

论山西褐土区农田土壤干燥化问题

牛俊杰^{1,2}, 赵景波¹, 王尚义²

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062; 2. 太原师范学院地理科学系, 太原 030012)

摘要: 以山西褐土区离石、忻州、太原、寿阳、临猗等地玉米、小麦农田为主要研究对象, 选取 5 个代表性样点 12 个剖面采集 0~600cm 深度土壤样品, 研究分析不同季节土壤垂直剖面水分状况。结果表明, 该区玉米、小麦等农田中普遍存在土壤干层, 轻度和中度干层都有显现; 季节性干层的存在是该地区农作物易于发生干旱灾害的主要原因; 晋中玉米地轻度干层发育到了 600cm 以下; 晋南由于长期气候干旱, 导致干燥化程度加重, 轻度土壤干燥化也已发育到了 600cm; 晋西玉米地 400cm 接近轻度干化, 晋北玉米地轻度干层也已达到 600cm 深度。农田季节性干层、深层土壤干层的出现严重影响了农田土壤的水循环; 降水量少是本区农田干层产生的主要原因, 但农田生产力提高、植被密度和蒸发对临时性干层形成的影响也不可忽视; 选择低耗水、深根系的旱地作物, 同时合理密植、有条件的地方实施灌溉等都是减缓农田干层的有效途径。

关键词: 土壤干燥化; 农田; 山西褐土区; 干化等级; 干层发育深度

文章编号: 1000-0585(2008)03-0519-08

1 引言

干燥化及土壤水分问题是目前有关生态、农业等方面研究的热点问题。过去对黄土高原土壤含水量、土壤水运移等的研究, 在理论和实践上都为农林业生产中的相关问题提出了解决的途径。朱显谟院士研究认为, “土壤水库”的发生发展及其演变是陆地生态发展的关键和“动力”^[1]。之后王经民等^[2]、李玉山^[3]、杨维西^[4]、王克勤等^[5]、侯庆春等^[6]、余新晓等^[7]、张信宝^[8]先后研究我国北方和黄土高原人工林下土层含水量的垂向变化, 都认识到了土壤干燥化问题及其危害。土壤干层是土壤干燥化的主要表现。土壤干层是指在林草植被强烈耗水情况下, 土壤深层含水量处于亏缺状态, 并且雨季之后得不到补偿^[9], 也指土壤水通过物理蒸发和植被蒸腾作用, 因土壤水分的负补偿效应在土体内所形成的厚度不等的低湿度层^[10]。关于农田土壤水、土壤干燥化问题, 谢贤群认为黄土高原旱作高产农田土壤干燥化是高产田产量波动的主要原因^[11]。樊军等^[12]、杨婕等^[13]、李志军等^[14]、张洪芬等^[15]、何锦^[16]、刘爽等^[17]、黄明斌等^[18]对农田土壤水分进行了研究, 形成了关于农田供水条件、产量与土壤水分关系、水分动态变化、耕作方式、水分循环模式等一系列成果。在山西褐土区土壤水分研究方面, 严昌荣等提出了北方旱地区域农田水分特征的主要影响因子是自然降水和农田蒸散量^[19]。张宝林等^[20]、白秀梅等^[21]、王孟本等^[22]、贾志清^[23]、胡振华等^[24]通过观测土壤水分动态, 认识到农田土壤有效水、耕作方

收稿日期: 2007-11-15; 修订日期: 2008-03-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40471033)、山西省基础研究项目 (2007011100)、(20051082)。

作者简介: 牛俊杰 (1968-), 山西岚县人, 副教授, 博士研究生。研究方向为环境影响评价与治理。

E-mail: njj99@263.net njj@stu.snnu.edu.cn

式、树种和密度、干湿水分变化、地形等是影响水分分布的重要因素。

早期国外的研究工作主要是土壤含水量及其对农作物利用、生长的影响,引起土壤含水量变化的降水、蒸发以及土壤结构等因素。J. R. Philip 等进行了土壤水分在土壤—植物—大气连续体内的动态运移过程的研究^[25,26]。Nielsen D R. 作了土壤水运动的动力研究^[27]。P. C. D Milly 进行了大气环流模式中的土壤水分与潜在蒸发的研究^[28]。后来又有 Jakson. N. A 等、Caims J 等关于土壤水分平衡的模拟以及土壤干化对植物根系的生长、土壤中植物营养成分的变化等的研究^[29,30]。虽然国际上对土壤水开展了大量研究,但一般限于研究所在国家的水土条件,结合我国深厚黄土层和植被建设的研究很少。

