
* 试 *
* 验 *
* 研 *
* 究 *

陕北地区不同类型植物生产力及生态适应性研究

山 仑, 徐炳成, 杜 峰, 朱桂林, 张岁岐, 黄占斌

(中国科学院水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 在调查陕北地区不同地域作物(谷子)、人工草灌(苜蓿与柠条)和天然草地(退耕地)的生产力, 土壤水分及耕层养分的基础上, 对比研究了不同类型植物生产力的差异, 并分析了引起差异的原因及限制生产力提高的因素。结果表明, 作物地(谷子)生产力占据明显优势, 但稳定性较差; 人工草灌(苜蓿与柠条)及天然草地的生产力较谷子低; 天然草地群落的生产力、稳定性、物种丰度指数和土壤养分含量均较优越。指出除水分不足是限制不同植物生产力发挥的主要因素外, 土壤养分含量低和缺乏管理也是限制植物生产力提高的重要因素。同时指出, 为达到正确评价不同类型植物的生产力和长期适应性, 为该地区大范围植被建设提供依据和参考, 应设立定位或半定位研究点进行长期测定与研究。

关键词: 陕北地区; 作物; 草灌; 生产力; 调查研究; 生态适应性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2004)01-0001-07

中图分类号: Q948

A Survey Study on Productivity and Eco-adaptability of Different Plants in North Region of Shaanxi Province

SHAN Lun, XU Bing-cheng, DU Feng, ZHU Gui-lin, ZHANG Sui-qi, HUANG Zhan-bin

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Based on an investigation into productivity, soil water and soil nutrient content of croplands, artificial grasslands (*Medicago sativa*) and shrub forests (*Caragana korshinskii*), and natural grasslands in the northern region of Shaanxi Province, the productivity differences among different vegetation types and territories are discussed comparatively, and the reasons for these differences are analyzed. The results show that the productivity of croplands (*foxtail millet*) was far better than that other plants or vegetation types, but production stability is relatively poor in these systems. Productivity in artificial grasslands, shrub forests and natural grasslands is lower than in croplands, productivity stability, community biodiversity index and soil nutrient content of natural grasslands are the best among the surveyed plants (or vegetation types). It is proposed that besides water, low soil nutrient content and short of reasonable running also limit plant productivity improvement. To evaluate the productivity and longterm adaptation of different plants to the environment and offer guidance to the construction of vegetation systems in the region, long-term research areas or provisional survey study spots should be founded.

Keywords: the north region of Shaanxi Province; croplands; grass and shrub lands; productivity; survey study; ecoadaptability

陕北黄土高原位于黄土高原中部, 地理位置为 35°43'—39°34'N, 107°28'—110°31'E, 范围包括陕西省榆林和延安地区的 25 个县市, 总土地面积约 80 000 km², 占陕西全省土地面积的 40%^[1]。该地区植被覆盖度低, 水土流失强烈, 土地沙化与荒漠化严重, 土地利用比例失调, 脆弱的生态环境阻滞了经济的快速发展^[1-2]。同时, 陕北地区为我国北方农牧交

错带的一部分, 在中国生态系统生产力分区中属于中下等生产力地区^[3], 低生产力一直是困扰该地区农牧业发展的主要因子。由于生态交错区的脆弱性及特殊性, 生态环境的综合整治与产业结构的合理配置就显得尤为重要。

通过对该区不同立地条件下不同类型植物生产力和土壤水分、土壤耕层养分状况调查并进行评价,

收稿日期: 2003-10-20

修回日期: 2003-11-16

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999011708)

作者简介: 山仑(1933—), 男(汉族), 山东龙口人, 研究员, 中国工程院院士, 主要从事作物抗旱生理及旱地农业研究。电话: (029)7012732, E-mail: shanlun@public.xa.sn.cn.

了解不同类型植物在该地区不同区域条件下的生态适应性,分析各类型植物在该区域的生产特点及存在的问题,可以为该区生态环境建设中植物合理布局和农业结构调整提供依据和参考。

