

黄土高原土壤干层初步研究^{*}

王 力, 邵明安, 侯庆春

(西北农林科技大学 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 杨陵 712100)

[摘 要] 在详细描述土壤干层现象和类型的基础上, 分析了土壤干层的成因, 即低降水高蒸发、水土流失、植被类型选择失当、群落生产力过高和群落密度过大等, 指出土壤干层的危害主要表现为使局部小气候环境趋于旱化、土地退化、植被生长衰退、天然下种更新不良及加大造林难度等, 最后提出了缓解土壤干层对黄土高原生态环境的恢复和重建的意义和重要性。

[关键词] 黄土高原; 土壤干化; 土壤干层

[中图分类号] S154.4 [文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)04-034-05

土壤干层是黄土高原半干旱和半湿润环境条件下形成的一种特殊的水文现象^[1], 是环境旱化和土壤干化的结果。我国黄土是干旱和半干旱气候的指示物, 从早更新世到晚更新世, 黄土堆积的发展标志着我国北方存在着气候变干的总趋势。刘东生^[2]认为, 除地质环境背景和流水侵蚀的作用外, 由于高悬于沟谷之上的黄土层中水分越见减少, 从而促进了黄土沉积环境的旱化和草原化的加强。反过来, 黄土沉积环境的旱化又加速了黄土层中水分的减少, 对土壤干层的形成起到了促进作用。据调查, 土壤干层普遍存在于黄土高原各地区, 较为严重的区域是产生大面积低效低产林的黄土高原丘陵沟壑区第二副区。由于土壤干层多存在于人工林草植被之下, 故形成土壤干层的树草种与土壤干化的关系引起了人们的重视。一些学者认为^[1,3], 在黄土高原严重的干旱条件下, 林草植被不能从天然降水中获取足够的水分, 为了维持其正常生长的需要, 必然要吸收深层土壤的水分, 在林草植被长期过度耗水的情况下, 土壤含水量常时间处于极度亏缺状态, 甚至达到或接近凋萎湿度, 最终导致土壤干化形成土壤干层。由于各方面的原因, 尽管不少学者^[1,3~12]在其文献中提到土壤干层, 并认识到它的危害, 但尚无人对其作系统深入的全面研究。本研究对其成因和危害进行了分析, 以期为进一步研究土壤干层提供科学依据, 最终为太西北山川秀美工程的实现作出贡献。

1 土壤干层及其类型

1.1 土壤干层

土壤干化现象最早在 60 年代就已发现, 但并未引起足够的重视。80 年代, 黄土高原人工林草地普遍出现土壤干化现象, 且越来越严重, 干层厚度不断加深, 从最初的 2 m 发展到 10 m^[1,4]。陕北半干旱区飞播沙打旺草地 6~7 年生沙打旺的强烈耗水层达 8~10 m, 土壤水分出现极度负补偿状况。干层厚度的加深, 伴随着林草植被和土壤的退化, 形成大面积的低效低产林, 由此引起了人们对土壤干层的关注。

土壤干层的涵义, 一般认为^[1,3]是指在林草植被过度耗水情况下, 土壤含水量处于深层次亏缺状态, 甚至有时达到或接近凋萎湿度, 这种水分亏缺经过雨季降水可得到部分补偿, 得不到补偿的土层土壤湿度长期处于一种较稳定的低水平上, 这一土层称为土壤干层。根据这一涵义, 土壤干层应具有以下 3 个特征^[1]: 位于土层某一深度范围内。一般认为在 40 cm 以下就可以形成干层, 最深可达 10 m 左右。

具有相对持久性。具有一定的湿度范围。目前认为其上限低于土壤稳定湿度, 下限为土壤凋萎湿度。

有些学者认为^[13], 在旱作农区也存在土壤干层, 只是表现不如林草植被下的干层强烈。

1.2 土壤干层的类型

目前认为^[1], 黄土高原的土壤干层有两种类型。

* [收稿日期] 2000-09-04

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(49871039)

