畜牧业、特种经济植物(如药材等),获得一定的经济效益。因此,黄土高原林草植被建设在生态经济效益方面的潜力巨大。

1.3 草地建设薄弱,退化严重

黄土丘陵沟壑区有占总土地面积 30%~40% 的天然草地,是黄土高原生态系统的重要组成部分。特别是在半干旱和干旱的森林草原地带、草原地带和荒漠草原地带,草地是地带性的植被类型。草地不仅可以有效保持水土,防止土地荒漠化,又是草原地带生态系统的主要生产者,是发展畜牧业的可再生资源。保护、建造及合理利用草地资源,发展草业、畜牧业是该地区建设生态农业、发展区域经济不可替代的产业,是维持生态系统平衡,实现生态经济系统可持续发展的基础和重要措施。草地畜牧业一直是黄土高原传统主导产业之一。但目前存在的问题是人工草地建设十分薄弱,天然草地长期处于超载滥牧状态,退化严重。这不仅制约了畜牧业的发展,而且导致严重的水土流失和土地荒漠化。草

原地带和荒漠草原地带草地植被的破坏是目前该地区的主要生态问题。

2 黄土高原生态条件的地带性特征

2.1 不同地带的天然植被类型

暖温性森林地带主要为以山杨(*Populus davidiana*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、栓皮栎(*Q. variabilis*)、槲栎(*Q. aliana*)、麻栎(*Q. acutissima*)、白桦(*Betula platyphylla*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等建群种组成的森林植被。林内有较多的伴生树种和灌、草植物种。

森林草原地带位于黄土丘陵沟壑区的中部。由于地形原因,造成水热条件的分异。梁峁坡天然植被为以长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*A. giraldii*)、兴安胡枝子(*Lespedeza davurica*)等优势种组成的草原或草甸草原植被。水分条件较好的沟谷可生长一些乔木和灌木组成的林分。但森林地带的很多建群种在该地带已无天然分布,主要乔木树种为非地带性森林建群种,而是一些散生树种,如小叶杨、榆树(*Ulmus pumila*)、杜梨(*Pyrus betulifolia*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)等;灌木多为森林地带的一些优势种和次优势种,如狼牙刺(*Sphora vicifolia*)、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、灰桐子(*Cotoneaster acutifolius*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、紫丁香(*Syringa oblata*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等。所以,森林草原地带的森林与森林地带的森林已有质的差异。

典型草原地带则为以长芒草、大针茅(*Stipa grandis*)、铁杆蒿、芨蒿、冷蒿(*Artemisia frigida*)、地椒(*Thymus mongolicus*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等组成的草原植被。虽也可生长一些乔、灌木,但森林地带和森林草原地带许多优势种在此已无天然分布,该地带的水热条件也不适宜于大片林木生长。

荒漠草原地带主要为以旱生小灌木和禾草组成的荒漠草原植被。主要优势种有短花针茅(*Stipa breviflora*)、沙生针茅(*S. glareosa*)、戈壁针茅(*S. gobica*)、蓍状亚菊(*Ajania adhilloides*)、灌木亚菊(*A. fruticulosa*)、荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovski*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)等。

可见,不同地带有不同的植被类型,而相邻地带一些植物种有所交叉,但不同地带的植被类型有质的差别。

2.2 不同植被地带的水分生态条件及林草地水分利用

黄土高原天然植被的地带性分布取决于水、热

条件为主的气候地带分布, 表 1 为不同植被地带的主要生态环境指标。这是林草植被建设区划和立地条件分类的首要标准。由于年降水量、土壤质地、水分蒸发量的地带性分异造成的土壤水分的地带性差异, 是限制黄土高原植被地带性分布与生长状况的主要因子(杨文治等, 1998)。因此, 近十多年来各地都进行了以水分为主的造林立地类型划分。

不同地带林草植被的水分利用及其对土壤水分影响的程度不同。表 2 为森林地带、森林草原地带和典型草原地带具代表性的荒坡和林草地土壤水分状况实测资料。可见, 无论荒坡还是林草地, 不同地带的土壤水分条件不同, 特别是土壤有效储水量差异明显。森林带、森林草原带和草原带的荒坡 8 m 土层有效储水量分别为 1004 mm、847 mm 和 396 mm。