1 各调查区的自然及社会经济状况

陕北地区属于旱半干旱大陆性季风气候,区内多年平均年降雨量 450~600 mm,自南向北递减,北部地区年降雨量在 500 mm 以下,榆林以北更是低于 400 mm,降雨量低且年季分配不均,降雨主要集中在夏季并多以暴雨形式出现。其中黄土丘陵沟壑区是该地区水土流失最严重的地区,区内黄绵土分布广,厚度大,结构松散,地面缺少植被保护,受雨季集中且多暴雨的影响,水蚀强烈,形成一系列梁峁、沟壑、川道等地貌类型。延安地区位于黄土丘陵沟壑区腹地,属于典型丘陵沟壑区,年平均日照时数为 2 300~2 570 h,年均降水量在 490.5~663.3 mm 之间,年平均气温为 7.7℃~10.6℃之间,无霜期为 142~175 d 左右。土地总面积约 37 000 km²,常住人口为 2.06×10⁶人,其中农业人口为 1.46×10⁶人,人口密度约为 56 人/km²。绥德县地貌属峁状丘陵沟壑区,地理位置介于延安与榆林二地区之间,土地总面积约 1 848 km²,总人口为 3.42×10⁵人,农业人口为 2.98×10⁵,人口密度 185 人/km²。榆林地区位于毛乌素沙漠南缘,地貌以长城为界,北部为风沙草滩区,占全区土地总面积的 42%;南部为黄土丘陵沟壑区,占全区土地总面积的 58%。年平均降水量为 300~500 mm,平均气温 7.9℃~11.3℃,无霜期 134~169 d。总人口 3.21×10⁶人,其中农业人口 2.83×10⁶人,总土地面积 43 578 km²,人口密度约 74 人/km²。

2 调查项目与方法

为准确反映陕北地区不同区域条件下各类型植物(植被)的生产力状况,调查于 2002 年植物生长盛期的 8 月 25 日至 9 月 15 日期间进行,主要调查目的包括:(1) 不同地区天然草地植物群落组成,结构及其相异性;(2) 同一地区内天然草地(退耕地)、人工草地、人工灌木林和农田生物量与土壤水分的关系;(3) 各地区不同土地利用方式间土壤水分耕层养分与生物量差异。调查从南向北选择在典型的治理流域内进行,各流域顺序分别为延安(燕儿沟流域)—>安塞高桥(朱塌流域)—>绥德(水保局试验站)—>榆林(古长城南北的黄土区与风沙区)。按植被类型选取天然草地(退耕地)、人工草地—苜蓿、人工灌木林—柠条和农田—谷子为调查对象。用便携式 GPS 和罗盘仪调查各样地地理位置、坡度和坡向。在各类型植物样地内随机选取 3~5 个样方(1 m×1 m 或 2 m×2 m)调查植被组成、结构,记录高度、盖度、多度和生物量(鲜重与干重)。在每调查样方内用土钻按 0~100 cm 每隔 10 cm 取土一次,200~300 cm 每隔 20 cm 取土一次测定土壤水分,同时按 W 形取样法(9 钻)在各调查样地内采集 0~20 cm 耕层土样,常规方法测定各土壤养分组分含量。草灌植物群落物种重要值用盖度、高度、数量、多度和生物量的平均值计算。土壤可利用水量以 -1.6 MPa 为植物可利用水分的下界,根据各类型区水分特征曲线,求得相应的可利用含水量的下界。土壤水分特征曲线延安轻黄绵土为 $\theta = 14.40\omega^{-0.237}$,绥德轻黄绵土为 $\theta = 120.30\omega^{-0.373}$,榆林紧沙土的为 $\theta = 7.10\omega^{-0.282}$,其中 θ 为土壤重量含水量, ω 土壤吸力^[4](表 1—4)。

表 1 延安燕儿沟流域各调查样地基本情况

| 样地号 | 地理位置 | 海拔高度/m | 坡形/坡位 | 坡度/(°) | 坡向 | 土地利用情况 |
|-----|----------------------------|--------|----------|--------|-------|--------------|
| I | 109°32'10.7"E,36°31'10.5"N | 1 250 | 沟谷坡中上部 | 28 | W5°S | 5a 生柠条地 |
| II | 109°32'2.9"E,36°31'3.9"N | 1 180 | 沟谷坡中下部 | 18 | S25°E | 天然草地,退耕 10a |
| III | 109°32'27.6"E,36°31'9.4"N | 1 260 | 沟谷坡中部 | 22 | S30°E | 草木樨地第 2a,已衰败 |
| IV | 109°32'27.6"E,36°31'9.4"N | 1 260 | 沟谷坡中部 | 22 | S30°E | 第 3a 生柠条地 |
| V | 109°32'10.7"E,36°31'10.5"N | 1 240 | 沟谷 3 级梯田 | 28 | W5°S | 谷子地 |
| VI | 109°32'10.7"E,36°31'10.5"N | 1 135 | 沟谷 2 级梯田 | 28 | W5°S | 谷子地 |

注:土壤类型均为黄绵土;样地 I 地被物 70% 苔藓,枯落物厚度 0.5~1 cm,主要是胡枝子的枯叶。

表 2 高桥朱塌流域各调查样地基本情况

| 样地号 | 地理位置 | 海拔高度/m | 坡形/坡位 | 坡度/(°) | 坡向 | 土地利用情况 |
|-----|----------------------------|--------|------------|--------|-------|----------------|
| I | 109°12'57.7"E,36°40'22.6"N | 1 300 | 梁峁坡下部 | 23 | S20°E | 天然草地,退耕 18~20a |
| II | 109°12'57.7"E,36°40'22.6"N | 1 280 | 沟谷坡中部 | 13 | S | 3a 生苜蓿地 |
| III | 109°12'19.3"E,36°40'25.4"N | 1 210 | 沟坡向上 5 级梯田 | 13 | W30°N | 谷子地 |

