

西安附近苹果林地的土壤干层

赵景波^{1,2}, 杜娟¹, 周旗¹, 岳应利¹

(1. 陕西师范大学地理系, 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘要:根据西安附近苹果林下土壤含水量测定,研究了 0~6m 之间土壤含水量的变化与土壤干层问题。资料表明,西安附近 15 龄苹果林下 2~3.5m 深处土壤含水量为 9.1%~9.2%,形成了发育弱的长期性土壤干层,10 龄苹果林地 2~4m 深处也有干层发育,表明黄土高原的土壤干层分布已达黄土高原南部的关中地区;6 龄苹果林下土壤有干化的显示,但无干层发育。分析得出,由降水少量决定的、埋藏深度小而厚度大的薄膜水带的存在是引起土壤干层发育的直接作用的因素。土壤干层的出现会引起土壤与植被的退化,应当避免严重的土壤干层出现。

关键词:西安地区;苹果林地;土壤干层;发生原因

文章编号:1000-0933(2005)08-2115-06 **中图分类号:**S152.7 **文献标识码:**A

The soil dried layers under apple trees planation near Xi'an City

ZHAO Jing-Bo^{1,2}, DU Juan¹, ZHOU Qi¹, YUE Ying-Li¹ (1. Department of Geography, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2115~2120.

Abstract: The ecological environments have been reconstructed at Chinese Loess Plateau, but little attention is paid to development of dried earth layers which may be disadvantage for planting trees at loess areas. To delimit distribution of the dried earth layers and to evaluate it suitable for planting trees or not, moisture contents of soil under apple trees were determined. Our soil samples were collected by the lightweight manpower's drilling at intervals of 10cm near two villages (Qujiangchi and Wujiafen) at the southern suburb of Xi'an, where ages of the apple tree plantations are 15, 10 and 6 years respectively. Soil layers of the profiles are Malan loess which consists of silt and clay. The soil moisture contents were calculated by electronic balance through weigh before and after the samples were dried in oven. The mean soil moisture contents for three drilling profiles are 10.1% above the depth of 1.9 meters, 9.3% between 2 and 3.5 meters and 13.0% between 3.5 and 6.0 meters under 15-year apple trees at Qujiangchi village. The mean moisture contents for two drilling profiles are 10.5%, 9.6% and 13.8% at the same depth ranges under 10-year apple trees, respectively. While, under 6-year apple trees, the mean soil moisture contents for two drilling profiles are 11.1%, 10.7% and 14.0% at the same depth ranges. Meanwhile, the soils under grass have higher moisture contents at the same depth ranges which are 11.6%, 13.1% and 14.3% from one drilling profile than those under apple trees.

In general, the soil layers whose moisture content is lower than 10% are classified as dried layers. Our results indicate that the dried earth layers have been developed under both 15- and 10-year apple trees near Xi'an, whose distributions increase from south to north of the Loess Plateau. While soils under 6-year apple trees have been dried but no dried earth layers. However, though there are the dried earth layers near Xi'an, its dried intensity is relatively slight even after plantation for 15 years. The development of soil dried layer will decrease the normal growth of man-planted forest, and even cause trees to grow

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2002D02);国际地质对比计划资助项目(IGCP 448);中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室资助项目(SKLLQG0306,SKLLQG00504)

收稿日期:2004-10-16;**修订日期:**2005-05-30

作者简介:赵景波(1953~),男,山东滕州人,博士,教授,从事自然地理研究. E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn

Foundation item: Natural Science Foundation of Shaanxi Province(No. 2002D02); International Geological Correlation Program(No. IGCP448); Institute of Earth Environment, CAS, State Key Laboratory of Loess and Quaternary, CAS(No. SKLLQG0306, SKLLQG 0504)