表 1 黄土高原植被地带的环境指标(王义凤, 1991)
Table 1 Environmental indexes of vegetation zones on Loess Plateau (Wang, 1991)

生物气候带 Bioclimatic zone	年均降水量 Annual rainfall (mm)	年均气温 Annual air temperature ($^{\circ}\text{C}$)	干燥度* Dryness degree	干湿分区 Division of drought or humidity	土壤 Soil
暖温性森林地带 Warm temperate forest zone	550~ 700	9~ 12	1.3~ 1.5	半湿润 Semi_humid	褐色土 Cinnamon soil
暖温性森林草原地带 Warm temperate forest steppe zone	450~ 550	8~ 10	1.4~ 1.8	半湿润半干旱 Semi_humid_semi2arid	黑垆土 Heilu soil
暖温性典型草原地带 Warm temperate typical steppe zone	300~ 450	6~ 8	1.8~ 2.2	半干旱 Semi_arid	轻黑垆土、淡栗钙土 Loamy heilu soil, light chestnut soil
暖温性荒漠草原地带 Warm temperate desert steppe zone	200~ 300	6~ 9	2.4 ~ 3.5	干旱半干旱 Aridity_semi arid	灰钙土、棕钙土 Sierozem, brown calcic soil

* 根据彭曼干燥度 According to Pengman dryness degree

表 2 不同植被地带荒坡土壤水分条件及林草地水分利用状况
Table 2 Soil moisture condition of waste slope and water use status of woodland and grassland in different vegetation zones

类型 Types	森林地带 Forest zone (宜川 Yichuan county)	森林草原带 Forest steppe zone (安塞 Ansa i county)	典型草原带 Typical prairie zone (吴旗 Wuqi county)	
荒坡 8 m 土层平均含水量(%) Average soil moisture of 8 m soil layer on waste slope(%)	15.2	12.6	8.02	8.02
荒坡 8 m 土层平均储水量 Average storage of 8 m soil layer on waste slope (mm)	1496	1240	789	789
荒坡 8 m 土层平均有效水储量 Average available storage of 8 m soil layer on waste slope (mm)	1004	847	396	396
林、草地 8 m 土层平均含水量(%) Average soil moisture of 8 m soil layer in woodland and grassland (%)	11.4	6.3	4.7	5.3
林、草地 8 m 土层平均储水量 Average storage of 8 m soil layer in woodland and grassland (mm)	1122	619	462	520
年平均降水量 Average annual rainfall (mm)	574.4	524.0	363.6	363.6
林、草地年平均耗水量 Average annual consumption in woodland and grassland (mm)	590	549	375	393.6
林、草地年平均消耗土层储水量 Average annual consumed soil storage in woodland and grassland (mm)	15	25	11	30
林、草地 8 m 土层剩余有效水储量 Residual available water of 8 m soil layer in woodland and grassland (mm)	630	225	69	128
备注 Remark	梁峁坡 25 年生油松, 密度 2250 株/ hm^2 25 years old Pinus tabulaeformis on hill slope (2250 trees/ hm^2)	峁坡 25 年生刺槐, 密度 2500 株/ hm^2 25 years old Robinia pseudoacacia on hill slope (2500 trees/ hm^2)	峁坡 30 年生杜梨 30 years old Pyrus btilulaefolia on hill slope (1667 trees/ hm^2)	梁峁坡 9 年生沙打旺 9 years old Astragalus dsurgens on hill slope