注:土壤类型均为黄绵土,均没有地被物。

表 3 绥德试验站各调查样地基本情况

| 样地号 | 地理位置 | 海拔高度/m | 坡形/坡位 | 坡度/(°) | 坡向 | 土地利用情况 |
|-----|----------------------------|--------|-------------|--------|-------|-----------------------|
| I | 110°17'20.6"E,37°31'9.7"N | 994 | 梁峁坡中上部 | 34 | E30°S | 天然草地 |
| II | 110°17'36.7"E,37°31'12.9"N | 1 030 | 梁峁坡中部 | 31 | N35°E | 水平沟间距 1.8 m,第 1 a 苜蓿地 |
| III | 110°17'35.8"E,37°31'12.8"N | 1 040 | 梁峁坡上部 | 26 | N35°E | 水平沟间距 2.2 m,第 2 a 苜蓿地 |
| IV | 110°17'10.4"E,37°31'5.4"N | 968 | 梁上水平阶地 | — | — | 第 1 a 苜蓿地 |
| V | 110°17'25.4"E,37°30'31.4"N | 952 | 12 级梯田第 6 级 | — | S25°E | 谷子地 |

注:土壤类型均为黄绵土,均没有地被物。

表 4 榆林各调查样地基本情况

| 样地号 | 地理位置 | 海拔高度/m | 坡形/坡位 | 坡度/(°) | 坡向 | 土地利用情况 |
|-----|----------------------------|--------|----------|--------|-------|------------|
| I | 110°47'40.4"E,38°17'1.4"N | 1 170 | 梁坡中部 | 14 | N | 8 a 生人工柠条林 |
| II | 110°47'40.4"E,38°17'1.4"N | 1 170 | 梁坡中部 | 14 | N | 天然草地 |
| III | 110°41'53.8"E,38°21'54.8"N | 1 200 | 固定沙丘迎风坡 | 20 | N25°E | 飞播治沙区 |
| IV | 109°41'53.8"E,38°21'54.8"N | 1 200 | 固定沙丘背风坡 | 34 | S30°E | 飞播治沙区 |
| V | 109°43'59"E,38°14'33.3"N | 1 070 | 半固定沙丘背风坡 | 11 | S30°E | 飞播治沙区 |
| VI | 110°47'52.4"E,38°16'48.6"N | 1 160 | 梁峁坡上部 | 3 | S25°E | 谷子地 |

注:风沙区为紧沙土,黄土区为轻黄绵土;I, II 样地地表苔藓覆盖 60%;N 样地地表 40%苔藓,100%结皮。

3 调查结果与分析

3.1 不同地区各样地群落特征和生物量

3.1.1 延安燕儿沟流域 延安燕儿沟 5 a 生柠条林 (I) 为柠条+箭叶胡枝子群落:其中柠条、元宝枫、刺槐和沙打旺为人工种植。灌木下草本类植物组成为:箭叶胡枝子、二色胡枝子、达乌里胡枝子、铁杆蒿、额河千里光、黄蒿、老鹳草、狗尾草、委陵菜、刺槐、茵陈蒿、甘草、阿尔泰狗娃花、黄鹌菜、小花鬼针草、沙蓬、野豌豆、臭蒿和苦苣。各主要种群落重要值分别为:柠条 54.88、箭叶胡枝子 53.42、沙打旺 29.38 和元宝枫 23.54。总生物量鲜重为 8 576.67 kg/hm²,其中柠条、箭叶胡枝子、沙打旺和元宝枫生物量鲜重分别为 1 948.33, 1 953.33, 986.67 和 743.33 kg/hm²,分别占 22.72%, 22.77%, 11.50% 和 8.67%。

第 3 a 生柠条林 (IV) 为柠条+黄花蒿群落,物种组成为柠条、黄花蒿、冰草与狗尾草,其中柠条与黄花蒿重要值分别为 343.75 和 174.63。生物量鲜重为 2 927.50 kg/hm²,柠条和黄花蒿的生物量鲜重分别为 2 000 和 902.5 kg/hm²,分别占整个柠条林生物量的 68.32% 和 30.83%。

沟谷坡中下部退耕草地 (II) 为达乌里胡枝子+阴行草群落,其中达乌里胡枝子和阴行草的重要值分别为 41.85 和 12.31,前者在群落中占绝对优势。其物种组成主要为阿尔泰狗娃花、草木樨状黄芪、长芒草、达乌里胡枝子、二裂委陵菜、黄花蒿、箭叶胡枝子、框柳、黄鹌菜、老鹳草、铁杆蒿、细叶远志、野葱、阴行草、茵陈蒿、中华隐子草等。每 1 hm² 生物量鲜重为