Received date: 2004-10-16; **Accepted date:** 2005-05-30

Biography: ZHAO Jing-Bo, Ph. D., Professor, mainly engaged in physical geography. E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn

slowly and to wither in seriously affected districts. In such conditions, forestation will not bring economic and environmental benefit, rather than speed up soil degeneration through excessive consumption of soil moisture. We suggest that the development of the dried earth layers results from little precipitation, improper choice of tree species and high density of man-planted forest over the last decades. The key factors causing soil dried layers are great thickness and depth of membrane water zone under ground as well as small thickness of gravity water zone. Therefore, forestation should be performed scientifically and rationally, the loess area is suitable for planting trees if slowly growing trees are chosen with suitable tree planting intervals when the serious dried earth layers are avoided. Better growth of man-planted trees near Xi'an indicates the soil suitable for forest development and then that other areas in the Loess Plateau with similar precipitation are suitable for foresting as well.

Key words:near Xi'an City; apple trees; soil dried layers; origin

人为引起的土壤与植被退化给现代生态环境带来了非常不利的影响,这也是生态学研究的重要内容之一。植物生长所需水分主要来自土壤水,土壤水分的多少制约着植物的生长状况,研究土壤水分含量及其变化对土壤水分的有效利用和恢复不同植被^[1]有重要意义。黄土高原是降水较少的地区,土壤水分不足始终是影响该区农林业发展的关键因素。当前黄土高原正在进行生态环境建设,为成功进行该项宏伟工程,研究土壤含水量的变化和该区的土壤水分是否适于森林生长是非常必要的。关于黄土高原土壤含水量的变化,前人曾进行过许多研究,取得了一些重要成果。已认识到黄土高原人工林生长 8~10a 之后就出现了生长不良的状况^[2,3],通常所说的“小老头树”就是人工林生长不良的具体表现。已经查明,人工林生长不良是土壤水分不足造成的,特别是在 2~4m 深处土壤干层的出现^[4~6],是造成这一现象的主要原因。关于土壤干层发生原因,一般认为有多种,其中主要包括植物的吸收,降水量少,人工林密度大,在不适于造林的地带造林等^[7,8]。虽然过去对土壤含水量进行了很多研究,但对土壤干层向南分布的范围研究不够,对关中地区人工林下是否存在土壤干层则未见报道。本文根据西安附近苹果林地土壤含水量的测定,讨论关中地区土壤干层发育强弱及其对人工林的影响等问题。

1 采样地点和方法

研究地点选在西安南郊曲江池村和西安市吴家坟附近。西安曲江池村苹果林树龄有 15a 和 6a 两种,15 龄树径 30cm 左右,植株间距 3m 左右,6 龄树径 10cm 左右,间距亦为 3m。西安吴家坟苹果林树龄为 10a,植株间距与曲江池村相同。两采样点位于渭河 2 级阶地上,地形平坦,开阔,表层 8m 深度范围内为马兰黄土,主要由粉砂构成,土质疏松,具团粒与团块结构^[9],结构非常均一。该区年平均温为 13℃左右,年平均降水量为 600mm。地下水位埋深普遍大于 20m,植物一般不能利用地下水。

样品利用轻型人力钻采取,取样深度为 6m,样品间距为 10cm。含水量测定采用烘干称重法。烘干温度 100℃左右,烘干时间为 10h。

2 苹果林地土壤含水量测定结果

2.1 曲江池 15 龄苹果林地土壤含水量

2003 年 4 月 25 日在曲江池村苹果林地进行了打钻取样。由 a 孔 60 块样品的含水量测定结果(图 1a)可知,15 龄苹果林地整个剖面的土壤含水量变化在 7.9%~14.4%之间,平均含水量为 11.6%。根据含水量从上到下的变化,可将其分为 3 层。第 1 层为 0~190cm,含水量较高,在 8.2%~12.4%之间,平均为 9.8%;第 2 层位于 200~350cm 之间,含水量较上一层减少,变化在 7.9%~10.6%之间,平均含量为 9.2%;第 3 层位于 360~600cm 之间,含水量增加,含量在 11.1%~14.4%之间,平均含量为 13.1%。5 月 5~6 日在 a 孔南 15m 和 30m 分别打一钻孔,共采集样品 120 块,含水量测定结果(图 1b, c,)与 a 孔大同小异。