[作者简介] 王 力(1973-), 男, 山西临县人, 在读博士, 主要从事土壤生态和植被建设研究。

一种为蒸散型干层,是由植物根系强烈耗水,土壤水分大量蒸散丢失形成的,主要存在于黄土高原半干旱和半湿润地区,一般认为在延长—延安—子午岭西北缘线(相当于550 mm降水等值线)以南地区;另一种为蒸发型干层,是在气候干旱与水势梯度双重作用下,土壤水分强烈蒸发丢失形成的,主要存在于黄土高原干旱和半干旱地区,即延长—延安—子午岭西北缘线以北地区。

关于这两类土壤干层的形成机理及划分和分布,还需要做更为具体的研究和调查。

2 土壤干层成因分析

2.1 气候干旱,降水减少

黄土和黄土状堆积物的广泛分布,是黄土高原最明显的地理特征。对黄土孢粉的研究证明^[2],黄土形成于半干旱的草原或半湿润的森林草原,干冷利于黄土的发育。周卫健等^[14]对黄土高原¹⁴C年代学的研究证明,距今5000年左右,黄土高原以堆积新近黄土为主,总的来说指示了黄土高原的古环境存在着气候干凉的趋势。黄土中的水分状况深受这种气候特征的影响。黄土高原各地降水偏少,存在明显的地区差异,多数地区年均降水量为300~650 mm。而蒸发量却相对很高,达623.8 mm(青海门源)~1254.0 mm(宁夏同心)^[15],最低值接近于年均降水量的最高值。这种“低降水高蒸发”的环境对土壤的干化具有明显的促进作用,表现为黄土高原内部从东南到西北土壤干化的严重程度与黄土高原气候干旱程度的方向性变化一致。黄土高原从东南到西北,气候渐趋干燥,降水逐渐减少,而土壤干化程度和干层厚度也渐趋严重和加深。

2.2 土壤水分物理性能的影响

黄土高原土壤水分物理特性包括持水性能、蒸发性能、稳定湿度和深层储水状况^[9],因受土壤质地的制约和影响均呈现出有规律的方向性变化,即从东南向西北,持水性能渐次降低,蒸发性能渐趋增加,稳定湿度逐渐降低,深层储水渐次减弱。在这些水分物理特性的制约下,黄土高原的植被由东南向西北在空间分布上呈现出地带性分布规律,愈向西北,植被草原化程度愈趋强烈^[9],原因是植被生长所需的水分受土壤物理性能的影响渐趋减少,土壤干化程度渐趋增强。

2.3 严重的水土流失

黄土高原地区生态环境十分脆弱,长期以来,水土流失和风沙危害严重。目前,全区水土流失面积

43万 km²。其中土壤侵蚀模数大于5000 t/(km²·a)的严重水土流失区约14.5万 km²^[16],是世界上水土流失最严重的地区之一。黄土高原降水集中、强度大、多暴雨的特征决定了其水土资源极易流失。据统计^[17],每年从黄土高原输入黄河的泥沙平均多达16亿 t,这些泥沙都是富含营养物质的表土层流失的结果;输送泥沙的洪水径流达34亿 m³,即意味着每年有如此多的水资源从黄土高原流失,这无疑使黄土高原的水资源短缺加剧,干旱趋于严重。因此,严重的水土流失对黄土高原土壤干化的潜在影响是巨大的,控制水土流失,充分利用黄土的土壤水库功能来保护黄土高原水资源,对防止土壤干化有积极作用。