2 746.63 kg,建群种达乌里胡枝子和阴行草生物量鲜重分别为 1 471.60 和 420.70 kg/hm²。因草木樨已衰败,人工草木樨地 (III) 为黄花蒿群落所代替,黄花蒿与草木樨的重要值分别为 188.75 和 49.75。其每 1 hm² 生物量鲜重为 6 860 kg/hm²,高于退耕 10 a 的天然草地 (I)。黄花蒿和草木樨的生物量分别为鲜重 5 810 和 950 kg/hm²。两块谷子调查样地分别为 3 级梯田 (V),密度为 33 株/m²;2 级梯田 (VI),密度为 12 株/m²,生物量鲜重分别为 12 804 和 11 640 kg/hm²,干重分别为 5 499.1 和 5 433.20 kg/hm²。

总体地上部分生产力鲜重以谷子地最大,分别为 12 804 和 11 640 kg/hm²,依次为草木樨 (6 860) > 第 5 a 柠条 (8 576.67) > 第 3 a 柠条 (2 927.50) > 天然草地 (2 746.63)。干重顺序为谷子地 (5 499.10 和 5 433.20 kg/hm²) > 草木樨 (3 802.50) > 第 5 a 柠条 (4 838.57) > 天然草地 (1 642.98) > 第 3 a 柠条林 (1 591.10)。

3.2.2 安塞高桥朱塌流域 高桥乡退耕 18~20 a 的天然草地样地为白羊草群落 (I),其物种组成为阿尔泰狗娃花、白羊草、糙隐子草、长芒草、甘草、黄花蒿、箭叶胡枝子、铁杆蒿、委陵菜和小花棘豆,白羊草的重要值为 111.25,接下来是箭叶胡枝子 (38.25)。生物量鲜、干重分别为 2 460 kg/hm² 和 1 248.2 kg/hm²。其中白羊草和箭叶胡枝子鲜重分别为 1 235 和 38.25 kg/hm²。梯田谷子 (III) 植株密度为 12 株/m²,鲜重生物量为 6 336 kg/hm²,干重为 2 532.00 kg/hm²。第 3 a 人工苜蓿 (II) 鲜草产量为 3 460 kg/hm²,干草产量为 1 073.80 kg/hm²。

地上部分生产力鲜重大小顺序为谷子(6 336 kg/hm²)>苜蓿(3 460 kg/hm²)>天然草地(2 460 kg/hm²),而干重顺序为谷子(2 532.0 kg/hm²)>天然草地(1 248.2 kg/hm²)>苜蓿(1 073.8 kg/hm²)。

3.2.3 绥德水保局试验站 天然草地为丛生隐子草+黄花蒿群落(I),其物种组成为丛生隐子草、达乌里胡枝子、黄花蒿、阿尔泰狗娃花、二色补血草、长芒草、茵陈蒿、一品豆。丛生隐子草的群落重要值为224.5,黄花蒿为167。生物量鲜重为4 222.5 kg/hm²,其中丛生隐子草和猪毛蒿的生物量鲜重分别为2 070和1 290 kg/hm²。谷子地(V)密度为20株/m²,鲜重和干重生物量分别为3 280 kg/hm²和1 825.65 kg/hm²。生长第2a的苜蓿鲜、干草产量分别为1 340.91 kg/hm²和292.57 kg/hm²,其中苜蓿产量占54.92%。水平阶地上的1a生人工苜蓿地鲜、干草产量分别为611.11 kg/hm²和175.72 kg/hm²,水平沟间的1a生苜蓿的鲜、干草产量分别为3 140 kg/hm²,978.20 kg/hm²。各调查地块生物量鲜、干重大小顺序相同,均为天然草地>谷子地>沟间第1a苜蓿>梯田苜蓿>坡地水平阶第1a苜蓿。

3.2.4 榆林黄土区与风沙治理区 黄土区8a生人工柠条林(I)的群落组成为柠条、猪毛蒿、长芒草、茵陈蒿、中华隐子草、阿尔泰狗娃花和达乌里胡枝子。主

要种柠条和猪毛蒿的重要值分别为109.5和85.25。群落生物量鲜重为806.67 kg/hm²,其中柠条和猪毛蒿的生物量鲜重分别为433.33和183.33 kg/hm²。天然草地为长芒草群落(II),其物种组成为长芒草、达乌里胡枝子、狗尾草、中华隐子草、黄花蒿、老鹳草、细叶远志、茵陈蒿、中华隐子草。群落生物量鲜重为2 660 kg/hm²,其中主要种长芒草和猪毛蒿的生物量鲜重分别为1 420和780 kg/hm²。谷子地(VI)密度为25株/m²,鲜重和干重生物量分别为4 300和1 459.24 kg/hm²。