剖面中第 1 层为含水量的速变层,该层含水量最易变化,易受蒸发和降雨的影响。在较长时间无雨时,该层含水量是土层中水分最低层位,在降雨后含水量较高。本次采样之前曾降小雨,这是地表土层含水量高的原因。

2.2 曲江池 6 龄苹果林地土壤含水量

在 2003 年 5 月 8 日~9 日在曲江池村 6 龄苹果林地打了两个 6m 深的钻孔(a 孔与 b 孔),两钻孔相距 20m,采集含水量样品 124 块。由 a 孔测定结果(图 2a)可将剖面中含水量变化分为 3 层。第 1 层为 0~190cm,含水量在 9.7%~13.8%之间,平均含量为 11.2%;第 2 层位于 200~350cm 之间,含水量较上一层减少,含量变化在 9.1%~11.5%之间,平均含量为 10.5%;第 3 层位于 360~600cm 之间,含水量增加,其含量在 12.1%~15.0%之间,平均含量为 13.9%。b 孔 60 块样品的含水量测定结果(图 2b)与 a 孔基本相同。与 15 龄苹果林地相比,6 龄苹果林地土壤含水量较高,200cm 以下没有出现含水量低于 10%的土壤干层带。

2.3 吴家坟苹果林土层含水量

为确定 10 龄苹果林土层与 15 龄苹果林土层含水量差异,在 2003 年 4 月 28 日和 5 月 14 日对吴家坟 10 龄苹果林下土层进

行了两个钻孔的取样测定。苹果林植株间距 3m 左右, 树径 25cm 左右, 树高达 2.5m 左右。由 a 孔 60 块样品的含水量测定得知, 苹果林土层含量变化在 9.6%~15.3% 之间, 0~190cm 含水量变化在 9.6%~13.6% 之间, 平均含量为 10.6%; 200~350cm 含水量变化在 8.7%~11.0% 之间, 平均含量为 9.4%; 360~600cm 含水量变化在 11.3%~15.3% 之间, 平均含量为 13.5% (图 2c)。b 孔 60 块样品的测定结果与 a 孔只有微小差异。与 15 龄苹果林地土层比, 10 龄苹果林土层含水量偏高, 这在 600cm 深度范围内均有表现, 但在 200~360 深度范围内同样有土壤干层发育。10 龄苹果林土层含水量比 15 龄苹果林土层高的原因是 10 龄苹果林的生长尚未达到鼎盛阶段, 吸收的土壤水分比 15 龄苹果林少。