2.4 植被类型选择失当

植被类型选择失当是土壤干层形成的原因之一^[8]。例如,在干旱少雨的山西北部,大面积栽植喜水湿的杨树,在民勤营造大面积人工乔木林和耗水性较强的灌木林,都是明显的植被类型选择失当的案例。耗水性强的林分和灌木一般需要大量的水分供给,而在黄土高原的许多地区,干旱少雨,天然降水补充不足,种植的乔灌木为维持其正常的生长必然要通过根系吸收土壤内部的水分。由于耗水性乔灌木根系发达,土壤内部的水分被强烈吸收,甚至可以延伸到很深的部位,在连续干旱条件下,被吸收的水分得不到补偿,最终导致土壤干化,形成土壤干层。因此,在黄土高原干旱少雨的地区,不宜大面积发展蒸腾作用旺盛的乔木树种,而应以耗水少,固沙能力强的灌木树种为主。一般认为^[18],在年降水量低于400 mm的地区大面积营造乔木林不能取得良好的效果。有些地区出于经济效益的考虑,在适合灌木生长的地类栽种乔木林,在适宜栽植旱生乔木树种的地段栽种耗水性强的速生树种,其结果都会导致土地退化和土壤干化。不同植被类型对水分需求差异很大,如果环境条件不能长期满足植物的水分需求,群落的稳定性就会发生变化,以至导致整个群落的衰败。因此,植被类型的选择一定要依据环境中主要的生态因子(黄土高原最主要的生态因子是水分)的状况,使所选植被类型的生态要求和环境条件之间的差距尽可能最小。

2.5 群落生产力过高

无论从经济角度还是生态角度,人们都希望营建的植物群落具有较高的生产力,只有高的生产力才可能获得较好的经济效益。但是这种高的生产力应是持续稳定的,而不应是短暂的。许多地方正是忽

视了这一点,脱离了环境的气候生产力限制(黄土高原主要是水分的限制^[19]),一味追求高生产力,虽然短期内获得较高的经济效益,但这种以超限度的土壤水分损耗换来的高生产力不能维持长久,随之而来的必然是土壤的干化及其所导致的植被衰退。70~80年代,黄土高原一些地区大面积种植沙打旺,在发展畜牧业、缓解天然植被不足的压力方面发挥了重要的作用。但是,由于未对沙打旺群落的高产及时采取措施加以限制和调节,结果因耗水过多导致土壤干化、群落衰退、产量急剧下降,造成了不良的后果^[8]。因此,在黄土高原干旱地区适当控制群落生产力是防止土壤干化,保证植被持续发展的重要措施。

2.6 群落密度过大

在一定条件下,密度决定着群落的生产力,同时也决定着植物对水分的消耗量。因此,过高的群落密度就预示着过高的水分消耗,在气候干旱、土壤水分不足的黄土高原地区,过高的群落密度是造成土壤干化的主要原因之一。例如,根据水量平衡原理估算,在中卫沙地,1年生花棒、柠条和油蒿的栽种密度分别应为1700、1800和7700株/hm²,而实际种植密度均在60000株/hm²左右^[8]。这种超出环境水分荷载能力数10倍的密度只能导致水分过量消耗,土壤干化,从而使土地衰退,植被死亡。许多人工林草地由于生产力过高而造成土壤干化,就是没有

将群落密度调节到适当的范围。

3 土壤干层的危害

3.1 局部小气候环境趋于旱化

土壤干层是土壤湿度降低而趋于干化的结果。一方面,土壤湿度作为陆面过程研究中的重要参量,对气候变化起着非常重要的作用,它通过改变地表向大气输送的感热、潜热和长波辐射通量而影响气候变化;另一方面,气候变化同样能引起地表的热力状况和水文过程发生变化,这种变化反过来会影响地表向大气的各种通量输送,最终影响气候的变化。土壤湿度与陆面过程及其和气候变化的相互关系见图1^[20]。

从图1可以清楚地看出,土壤湿度对气候的影响表现在它能改变地表反射率(通过改变土壤的颜色)、土壤热容量、地表蒸发和植被生长状况,以上影响结果最终导致地表能量、水分的再分配,从而对气候产生影响。据统计^[21],陆面65%的降水来自陆地的蒸发,35%来自于海洋的水汽输送,这说明陆地降水很大程度上依赖于陆面的蒸发,而蒸发的大小又和土壤湿度密切相关。土壤干化(湿度降低)必然会使地面蒸发减弱,降水量减少,导致气候趋于干旱化。另一方面,气候干旱化同样会使地表的各种参数发生不利的变化,加速了土壤干层的形成。