可见,榆林黄土区生产力高低顺序为谷子>天然草地>柠条林。

风沙治沙地固定沙丘迎风坡(N)多为蒙古岩黄芪+黑沙蒿群落,鲜重和干重生物量为476.67和214.24 kg/hm²,两者都占群落生物量的近50%。固定沙丘背风坡(V)为黑沙蒿群落,群落鲜重和干重生物量分别为217.33和62.88 kg/hm²,优势种黑沙蒿的生物量占到80.67%。

可以看出,由延安到榆林(基本方位是由南向北)农田、草地的生产力干重急剧降低。对每一地区来说,生产力高低顺序为农田>人工灌木林≥天然草地>人工草地。在生产力稳定性方面,天然草地随地区变化的偏差较小(表5)。

表5 调查各类型植物地上生物量统计

| 调查项目 | 天然草地 | 谷子地 | 柠条地 | 苜蓿地 |
|---------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 鲜重(Mean±S.E.) | 3 022.28±809.10 | 7 672.00±4 316.00 | 4 013.60±4 016.30 | 2 138.01±1 380.60 |
| 干重(Mean±S.E.) | 1 710.81±798.01 | 3 350.43±1 969.90 | 2 292.20±2 278.30 | 630.07±461.30 |

注:数量多度为物种的个体数/m²。

3.2 不同地区各调查样地土壤水分状况

3.2.1 土壤水分含量 在黄土高原大范围内,因气温、降水、土壤质地等因子不同,土壤水分状况随地区和植被类型而变化,不同地区不同类型植物下土壤水分见图1,调查样地2m土层平均土壤含水率见表6。

可以看出,谷子地0~200cm平均土壤水分含量较天然草地、柠条地和人工草地,约高5~7个百分点。从0到100cm左右,土壤水分含量变化与差异较大,100~200cm渐趋平缓,说明谷子地0~100cm土壤水分可能较大地受到蒸发的影响,其它样地之间土壤水分含量0~100cm差异不明显。其中高桥谷子地,0~200cm平均土壤含水量较其它样地高3.56%~3.27%,坡地苜蓿和天然草地的土壤耗水形式基本相同。绥德1a生苜蓿地土壤水分含量较高,在水平阶地上的高。

榆林土壤剖面水分分布呈2种类型,这主要是土壤类型不同所致,其中谷子地、天然草地和柠条地是一种类型,土壤为轻黄绵土,表层由于前期少量降雨,水分含量较高,至50cm左右最低,50cm往下开始增大,但程度不一,谷子地水分增加最快,平均土壤含水量较柠条地和天然草地高。另一种类型是人工治沙地,土壤类型为紧沙土,其剖面水分分布特征为表层较低,至50~100cm升高,往下又始降低。

总体上榆林谷子地、天然草地和柠条地的土壤含水量0~200cm平均较其它沙丘样地高出1.93%~6.19%。在整体变化趋势上,延安地区(延安与高桥)的土壤水分含量变化曲线随着土层下降向右倾,说明随着土壤深度的增加水分增加,而榆林地区(绥德与榆林)的倾斜程度较小或向左倾,表明随着土层下降土壤水分逐渐减少。