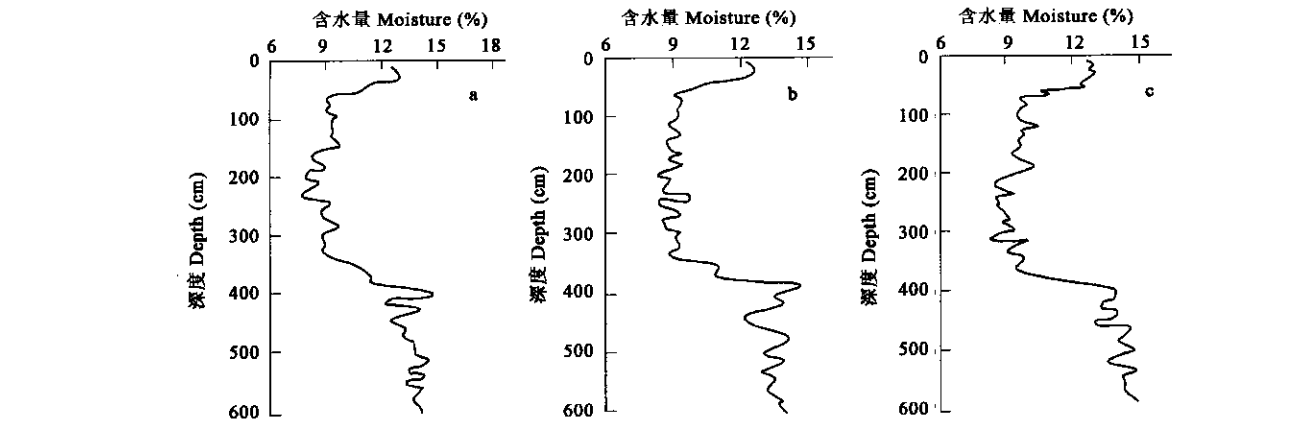


图 1 西安曲江池苹果林地土壤含水量

Fig. 1 Soil moisture content under apple tree plantation at Qujiangchi in Xi'an

a, b, c 分别为 15 龄苹果林地 a 孔、b 孔和 c 孔土层含水量 Soil moisture content in drilling hole a, b and c under apple trees grown for 15 years

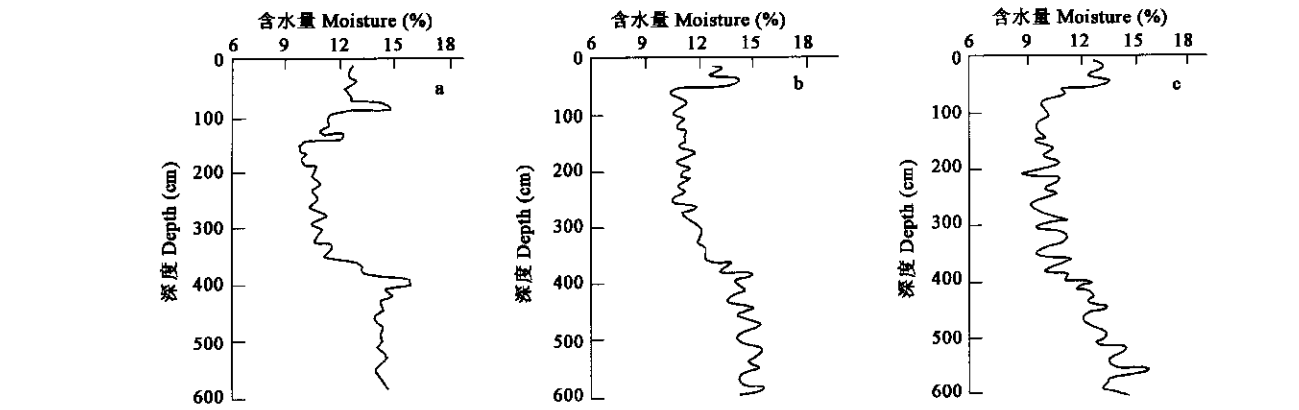


图 2 西安曲江池与吴家坟苹果林地土层含水量

Fig. 2 Soil moisture content under apple tree plantation at Qujiangchi and Wujiafen in Xi'an

a, b 为曲江池 6 龄苹果林地两个钻孔土层含水量 Soil moisture content in drilling hole a and b under apple trees grown for 6 years at Qujiangchi; c 为吴家坟 10 龄苹果林地土层含水量 Soil moisture content in drilling hole c under apple trees grown for 10 years at Wujiafen

3 讨论

3.1 苹果林地的土壤干层分析

自 20 世纪 60 年代在陕西东部旱塬发现土壤干层以来, 不少研究者在文章中提到我国北方地区特别是黄土高原存在土壤干层现象^[10~12]。土壤干层是土壤干化的结果, 是深部土壤水分被消耗造成的。要确定土壤干层的存在, 就要首先确定土壤的田间持水量。由于黄土颗粒成分细而均一, 黄土高原各地区田间持水量非常接近。据前人研究, 黄土高原田间持水量变化在 18%~22% 之间, 多数为 20% 左右^[13]。前人研究表明, 黄土高原地区土壤含水量经常处于低储水状态, 水分亏缺较多, 一般占田间最大持水量的 50%~70%, 此值为稳定田间持水量, 约为 10%~14%。在黄土高原东南部, 黄土中粘粒增多, 田间稳定持水量略