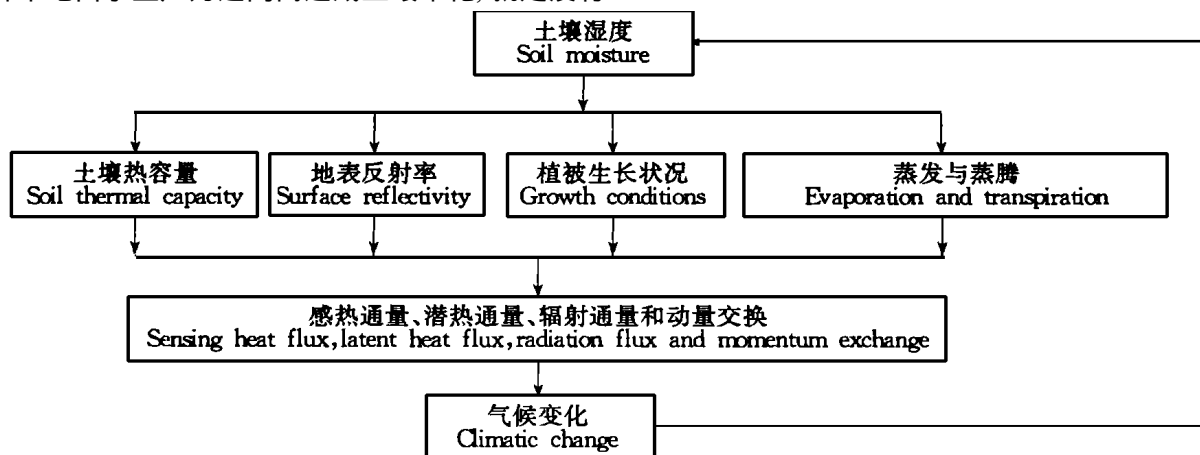


图1 土壤湿度与气候变化的关系
Fig. 1 The relations between soil moisture and climatic change

3.2 土地退化

在壤质—粘质土壤条件下,水分亏缺导致了土壤表层的板结和土壤紧实度的增高。在宁夏西吉,生长茂密的红豆草和沙打旺人工草地的90~100cm土层的土壤紧实度分别高达26.08和24.56 kg/cm³,比较稀疏的人工苜蓿草地为12.60

kg/cm³,而天然草地和无植物生长的休闲地相同层次的紧实度分别仅为7.30和2.17 kg/cm³,相差最大的可高达10倍左右。显然,人工植被的土壤干化通过植被本身生长环境中水分条件的不断恶化而引起土壤化学性质和物理性质的恶化,最终导致了土地退化。

3 3 植被生长衰退

由于土壤干层的存在, 土壤供水能力大大降低, 生存环境恶化, 林草植被生长衰退, 提早老化, 形成大面积的低效低产林。有土壤干层的小叶杨, 树高年生长量只有 5~ 20 cm, 仅相当于正常树木的 1/10~ 1/4, 20 余年生一般树高仅 4~ 6 m, 最低只有 2~ 3 m (小叶杨为高大乔木, 正常情况下 20 余年生可达 15 m 以上)。在黄土高原的低效低产林地中, 除个别类型外, 几乎都有土壤干层的存在, 相当多的林地树木长成小老树, 树高只有 2~ 6 m, 树冠稀疏, 叶片小而少, 且色淡、分枝少, 树皮发黑, 病虫害严重, 最终难以成材。有土壤干层的林分, 其数量成熟龄比没有土壤干层的林分普遍早 2~ 4 年。此外, 由于生长势弱、根系浅, 在特大干旱年份常常发生树木因缺水而枯死的现象。在草地, 土壤干层的影响更为明显。沙打旺在吴旗可生存 8 年, 而在榆林可生存 4~ 5 年, 在固原只能生存 3~ 4 年, 这与降水量和土壤干层的形成过程及严重程度有密切的关系。