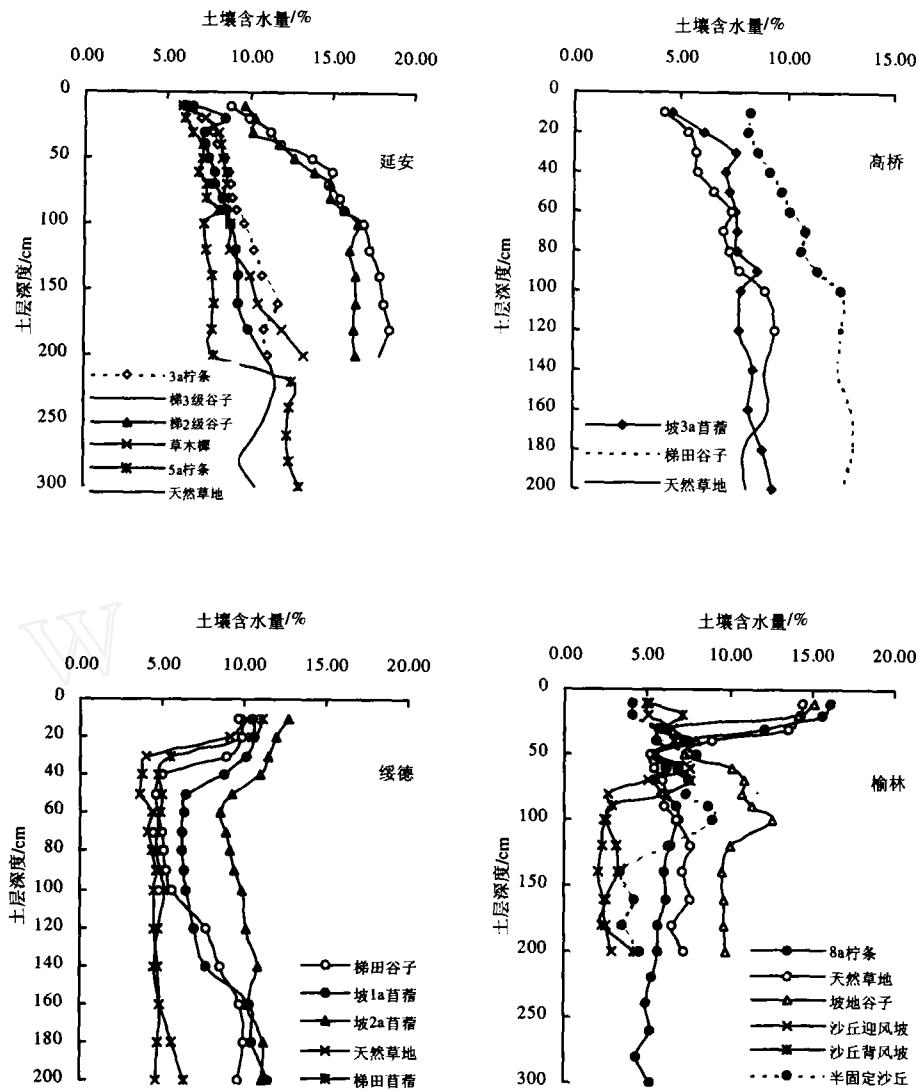


图 1 不同地区不同类型植物下的土壤水分

表 6 不同地区调查样地 2m 土层平均土壤含水率 %

| 样地编号 | 延安燕沟 | 延安高桥 | 绥德试验站 | 榆林黄土区 |
|------|-------------------|-------|-------|-------------------|
| I | 7.26 ^① | 7.33 | 5.09 | 7.87 ^② |
| II | 9.17 | 8.95 | 8.33 | 8.19 |
| III | 9.04 | 10.89 | 5.81 | 4.17 |
| IV | 8.52 ^③ | — | 10.38 | 4.80 |
| V | 14.18 | — | 7.30 | 5.93 |
| VI | 14.94 | — | — | 10.36 |

注: ① 3m 内的平均值为 8.36; ② 3m 内的平均值为 7.16; ③ 3m 内的平均值为 9.09。

3.2.2 土壤水分和生物量的关系 在黄土高原半干旱地区, 生产力的高低与土壤水分状况直接相关, 调查结果很清楚地证实了这一点(表 7)。从表 7 中可看出, 鲜重生物量与 50 cm 和 80~200 cm 各层土壤水分含量显著相关 ($P < 0.05$), 与 10~40 cm 土层水分和 60~70 cm 土层水分相关不显著 ($P > 0.05$)。说明

上层土壤易受到外界环境, 尤其是大气环境的影响, 蒸发较为剧烈, 导致土壤水分含量波动较大, 与生产力的关系不太密切。60~70 cm 土层与生物量关系不显著的原因, 与各类型区土壤无效水含量不同有关。

表 7 单位面积生产力与各层土壤水分含量的相关性

| 土层深度/cm | 相关系数 | 显著水平 | 土层深度/cm | 相关系数 | 显著水平 |
|---------|------|------|---------|------|------|
| 10 | 0.08 | 0.75 | 90 | 0.47 | 0.04 |
| 20 | 0.00 | 0.99 | 100 | 0.47 | 0.04 |
| 30 | 0.09 | 0.71 | 120 | 0.49 | 0.03 |
| 40 | 0.26 | 0.28 | 140 | 0.52 | 0.02 |
| 50 | 0.46 | 0.05 | 160 | 0.49 | 0.03 |
| 60 | 0.43 | 0.07 | 180 | 0.53 | 0.02 |
| 70 | 0.41 | 0.08 | 200 | 0.54 | 0.02 |
| 80 | 0.48 | 0.04 | — | — | — |

注: 单位面积生产力以鲜重计。

从生物量与可利用水量关系看(表 8), 90~200 cm 土层可利用水量与生物量关系达到显著水平, 140, 180 和 200 cm 土层可利用水量与生物量呈极显著相关。无论从生物量与各土层含水量还是从生物量与各土层可利用水量看, 土层越深, 生物量与土壤水分含量关系越密切。据各地土壤水分特征曲线, 以土壤吸力为 -1.6 MPa 为植物可利用土壤水分下界, 延安、绥德和榆林黄土的临界土壤含水量为 7.46%, 3.87% 和 3.25%。计算相应的临界土壤含水量, 求得 80~200 cm 土层可利用水量, 表明谷子地生物量、土壤贮水量和可利用量都较天然草地和柠条地高。

3.3 土壤养分状况

3.3.1 土壤养分整体状况分析 按现有的黄土高原土壤养分状况的分级标准来看^[5, 6], 调查地区土壤耕层有机质含量偏低(表 9), 平均含量均低于 0.80%, 全氮含量也较低, 基本在 0.05% 以下水平, 有机质和全氮含量均处于最低级别。速效总养分中氮的含量不足, 磷的含量极低, 但钾的含量相对较好。