高。一般认为,如果土层中含水量低于 10%,可视为该土层为土壤干层^[6]。由于地表 2m 左右的土层易受蒸发作用的影响,易于变干,而该层也易得到大气降水较快的补充,土壤水分易于恢复,所以上部 2m 土层变干是暂时性的,通常不叫土壤干层。而在 2m 以下,土壤水较少受蒸发作用影响,水分的补充也很慢,是真正的土壤干层分布层位。从自然界土壤干层分布来看,土壤干层通常分布在 2~4m 之间。

根据以上分析,并结合西安附近苹果林地土壤含水量测定得知,西安附近 15 龄苹果地 200~350cm 深度土层平均含水量为 9.1%~9.4%,比其上和其下土层含水量都低,显然该层已成为土壤干层。从 10 龄苹果林下 200~350cm 含水量为 9.4%~9.7% 确定,西安地区的 10 龄以上苹果林地土壤干层具有普遍性。按土壤干层发育强度,前人曾将土壤干层分为 3 级,含水量低于 5% 的为强烈干化土层,含水量在 5%~8% 的中等干化土层,含水量在 8%~10% 的为弱干化土层^[6]。现已确定的西安附近 10 龄与 15 龄苹果林下土壤干层平均含水量为 9.1%~9.7%,属于发育较弱的土壤干层。

3.2 土壤干层对人工林的影响

土壤干层的发展影响了人工林的正常生长,在这样的地区是否适于造林或能否发育森林是值得讨论的。虽然黄土高原的土壤干层分布已达关中地区的中南部,但关中地区的土壤干层发育强度较弱,15 龄的人工林土壤干层中含水量一般大于 8%。根据洛川地区苹果林土层含水量测定,15 龄的苹果林土层含水量与 30 龄的苹果林土层含水量基本相同^[14],表明 15 龄的苹果林土层含水量已基本处于稳定状态。

从西安附近苹果林生长良好来看,西安地区发展人工林是可行的。苹果林植株间距为 3m 左右,所以在植株间距合理的情况下,西安地区以及降水量类似的地区能够生长良好的人工林。在陕西黄土高原中部的洛川地区,年平均降水量几乎与西安地区相同,均为 600~610mm,所以在黄土高原中部及其以南地区,均可发展人工林。值得指出的是,在象西安这样的地区进行造林时,除要考虑植株间距外,还应当考虑植物的生长特点。对于出现轻度土壤干层的地区,应选择生长速度适中偏慢的树种,这样的树种耗水较少,不会加剧土壤的干化,也不会出现人工林明显生长不良的现象。

在土壤干层发育严重的地区,树木生长到 10a 左右,常出现弯曲、干梢等生长不良的表现,进一步的生长很缓慢,严重者会出现树木的干枯死亡。在这样的地区造林既不会带来经济效益,也不会带来良好的环境效益,带来的是土壤水的过量消耗和土壤的退化。在这种地区造林还会破坏该区的水分循环,造成地下水位的下降。因此,在土壤干层发育严重的地区一般是不适于造林的。然而,需指出的是,为了防风固沙和建设防护林带,即使在土壤干层发育较严重地区,也可以选择耐旱树种营造生长不良的人工林。虽然这样的人工林也会加剧土壤干层的发育,但具有防风固沙的作用,可在非常必要的特殊地区营造这种人工林。