森林地带的宜川县(刘向东等, 1991)多年平均降雨量 574.4 mm, 位于梁峁坡中部的 25 年生人工油松林地, 在丰水年土壤水分补偿能力较好, 补偿深度达 2.0 m 以上; 平水年林地土壤水分仅补偿 1.0 m 左右; 枯水年林地土壤水分不仅得不到补偿, 反而消耗了前一年的土壤贮水, 使 0.8~2.2 m 土层含水量下降 2%~5%。多年平均油松林地年平均消耗土层贮水约 15 mm。位于同一地带的淳化县年平均降水量为 600 mm, 14~16 龄刺槐林丰水年耗水量(以 3.5 m 土层计算)为年降水量的 81.6%~95.5%, 阳坡林地水分盈余 34 mm, 阴坡林地水分盈余 154 mm; 欠水年耗水量为年降水量的 133%~136%, 阳坡林地水分亏缺量 185 mm, 阴坡林地亏缺 172 mm(李凯荣等, 1990)。说明在黄土高原森林地带林木的生长仍需依靠深土层储水的补偿, 故多年生林地深土层均出现低湿层。

森林草原区的安塞县纸坊沟流域, 25 年生刺槐林平均年耗水量较同期年降水量高约 25 mm。据对 1980~1989 年连续 10 年监测结果, 10 年平均年降水量为 509.7 mm, 5~14 年生刺槐林 10 年中平均年耗水量约 480 mm。如果按 1980~1985 年计, 也就是 5~10 年生刺槐林年均耗水量约 444 mm, 占同期年降水量的 86.7%; 而 1986~1989 年(10~14 龄)期间, 林地年均耗水量约 535 mm, 占同期降水量的 106%, 显然年耗水量大于同期年降水量。可见刺槐林 10 龄前, 降水量基本可满足林地水分需求, 10 龄后, 刺槐生长进入高峰期, 平均年耗水量大于年降水量, 需消耗深土层储水。11~25 龄林地平均年消耗土壤储水量约为 41.5 mm。

典型草原地带的吴旗县铁边城, 30 年生的杜梨林平均年耗水量已大大低于森林地带和森林草原带, 仅为 375 mm。这一方面因降水量和土壤储水量均大大低于前两个地带, 同时因杜梨不是成林树种, 杜梨林生长发育不良; 即便如此, 林地耗水量仍略高于降水量。而在该地区飞播的沙打旺(*Astragalus adsurgens*)草地, 9 年内平均年耗水量为 393.6 mm, 年均消耗土壤储水 30 mm, 共消耗 8 m 土层有效水总量的 68%。由于沙打旺生长繁茂, 地表覆盖度大, 减少了土壤蒸发, 提高了水分有效利用率。据实际测算, 2~9 年生沙打旺草地总产草量是同期围封天然草地的 7.6 倍, 而总耗水量仅为 1.1 倍; 天然草地蒸腾耗水量占总耗水量(与年降水量大致相等)的 15%, 沙打旺草地约 72% 用于蒸腾(梁一民等, 1990); 5~13 年生沙棘林蒸腾耗水量占总耗水量的

62%~85%(李代琼等, 1990), 均大大提高了水分的有效利用率。可见, 在半干旱的草原地区种植草灌可充分利用降水进行初级生产, 既可为畜牧业发展提供饲草, 又是保护和改善生态环境、防止土壤退化及沙漠化的根本措施。

2.3 同一地带不同立地条件的水分状况

在黄土高原除地带性的水热条件影响着林草植被的生长与分布外, 同一地区不同立地类型的水分生态条件也有很大差异。特别是丘陵沟壑区, 由于丘陵起伏, 沟壑纵横, 不同坡向、坡位由于光热和降水再分配, 造成其水分条件和植被分布的分异。

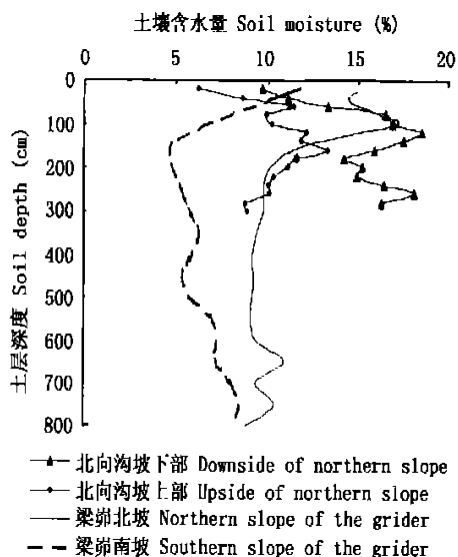


图 1 吴旗县不同立地类型土壤水分比较
Fig. 1 Soil moisture comparison of different land utilization types in Wuqi county