除榆林黄土区土壤有机质含量偏高外, 调查区域的土壤有机质含量由南向北逐渐递减, 全氮含量有相似的规律, 但速效养分变化不太一致。风沙区的土壤易淋溶性导致各土壤养分含量明显低于黄土。

表 9 陕北地区不同地域耕层土壤养分含量状况

| 地点与项目 | 延安燕儿沟 | 延安高桥 | 绥德试验站 | 榆林黄土区 | 榆林风沙区 |
|----------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| 有机质/% | 0.613±0.0115 | 0.574±0.149 | 0.4722±0.111 | 0.7633±0.072 | 0.104±0.004 |
| 全氮/% | 0.043±0.008 | 0.004±0.006 | 0.0036±0.005 | 0.0398±0.001 | 0.006±0.002 |
| 有效氮/(mg·kg ⁻¹) | 23.110±6.894 | 24.557±7.540 | 19.270±6.285 | 26.067±2.575 | 6.279±2.680 |
| 速效磷/(mg·kg ⁻¹) | 2.420±0.378 | 2.178±0.756 | 2.901±0.981 | 2.020±0.576 | 2.812±0.720 |
| 速效钾/(mg·kg ⁻¹) | 85.340±9.710 | 90.887±28.210 | 102.030±42.660 | 86.847±9.257 | 53.493±1.308 |

表 10 陕北地区不同植物利用方式下耕层土壤养分含量状况

| 土地类型 | 有机质/% | 全氮/% | 有效氮/(mg·kg ⁻¹) | 速效磷/(mg·kg ⁻¹) | 速效钾/(mg·kg ⁻¹) |
|------|-------------|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 天然草地 | 0.673±0.069 | 0.044±0.004 | 27.235±1.192 | 2.216±0.598 | 95.185±16.00 |
| 谷子地 | 0.558±0.185 | 0.038±0.005 | 19.692±5.031 | 2.548±0.557 | 73.004±7.044 |
| 柠条地 | 0.683±0.112 | 0.046±0.008 | 26.190±7.343 | 1.828±0.348 | 85.313±1.45 |
| 苜蓿地 | 0.521±0.140 | 0.037±0.008 | 21.338±7.956 | 2.758±0.870 | 107.36±35.05 |
| 草木樨地 | 0.6132± | 0.0419± | 17.71± | 2.801± | 79.95± |
| 风沙区 | 0.104±0.042 | 0.006±0.002 | 6.279±2.68 | 2.812±0.72 | 53.493±14.31 |

3.3.3 不同地域植被下土壤有效态养分总量比较 有效态养分总量是指有效态氮、速效磷和钾的总和。不同地域土壤中有效态养分总量(表 9)延安地区为 110.87 mg/kg, 高桥为 117.63 mg/kg, 绥德为 124.20 mg/kg, 榆林地区的黄土为 114.93 mg/kg, 各地相差很小。

表 8 群落生物量与各层土壤可利用水量的相关性

| 土层深度/cm | 相关系数 | 显著水平 | 土层深度/cm | 相关系数 | 显著水平 |
|---------|-------|------|---------|------|------|
| 10 | -0.28 | 0.24 | 90 | 0.47 | 0.04 |
| 20 | -0.24 | 0.31 | 100 | 0.47 | 0.04 |
| 30 | -0.23 | 0.35 | 120 | 0.52 | 0.02 |
| 40 | -0.13 | 0.59 | 140 | 0.58 | 0.01 |
| 50 | 0.31 | 0.20 | 160 | 0.51 | 0.02 |
| 60 | 0.23 | 0.34 | 180 | 0.59 | 0.02 |
| 70 | 0.26 | 0.29 | 200 | 0.58 | 0.01 |
| 80 | 0.44 | 0.06 | --- | --- | --- |

3.3.2 不同植被下土壤养分的对比 调查结果表明, 陕北地区不同植物利用方式下耕层土壤养分含量状况(表 10), 黄土区不同植被类型下有机质含量高低顺序为柠条林(天然草地) > 草木樨地 > 谷子地 > 苜蓿地; 全氮含量顺序为柠条林 > 天然草地 > 草木樨地 > 谷子地 > 苜蓿地; 有效态氮顺序为天然草地 > 柠条林 > 苜蓿地 > 谷子地 > 草木樨地; 速效磷顺序为草木樨地 > 苜蓿地 > 谷子地 > 天然草地 > 柠条林; 速效钾含量顺序为苜蓿地 > 天然草地 > 柠条林 > 草木樨地 > 谷子地; 风沙区土壤各养分含量除速效磷稍高外, 其它均低于黄土区各调查样地。