3.3 薄膜水与土壤干层的形成

土壤干层发生原因有多种,其中降水量少,造林树种选择不当^[15],人工林密度大、没有遵循植被演替规律造林^[7,8]和近百年来气候暖干化是发生原因。这些因素都会引起土壤含水量的降低,从而促使土壤干化和干层的形成。根据作者调查和观察发现,除上述因素外,地下水的存在形式与分带厚度(表 1)是造成土壤干层发育的重要的直接因素。据通常的划分,从上向下地下水一般可分为重力水带、毛管水带、薄膜水带、毛管上升水带和地下潜水位带。也有人将上部的重力水带、毛管水带与薄膜水带合并为悬着水带。为揭示土壤干层成因,采用了 5 个带的划分方案,并将含水量大于 10% 的薄膜水带(非干层带)称为正常薄膜水带,将含水量小于 10% 的薄膜水带(干层带)称为薄膜水亏损带(表 1)。在半干旱、半湿润气候为主的黄土高原区,受降雨过程控制的上部重力水带厚度小(表 1),一般为 2m 左右。重力水带首先得到大气降水的补充,该带在雨季含水量高,旱季含水量低。然而由于半干旱区降水较少,该带含水量明显不能满足树木正常生长的需要。在这种情况下,树木自然会吸收 2m 深度以下土层中的水,并造成 2m 以下土层含水量降低。因为厚约 2m 的重力水带之下为薄膜水带(表 1),而且薄膜水的特点是补给与运移非常缓慢,含量相当低,所以当较密集的植物根系伸展到该层并吸收其中的水分时,该层中的水份很快被消耗,这就造成了土壤干层形成。显然,薄膜水不能及时补充亏缺的水分是土壤干层形成的最直接的重要因素。重力水的特点是入渗、运移快,在夏秋季降雨较多时期,重力水在土层中的含量高。如果重力水带厚度较大或者薄膜水带埋藏深度较大(明显大于 4m),那么 2~4m 的土层就会很快得到大气降水带来重力水的补给,土壤干层也就不存在了。在我国现代降水量较多的南方亚热带地区,重力水带可达 5~8m 或更厚^[16],薄膜水带埋深在 5m 以下,因而这样的地区 2~4m 深度范围无土壤干层发育,森林生长茂盛。在黄土高原,只要降水量增加,当重力水带厚度达到 4m 左右时,干层自然会消失。如 2003 年关中地区夏、秋季降水量增加了 200 余 mm,在 2003 年 11 月份的含水量测定表明,西安附近的土壤干层已经消失。由此可见,由降水量较少决定的埋藏深度小和厚度大的薄膜水带的存在及其特殊性质是易于形成土壤干层的主要原因。

4 结论

综上所述,可得出如下认识:

(1)西安附近 10 龄以上苹果林地存在发育较弱的土壤干层,指示黄土高原人工林土壤干层分布广泛,分布南界达到了关中平原中南部。

表 1 黄土高原地下水上部带和土壤干层分布

Table 1 Upper zones of ground water in the Loess Plateau and distribution of soil drying layer

各带名称 Name of each zone	地下水分带 Division zone of ground water	运动方向 Moving direction	深度 Depth(m)	水分运动速度与含量 Moving speed of moisture and content
重力水带 Gravity water zone	I	向下 Down		运动较快,含水量变化大 Water moves fast and its content change is great
悬着毛管水带 Suspending capillary zone	Ⅱ	向下 Down		运动较快,含水量较高 Water moves fast and its content is more
薄膜水亏损带(土壤干层带) Loss zone of membrane water (Soil drying layer zone)	Ⅲ ₁	向上向下均有 Up and down	2.0	运动缓慢,含水量低于 10% Water moves slowly and its content is less than 10%
正常薄膜水带 Normal membrane water zone	Ⅲ ₂	向下 Down	4.0	运动缓慢,含水量常在 10%~15%之间 Waters moves slowly and its content usually is between 10%-15%
毛管上升水带 Capillary zone moving upward	Ⅳ	向上 Up		运动快,含水量较多 Moisture moves fast and its content is more
地下潜水带 Ground water zone	V	波动变化 Fluctuating change	80.0	运动快,水分饱和 Water moves fast and is saturated

- (2)西安地区土壤干层发育较弱,人工林生长基本正常,是基本适于造林的地区。
- (3)为使人工林基本正常地生长,应避免严重的土壤干层出现。
- (4)由降水量少决定的、埋藏深度小而厚度大的薄膜水带的存在和运动非常缓慢的性质是土层易发生干化和易形成干层的主要原因。

References:

[1] Wang Z Q, Liu B Y, Lu B J. Study on moisture restoration of dried soil layers in the semi-arid area of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(9): 1944~1950.

[2] Yang W X. Discussion of dried soil layers under artificial vegetation in the northern area of China. *Scientia Silvae Sinica*, 1996, **32**(1): 78~85.