图 1 为典型草原区的吴旗县铁边城不同立地类型荒坡草地土壤水分比较。由图 1 可见, 不同立地土壤水分差异很大, 北向沟坡下部 50 cm 以下土层水分含量均在 15%~18%; 北向沟坡和梁峁坡土壤水分相近, 在 10% 左右; 梁峁坡 8 m 土层平均土壤含水量, 阴坡为 10.4%, 阳坡为 6.6%。可见, 典型草原区沟谷阴坡下部土壤水分条件相当于森林地带梁峁半阴坡。尽管其年降水量差异很大, 由于这种微域水分条件使草原地带沟谷下部也可生长小片乔木林, 但因水热等综合因子, 森林地带的乔木优势种在这里不能正常生长发育及天然更新。这种微域的林分与地带性天然林仍有质的差异。根据大量不同地区的土壤水分测定资料, 我们认为, 非森林地带适宜造林的立地类型常年稳定土壤重量含水量应在 14%~15% 以上。

在同一植被地带内, 土壤和降水等条件一致的情况下, 不同林地的土壤水分状况也存在明显差异。

在黄土丘陵半干旱的森林草原区,黄土深厚的梁峁坡已无天然林分布,主要为刺槐、柠条、沙棘等人工林。大量调查资料表明,生长 10 余年的各类人工林,林下均形成 8 m 左右的土壤干层(图 2),土壤水库的调节作用极大地削弱,林木生长均受不同程度抑制,遇到干旱年份,林木发生死亡。同一地区不同类型林草植被对土壤水分消耗的多少,主要取决于林草生长状况。树草种选择适宜、生长好、生物量高的林草植被耗水量较大,反之,耗水量较少。吴旗小叶杨林地土壤水分高于刺槐林地正是由于小叶杨林生长不如刺槐林(图 3)。

3 林草植被建设原理与关键技术

3.1 在不同植被地带建造不同类型人工林草植被
天然植被是依据水热条件有规律地呈地带性分布。不同地带植被类型(包括组成、结构、生物量等)不同。在不同地带建造人工林草植被时,必须选择其相应的地带性植被类型(梁一民等,1999)。

在森林地带植被建设中可以林为主,用于造林的树种较多。一些被破坏和发育不良的次生林可通过飞播或人工造林进行改造;条件好的荒沟、荒坡采取封育,天然植被可得以较快恢复。

森林草原地带梁峁坡应以灌草为主,水分条件较好的沟坡可营造不同的乔灌混交林。

在典型草原带可以生长一些乔木树种,但因水分缺乏及没有适宜树种,营造大面积乔木林难以成功,但种植草灌均易成功,应以草灌为主或建立稀树灌草丛植被。除村庄、四旁植树绿化外,在一些有集流条件的小生境可营造行道林、护岸林、农田防护林等。在该地带适宜的优良牧草较多,但试验表明,如果单纯种草几年或十几年牧草衰败后,难以及时更新,所以应实行灌、草带状混交,利用牧草生长快、见效快,灌木生长期长的特点,建立既见效快,又相对稳定的草灌植被。

在荒漠草原地带常见的人工林草植被类型有旱柳、小叶杨、新疆杨(*Populus bolaria*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、白榆(*Ulmus pumila*)、柠条、怪柳(*Tamarix chinensis*)等小片纯林、混交林或行道林。局部小地形树木生长良好。该地带由于生态条件的限制,人工草地建设十分困难。大面积荒漠草原应以严格控制载畜量、合理轮牧,维持天然植被的正常生长发育和更新。有条件的地方,适度营造一些带状防护林。