3 4 天然下种更新不良

天然下种更新是林草地繁衍后代、保持植被稳定的重要手段。但是, 有严重土壤干层的林分普遍天然下种更新不良^[3]。例如, 沟道中的小叶杨天然下种更新良好, 而分布于梁峁坡上的小叶杨林地中却很难找到天然更新的幼苗。在黄陵、富县、宜川一带, 不

论人工油松林还是天然油松林, 林下都有天然下种的幼苗, 而在定西、神木等地油松林下很难见到更新的幼苗。柠条是黄土高原广泛分布的灌木, 结实量大, 直播造林简单易行, 成活率高, 但天然更新却不易, 柠条林下很难观测到第二代幼苗。这是由于土壤干层形成以后, 土壤供水能力不足, 地表也比较干燥, 不容易发芽, 即使发芽, 幼根也很难吸收水分成活。上述实例表明, 有土壤干层的人工林地由于更新不良, 现有林分只能生存一代, 其衰败后林地仍有可能变成荒山秃岭。

3 5 衰败林草地重新造林种草难度大

由于土壤干层存在, 导致林草衰败后的土地再造林种草, 其难度要比荒山大得多^[3]。神木试区的试验资料说明了这一问题(表 1)。

表 1 所列两种地类实际处于同一坡面, 苜蓿地的苜蓿在前 1 年被挖掉。由表 1 可见, 造林地条件、造林时间以及方法均相同, 在造林时还浇了少量的水(2 kg/株), 但是两种地类的造林成活率相差甚大, 有土壤干层的苜蓿地成活率远远低于没有土壤干层的荒地。这是因为幼苗在栽植后根系与土壤结合不紧密, 受伤根在恢复过程中, 需要有足够的水分以保证其成活。在苜蓿地, 尽管浇了少量的水分, 但很快被土壤干层吸收, 对苗木作用不大, 故成活率远低于没有土壤干层的荒地。

表 1 神木试区不同地类造林成活率对比

地类 Land types	土壤 Soil	坡向 Slope direction	土壤含水量/% Soil moisture	造林时间 Time of afforestation	造成林方法 Methods of afforestation	当年成活率/% Survival ratio of the year
荒地 Uncultivated land	沙黄土 Sandy loess	半阴 Sem i-shadow	11.50	1993-04	水平阶植苗 Planting in the level bench terrace	80
苜蓿地 Lucerne land	沙黄土 Sandy loess	半阴 Sem i-shadow	4	1993-04	水平阶植苗 Planting in the level bench terrace	15

由于黄土高原降水量少, 林草植被衰败后, 土壤干层含水量很难在短期内得到恢复。据测定^[3], 吴旗沙打旺草地衰败 4 年后, 土壤水分恢复深度为 3.5 m, 土壤含水量只提高 2 个百分点, 与天然草地相比, 有效水仅为天然草地的 1/7。因此, 按这一速度, 土壤干层的含水量要恢复到天然草地含水量的水平需要至少 20 年, 所以土壤干层“由干变湿”需要很长的时间, 在这一时期内造林种草很难收到良好的效果。

4 结 语

1997 年 6 月国务院副总理姜春云同志在视察陕北地区后, 提出了治理水土流失、重建黄土高原生

态环境的调查报告。江泽民总书记对该报告作了重要批示, 号召大家齐心协力大抓植树造林, 绿化沙漠, 改变黄土高原恶劣的生态环境, 再造一个山川秀美的西北地区。这对黄土高原的振兴是机遇也是挑战, 为此, 黄土高原的生态环境建设已经成为 21 世纪的重大课题, 这不仅对实现黄土高原生态环境的良性循环和可持续发展, 摆脱区域经济发展滞后于全国的被动局面具有重大意义, 而且是整个西部大开发、实现西部全面腾飞的前提条件。目前, 土壤干层的形成机理尚不明确, 但其所造成的危害已引起了众多学者的重视。由于黄土高原特殊的水文特征, 其降水入渗深度一般在 2 m 以内, 且没有深层渗漏^[22~ 25], 因此干层一旦形成很难在短时间内得到恢