[3] Hou Q C. Distributing and growing characteristic of little old tree. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, **1**(1): 64~72.

[4] Guo Z S, Shao M A. Soil drought and soil moisture bearing capacity in semi-arid district under artificial forest and meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(8):1640~1647.

[5] Wang G I, Liu G B, Zhou S L. Research advance of dried soil layers in the Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, **17**(6):156~159.

[6] Wang L, Shao M A, Hou Q C. Preliminary research on measured indexes of dried soil layers. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000,**14**(4), 87~90.

[7] Zhao J B. *The illuvial theoryt and environment evolution in the Loess Plateau*. Beijing: Science Press, 2002. 102~122.

[8] Zhao J B, Hou Y J, Huang C C. Causes and counter measures of soil drying under artificial forest on the Loess Plateau in Northern Shaanxi. *Journal of Desert Research*, 2003, **23**(6): 612~615.

[9] Zhao J B. Pattern of loess formation and evolution. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, **39**(4):459~465.

[10] Wang K Q, Wang B R. The preliminary research on collecting water and afforesting to prevent soil drying under artificial forest. *Scientia Silvae Sinica*, 1998, **34**(4):14~21.

[11] Yang W Z, Shao M A. *Research on soil moisture in the loess areas*. Beijing: Science Press, 2000. 86~114.

[12] Fu M S, Qian W D, Niu P, *et al*. Impact of the continuous drought on the depth of dried soil layers and on the existence of plants. *Arid Zone Research*, 2002,**19**(2): 71~74.

[13] Han S F, Li Y S. Research on the characteristic of soil moisture in different districts of loess areas. *Institute of Soil and Water Conservation of CAS*, 1989, (10): 161~167.

[14] Huang M B, Yang X L, Li Y S, *et al*. The influence on the area water cycle by apple orchard base in Weibei dry land. *Journal of Geographical Sciences*, 2001, **56**(1):7~13.

[15] Hou Q C. The reason of little old tree and reconstructing way of it in the Loess Plateau area. *Journal of Soil and Water Conservation*,

1991, **5**(2):76~83.

[16] Xiong Y, Li Q K. *Soil of China*. Beijing: Science Press, 1987. 70~79.

参考文献:

[1] 王志强,刘宝元,路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复. 生态学报,2003,**23**(9):1944~1950.

[2] 杨维西. 试论中国北方地区人工植被的土壤干化问题. 林业科学,1996,**32**(1):78~85.

[3] 侯庆春. 小老树的分布及其生长特点. 水土保持学报,1991,**1**(1):64~72.

[4] 郭忠升,邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力. 生态学报,2003,**23**(8):1640~1647.

[5] 王国梁,刘国彬,周生路. 黄土高原土壤干层研究述评. 水土保持学报,2003,**17**(6):156~159.

[6] 王力,邵明安,侯庆春. 土壤干层量化指标初探. 水土保持学报,2000,**14**(4),87~90.

[7] 赵景波. 淀积理论与黄土高原环境演变. 北京: 科学出版社,2003,174~177.

[8] 赵景波,侯甬坚,黄春长. 黄土高原人工林下土壤干化原因与防治. 中国沙漠, 2003, **23**(6): 612~615.

[9] 赵景波. 黄土形成与演变模式. 土壤学报,2002,**39**(4):459~465.

[10] 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. 林业科学,1998,**34**(4):14~21.

[11] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究. 北京:科学出版社, 2000,86~114.

[12] 付明胜,钱卫东,牛萍,等. 连续干旱对土壤干层深度及植物生存的影响. 干旱区研究,2002,**19**(2),71~74.

[13] 韩士峰,李玉山. 黄土高原地区土壤水分区域动态特征. 中国科学院水土保持研究所集刊, 1989,(10):161~167.

[14] 黄明斌,杨新良,李玉山,等. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响. 地理学报,2001,**56**(1):7~13.

[15] 侯庆春. 黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究. 水土保持学报,1991,**5**(2):76~83.

[16] 熊毅,李庆逵. 中国土壤. 北京:科学出版社,1987. 70~79.