3.2 选择地带性植被优势种作为主要造林树种

任何天然植被均由一定优势种和伴生种共同组成和谐、稳定的复层混交结构。其中的优势种或称建群种为其植被的主要成份,它们对地带性的生态条件有最好的适应性,具有较强的繁殖更新能力,是适宜群居的种群。所以,用它们作为主要造林种草植物种易获成功。从相邻或国外相应植被地带引种优势种或次优势种作为主要造林种草植物种也易成功。

前面已列举了黄土高原一些地带性植被优势种。可见,在森林地带选择造林的优势乔木树种是不难的,森林地带的许多优势乔、灌木树种除少数因

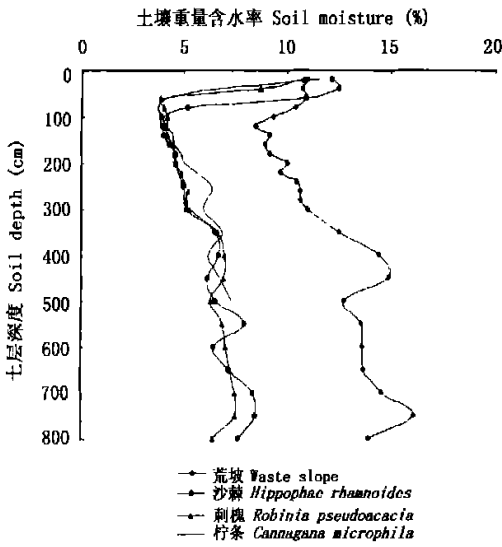


图 2 纸坊沟流域林地土壤水分
Fig 2 Soil moisture in woodland in Zhifangou watershed

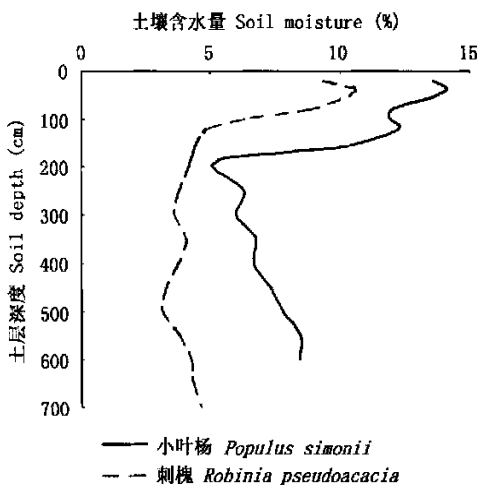


图 3 吴旗县林地土壤水分
Fig 3 Soil moisture of woodland in Wuqi county

温度条件在森林草原地带不能正常生长或自然更新外,大多数在森林草原带水分条件较好的生境可以成林。而在草原地带,适宜大面积成林的优势乔木树种则很少。目前在黄土高原大部分地区常用于造林的乔木树种中,小叶杨、白榆、杜梨、臭椿、国槐及各种杂交杨等不是地带性植被的优势种,而是散生树种或森林中的伴生种。这些散生乔木树种在暖温性草原带甚至荒漠化草原带也常有生长,且生长发育正常,所以被认为是适地适树的乡土树种用作主要造林树种。这些乡土散生树种用于四旁植树或造林的辅助种是适地适树的;但因它们不是成林的地带性植被优势种,用作主要造林树种则不适宜,很难正常成林。这是黄土高原长期以来人工造林成效不好的重要原因之一。

尽管人工造林中都在强调/适地适树,一些文献中列举的树种应该说也是适地适树的,但用它们造林仍不能正常成林。可见,适地适树的树种,即便是乡土树种并不都适宜造林。作为造林应强调适地适林。即主要造林树种,既要适于立地条件,又要适宜成林。按树种的生物生态学特性,乡土树种一般地说是适地适树的,但并不一定都符合适地适林要求。即适地适树不等于适地适林。这除决定于树种的生物生态学特性外,还决定于它们的群落学特性或林学特性(梁一民等,1999)。