在所有调查地块上, 各地均以苜蓿地土壤有效态养分总量最高(榆林地区没有调查苜蓿地), 其次为天然草地, 再次为谷子地。同一地区不同立地条件下梯田苜蓿的有效态养分总量高于坡地(绥德县), 阴坡地块高于阳坡(延安)。在绥德县, 坡地苜蓿土壤总有效态养分甚至低于天然草地。延安柠条地的有效态养分

总量与天然草地相近,草木樨地养分要差于天然草地。谷子地虽然均种植在相对较平缓的地块,但养分含量很低,这说明谷子对养分的需求很高。

4 讨 论

在黄土高原半干旱地区,植被建设与生态环境整治的关键环节是植物生产力的提高,系统分析与比较研究不同类型植物的生产力及其限制因素,可为该区生态环境建设中植物合理布局和农业结构调整提供参考。调查结果显示,3种人工植被谷子、柠条和苜蓿生产力(单位面积生物量)干重均随着地域的逐渐向北呈降低趋势。其中,谷子地单位面积生物量最大,天然草地和人工柠条林地介于其间,苜蓿地最小。谷子地较高生产力与其主要种植在立地相对较好的梯田或川台地,以及在人工投入较多和管理上较为精细(如施肥、锄草等)等有关。实际上,合理的土地利用应包括合理的经营管理,根据在安塞县川地同样条件下种植相同牧草比较结果,辅以作物一半管理人工草地上生物量是完全粗放管理的近2~3倍。人工草灌一方面管理较为粗放,同时生长年限较短,如调查苜蓿主要是1~2a生,柠条最高为8a。在宁夏固原连续6a的测定结果表明,苜蓿第1~2a鲜重生物量仅为1950 kg/hm²,而6a平均则为5640 kg/hm²,多年平均干重生物量大小顺序为谷子>苜蓿(6a平均)>柠条(7~8a)>天然草地。

土壤储水量与地上生物量关系表明,80 cm 土层以下土壤储水量与生物量关系显著,而且土层越深,相关系数越大,其原因主要是80 cm 以上土层的土壤水分可能还受到土面强烈蒸发的影响。

调查各植物(植被)类型下土发含量普遍偏低,土地利用方式对土壤耕层养分产生较大影响,其中作物虽然立地条件较好,但整体状况最差。天然草地的土壤养分整体状况最好,土壤C/N比(平均有机质含量/个,表4)最高8.87,土壤C/N比的高低与生物量、土壤质地和有机质累积与分解程度,平均含量1.724有关,但C/N比的提高有助于土壤质量的改善。^[6]

4种植物(植被)类型中天然草地的生产力稳定性最好,物种丰富度方面延安相比较多,这主要由于延安的调查地块为新近退耕地以及该地区年均降雨量较大和人为扰动较小。但分析结果表明,延安、绥德和榆林3个调查地区天然草地植物群落物种组成与

群落特征相近(数据未列出),说明总体上3个调查区域属于同一植被分布地带。

综合分析,在干旱、半干旱的陕北地区,不同类型植物生产力在整体上是随着年降雨量的减少而降低,水分不足是限制不同植物生产力发挥的主要限制因子。但同时,土壤水分无效蒸发大、养分含量低和缺乏管理也是影响不同植物生产力提高的重要因素。调查植物类型中天然草地(或弃耕地)的生产力虽然一般,但生产力稳定性、物种丰富度以及土壤耕层养分含量均较其它植物优越,说明采取退耕恢复天然植被对增加区域物种多样性和维持系统生产力稳定性均具有重要意义。

在半干旱黄土丘陵区,复杂的地形地貌加之降雨的时空分布不均导致不同立地条件微环境多种多样,同时草灌植物为多年生植物,各年的气候环境条件也不同。因此,本报告只能根据调查大致反映2002年陕北地区不同地域条件下不同类型植物生产力和土壤水分利用特征和养分状况。对于不同草灌植物的长期适应性和持续性还难以定论,为达到对不同立地条件下不同类型植物的生长和生产力状况的准确评价,为该地区大范围植被建设提供依据和参考,建议设立长期定位或半定位研究点进行跟踪测定。

中国科学院水利部水土保持研究所刘普灵研究员、杨光工程师、王拴全研究员等,黄河中游局绥德管理局和陕西省榆林治沙研究所在野外调查过程中给予方便与大力支持,特此表示感谢。

[参 考 文 献]

- [1] 傅伯杰. 陕北黄土高原土地评价研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 1—7.
- [2] 范高功. 陕北地区生态环境建设与水资源的合理开发利用问题研究[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(2): 21—25.
- [3] 徐继填, 陈百明, 张雪芹. 中国生态系统生产力区划[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 402—408.
- [4] 李玉山, 韩仕峰, 汪正华. 黄土高原土壤水分性质及分区[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1985(1): 1—17.
- [5] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 125—135.
- [6] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用[M]. 北京: 中国科技出版社, 1991. 155—204.