复,这对黄土高原地区植被建设的可持续发展造成极大的威胁,因而,作为 50 年来黄土高原治理中出现的,土壤干层现象必须引起广大科技工作

者的重视。由于其对植被建设的严重不良影响,必然影响到黄土高原生态环境的重建,在此意义上,缓解土壤干层已成为该地区当前重要的课题之一。

[参考文献]

- [1] 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 291- 294
- [2] 刘东生 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985 191- 364; 411
- [3] 侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持, 1999, (5): 11- 14
- [4] 梁一民,李代琼,从心海 吴旗沙打旺草地土壤水分及生产力特征的研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(6): 113- 118
- [5] 李玉山 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91- 101
- [6] 韩仕峰,李玉山,石玉洁,等 黄土高原土壤水分资源特征[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1): 36- 43
- [7] 杨文治,韩仕峰 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1985, (2): 19- 28
- [8] 杨维西 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学, 1996, 32(1): 78- 85
- [9] 杨文治,邵明安,彭新德,等 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(4): 357- 365
- [10] 孙长忠,黄宝龙,陈海滨,等 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 7- 14
- [11] 郭小平,朱金兆,余新晓,等 论黄土高原地区低效刺槐林改造问题[J]. 水土保持研究, 1998, 5(4): 77- 87
- [12] 王克勤,王斌瑞 集水造林防止人工林植被土壤干化的初步研究[J]. 林业科学, 1998, 34(4): 14- 21
- [13] 李玉山 黄土高原治理开发与黄河断流的关系[A]. 郝明德,梁银丽 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术[C]. 北京: 气象出版社, 1998 21- 23
- [14] 周卫健,安芷生 中国黄土高原的¹⁴C 年代学[A]. 刘东生 黄土—第四纪地质—全球变化[C]. 北京: 科学出版社, 1992 38- 43
- [15] 中国科学院黄土高原综合科学考察队 黄土高原区域环境及其演变[M]. 北京: 科学出版社, 1991 30
- [16] 赵文林 黄河泥沙[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997 35- 37
- [17] 穆兴民,陈霁巍 黄河断流人之过[J]. 科学, 1999, (3): 49- 50
- [18] 侯庆春,韩蕊莲,刘国彬 黄土高原造林适宜区问题讨论[J]. 水土保持通报, 1999, 19(7): 74- 77
- [19] 贺庆棠, Baumgartner A. 中国植物的可能生产力[J]. 北京林业大学学报, 1986, (2): 84- 98
- [20] 马柱国,魏和林,符淦斌 土壤湿度变化关系的研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 1999, 14(3): 299- 305
- [21] Chahine T M. The hydrological cycle and its influence on climate[J]. Nature, 1992, 359: 373- 380
- [22] 孙长忠,黄宝龙 黄土高原“林分自创性”有效水分供给体系的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 615- 621
- [23] 杨新民,杨文治 干旱地区林地土壤水分平衡的探讨[J]. 水土保持通报, 1988, 8(3): 32- 38
- [24] 聂道平 油松人工林水分平衡与蒸散特点的研究[J]. 林业科学研究, 1989, 2(6): 606- 609
- [25] 杨海军,孙立达,余新晓 晋西黄土区水土保持林水量平衡的研究[J]. 北京林业大学学报, 1993, 15(3): 42- 50

The primary research on dried soil layer in the Loess Plateau

WANG Li, SHAO Ming-an, HOU Qing-chun

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this paper, on the basis of describing the phenomena and style of dried soil layer, the causes of formation of dried soil layer are analyzed, which are low precipitation and high transpiration, loss of soil and water, inappropriate to choose vegetation styles, exorbitant productivity of community, and too high community density. Meanwhile, the hazards of dried soil layer are put forward, which leads to micro-climate environment to drought, soil degradation, declining of vegetation growth, bad natural sowing, and difficult afforestation and so on. Finally the significance for recovering and reconstruction of eco-environment on the Loess Plateau of solving the problem of dried soil layer is suggested.

Key words: Loess Plateau; Soil desiccation; Dried soil layer