适地适林是以造林为目标,选择在造林立地适宜成林树种,以建造一定面积及合理林分结构的林

地。要做到适地适林应依据植被地带性分布规律和树种的生物生态学及群落学特性、生态位理论,选择适宜的树草种及相应的林分(植物群落)结构。

目前在黄土丘陵区,许多森林带和森林草原带的地带性植被优势乔、灌木种尚未用于人工造林,其中一些树种具有一定的经济价值。如:栓皮栎、槲栎、麻栎、辽东栎、白桦、连翘(*Forsythia suspensa*)、榛子(*Corylus heterophylla*)、二色胡枝子(*Lepedeza bicolor*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、狼牙刺等,它们与油松、刺槐、侧柏均可分别用作森林地带和森林草原带主要造林树种。应从这些树种中通过选优,培育优良的人工造林主要树种。这些树种用于分布区外相邻地区造林其效果好于当地的散生树种,如油松、连翘等森林地带的优势种,在森林草原地带的安塞纸坊沟流域无天然分布,但在纸坊沟引种营造的刺槐2连翘、油松2连翘混交林,生长发育良好。相反,当地常见的白榆、小叶杨造林效果不好。

除经济林外,在大面积建造林草植被中,选择适宜树草种和结构模式时,主要应按适地适林要求考虑树种生物生态学 and 群落学特性,在此基础上考虑经济价值;如果片面强调经济效益,可能适得其反。表3所列树草种为适宜黄土丘陵区大面积造林种草的主要树草种、伴生种或四旁绿化树种。

3.3 模拟天然植被结构实行乔灌草混交

目前,黄土丘陵区大部分人工林为结构单一的纯林,且因有些树种选择不当,加之全面整地,林下

表3 黄土高原人工林草植被适宜树草种(梁一民等,1999)
Table 3 Suitable species of tree and grass for planting in Loess Plateau (Liang, 1999)

植被地带 Vegetation zone	人工林草植被主要树草种 Main species of artificial vegetation	主要伴生或四旁绿化树种 Main species suitable for four side planting or companions
暖温性森林地带 Warm temperate forest zone	油松 ¹ 、刺槐 ² 、侧柏 ³ 、白桦 ⁴ 、槲栎 ⁵ 、栓皮栎 ⁶ 、辽东栎 ⁷ 、水杉 ⁸ 、沙棘 ⁹ 、连翘 ¹⁰ 、山桃 ¹¹ 、山杏 ¹² 、紫穗槐 ¹³ 、二色胡枝子 ¹⁴ 、榛子 ¹⁵ 、狼牙刺 ¹⁶ 、苜蓿 ¹⁷ 、小冠花 ¹⁸ 、红三叶 ¹⁹ 、白三叶 ²⁰	小叶杨 ³⁶ 、新疆杨 ³⁷ 、旱柳 ³⁸ 、泡桐 ³⁹ 、白榆 ⁴⁰ 、杜梨 ⁴¹ 、臭椿 ⁴² 、元宝枫 ⁴³ 、银杏 ⁴⁴ 、茶条槭 ⁴⁵ 、国槐 ⁴⁶ 、椴树 ⁴⁷ 、白蜡 ⁴⁸ 、玫瑰 ⁴⁹
暖温性森林草原带 Warm temperate forest_steppe zone	油松 ¹ 、刺槐 ² 、侧柏 ³ 、辽东栎 ⁷ 、沙棘 ⁹ 、柠条 ²¹ 、山杏 ¹² 、山桃 ¹¹ 、紫穗槐 ¹³ 、火炬树 ²² 、连翘 ¹⁰ 、二色胡枝子 ¹⁴ 、狼牙刺 ¹⁴ 、苜蓿 ¹⁷ 、沙打旺 ²³ 、红豆草 ²⁴ 、小冠花 ¹⁸ 、白羊草 ²⁵ 、兴安胡枝子 ²⁶	小叶杨 ³⁶ 、河北杨 ³⁰ 、新疆杨 ³⁷ 、旱柳 ³⁸ 、杜梨 ⁴¹ 、白榆 ⁴⁰ 、臭椿 ⁴² 、元宝枫 ⁴³ 、茶条槭 ⁴⁵ 、国槐 ⁴⁶ 、椴树 ⁴⁷ 、白蜡 ⁴⁸ 、玫瑰 ⁴⁹
暖温性典型草原带 Warm temperate typical steppe zone	柠条 ²¹ 、沙棘 ⁹ 、山杏 ¹² 、山桃 ¹¹ 、扁核木 ²⁷ 、苜蓿 ¹⁷ 、红豆草 ²⁴ 、沙打旺 ²³ 、兴安胡枝子 ²⁶ 、芨芨草 ²⁸	小叶杨 ³⁶ 、河北杨 ³⁰ 、新疆杨 ³⁷ 、旱柳 ³⁸ 、杜梨 ⁴¹ 、白榆 ⁴⁰ 、臭椿 ⁴²
暖温性荒漠草原带 Warm temperate desert steppe zone	沙枣 ²⁹ 、柽柳 ³⁰ 、柠条 ²¹ 、羊柴 ³¹ 、花棒 ³² 、山桃 ¹¹ 、乌柳 ³³ 、芨芨草 ²⁸ 、沙蒿 ³⁴ 、白刺 ³⁵	旱柳 ³⁸ 、新疆杨 ³⁷ 、小叶杨 ³⁶ 、白榆 ⁴⁰ 、臭椿 ⁴²

1. *Pinus tabulaeformis* 2. *Robinia pseudoacacia* 3. *Platycladus orientalis* 4. *Betula platyphylla* 5. *Quercus aliena* 6. *Q. variabilis* 7. *Q. liaotungensis* 8. *Metasequoia glyptostroboides* 9. *Hippophae rhamnoides* 10. *Forsythia suspensa* 11. *Prunus davidiana* 12. *Pyrus armeniaca* var. *ansu* 13. *Amorpha fruticosa* 14. *Lepedeza bicolor* 15. *Corylus heterophylla* 16. *Sophora viciifolia* 17. *Medicago sativa* 18. *Corollaria viria* 19. *Trifolium pratense* 20. *T. repens* 21. *Caragana microphylla* 22. *Rhus typhina* 23. *Astragalus adsurgens* 24. *Onobrychis viciifolia* 25. *Bothriochloa ischaemum* 26. *Lepedeza davurica* 27. *Prinsopia uniflora* 28. *Achnatherum splendens* 29. *Elaeagnus angustifolia* 30. *Tamarix chinensis* 31. *Hedysarum fruticosum* var. *laeve* 32. *H. scoparium* 33. *Salix cheilophila* 34. *Artemisia desertorum* 35. *Nitraria sibirica* 36. *Populus simonii* 37. *P. alba* cv. *pyramidalis* 38. *Salix matsudana* 39. *Paulownia tomentosa* 40. *Umus pumila* 41. *Pyrus betulifolia* 42. *Ailanthus altissima* 43. *Acer truncatum* 44. *Ginkgo biloba* 45. *Acer ginnala* 46. *Sophora japonica* 47. *Tilia paucicostata* 48. *Fraxinus chinensis* 49. *Rosa rugosa* 50. *Populus hopeiensis*

无活地被和枯枝落叶层, 不仅水土保持和涵养水源功效不好, 而且因大部分地表裸露, 水分无效蒸发多, 有效利用少, 同时养分平衡失调, 影响了林分发育, 生态、经济效益不高。作为林地生态系统, 其结构决定功能。天然林均有其优势种和伴生种, 共同组成和谐、稳定的复层混交结构, 其生物量、水土保持及水源涵养功能大大高于大部分人工林(唐克丽, 1993)。所以, 人工造林模拟天然林结构, 实行乔灌草复层混交, 不仅可提高林分的生态、经济效益和稳定性, 而且也是快速建设林草植被的有效途径。在造林中, 如果草、灌、乔一次建植(带状或片状混交), 前2~4年草带可较好郁闭, 覆盖地表, 开始发挥生态和经济效益; 3~5年灌木即可开始郁闭, 发挥其功效, 最后形成稳定的乔灌混交林。

目前, 在人工林草地与天然林草地结构中还有一个重大差异。人工林草地多为一次建植, 即优势种群个体为同龄结构, 这样加剧了个体间对水分、养分的竞争与消耗, 这是人工林草地普遍存在土壤干层的重要原因之一; 而天然林草地多为异龄个体组成, 同时深根、浅根植物有机结合, 合理、多样的生态位组合使其在水分、养分的利用、平衡方面优于人工林草地。

在建造人工复层林草植被时, 在保留一定天然植被的同时, 应尽量选择2~3种以上能天然更新的树、草种, 初始密度不应太大, 以便使之通过天然更新逐步形成不同龄级的混交结构。如何模拟天然植被结构, 尚需进一步试验研究。

在森林地带和森林草原地带适宜立地条件下可建造乔、灌、草复层植被; 在森林草原地带的梁峁坡和草原地带大部分地区则应以灌、草混交为主。从林草地的稳定性和可持续发展要求, 实行混交时必须考虑深根、浅根树草种的搭配, 建群树种的初始密度在适宜范围内可尽量降低, 依据天然植被结构及演替规律适当增加灌、草密度或尽量多的保存原天

然草、灌成分, 维持较好的水分、养分平衡水平, 为建群种的天然更新创造良好条件。最后形成接近天然植被结构, 又有主栽优良树、草种的稳定、复层、异龄混交植被。

参 考 文 献

- Jiang, D. S. (蒋定生). 1997. Soil erosion and control models in the Loess Plateau. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hy2 dropower Press. 85~ 109. (in Chinese)
- Li, D. Q. (李代琼) & X. H. Cong (从心海). 1990. Study on net primary production and water consumption of Hippophae rhamnoides forest in semi arid region of Loess Plateau. Bulletin of Soil and Water Conservation (水土保持通报), 10(6): 91~ 97. (in Chinese)
- Li, K. R. (李凯荣) & Y. M. Wang(王佑民). 1990. Study on productivity and soil water condition of Robinia pseudoacacia in the gully region of Loess Plateau. Bulletin of Soil and Water Conservation (水土保持通报), 10(6): 58~ 65. (in Chinese)
- Liang, Y. M. (梁一民) & D. Q. Li(李代琼). 1990. Study on soil moisture and productive characteristics of Astragalus adsurgens grassland in Wuqi county. Bulletin of Soil and Water Conservation (水土保持通报), 10(6): 113~ 118. (in Chinese)
- Liang, Y. M. (梁一民), X. L. Hou(侯喜录) & D. Q. Li(李代琼). 1999. Study on principle and technique of vegetation establishment in loess hilly region. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation (土壤侵蚀与水土保持学报), 5(3): 1~ 5. (in Chinese)
- Liu, X. D. (刘向东), Q. X. Wu (吴钦孝) & H. Y. Zhao(赵鸿雁). 1991. Study on soil moisture characteristics in plantation of Chinese pine in loess hilly region. Study on benefits of soil and water protection of forest and forest hydrological ecology. Shaanxi Science and Technology Press. 71~ 78. (in Chinese)
- Meng, Q. M. (孟庆枚). 1996. Soil and water conservation on Loess Plateau. Zhengzhou: Huanghe Water Resources Press. 85~ 118. (in Chinese)
- Tang, K. L. (唐克丽). 1993. Variations of soil erosion, runoff and sediment in the Yellow River Basin. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 102~ 117. (in Chinese)
- Wang, Y. F. (王义凤). 1991. Vegetational resources and its rational utilization in the region of Loess Plateau. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 46~ 51. (in Chinese)
- Wu, Q. X. (吴钦孝) & W. Z. Yang(杨文治). 1998. Vegetation construction and sustainable development in Loess Plateau. Beijing: Science Press. 16~ 35. (in Chinese)
- Yang, W. Z. (杨文治), M. A. Shao (邵明安), X. D. Peng (彭新德) & W. S. Xia (夏卫生). 1998. On the relationship between environmental aridization of the Loess Plateau and soil water of loess. Science in China (series D)(中国科学, D辑), 28: 357~ 365. (in Chinese)

责任编辑: 马克平 责任编辑: 周玉荣