山西农田土壤干燥化问题迄今研究报道较少,褐土是山西主要的地带性土壤,因此,研究山西褐土区农田土壤含水量的变化,探明不同农田土壤暂时性干层的变化及其对农作物生长的危害,提出防治措施对农业生产具有重要现实意义。

2 取样点概况及样品处理方法

2007年4月29日在离石市城区东南10km的红眼川乡车家梁村玉米地进行了取样,土壤为灰褐土。离石地处晋西黄土区,位于吕梁山中段西侧,属重半干旱地区,年均气温 10°C 左右,年降雨量450~550mm。农田位于典型的梁峁地形的阴坡,耕种实行轮作制,种植玉米、豆类等农作物,产量一般。

2006年12月16日在忻州解原乡桥上村南约1km玉米地进行了取样。样地海拔821m。该区属重半干旱地区,年平均气温在 9°C 左右,平均年降水405mm。该区为黄土丘陵地带,土壤以淡褐土为主。

2007年5月1日在寿阳县朝阳镇胡家庄村龙化山玉米地进行了取样。寿阳县属轻半干旱地区,气候较为寒冷,年均气温 7.3°C 左右,年降雨量约511mm。土壤以褐土性土及淡褐土为主。

2007年5月5日在临猗县孙吉镇孙吉村东小麦地进行了取样。小麦种植面积大,植株比较稠密,麦高约30cm,麦穗较小,长势差。临猗县属晋南重半干旱地区,气候温暖,年均气温 13.8°C ,年降雨量500mm左右。土壤以褐土为主。

2005年8月20日和2005年11月9日分别在太原市东山掉马村玉米地进行了取样,取样深度最大700cm。玉米长势差。太原市属重半干旱地区,采样点位于太原市东黄土丘陵区,年平均温度为 9.5°C ,年降水量为500mm。土壤类型为褐土。

样品利用轻便人力钻采取,每种农田均采取3个样点,钻孔间距500cm以上。取样深度一般为600cm,个别地块为700cm,取样间隔为10cm。所有土样样品用铝盒密封后尽快带回实验室。采用烘干称重法测定土壤水分含量。在每个样点所获得的3个样点数据中,以代表性的两个样点数据的平均含水量作为分析的依据。

3 结果与分析

3.1 土壤含水量测定结果

3.1.1 离石玉米地土壤含水量 离石玉米地钻孔剖面采集的样品测定结果表明,土壤含水量变化均分为三层。0~200cm土层含水量变化在6.0%~12.9%之间,平均为11.6%;200~400cm土层含水量变化在11.4%~13.4%之间,平均为12.2%;400~600cm土层含水量变化在13.1%~20.5%之间,平均为17.4%。离石玉米地0~600cm土壤平均含

水量为 13.7% (图 1)。从垂向变化特点看, 含水量由表层到深层有逐渐增加的趋势。

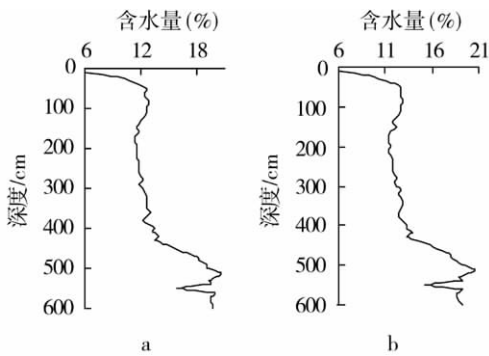


图 1 离石玉米地 a 孔和 b 孔剖面土壤含水量

Fig. 1 Soil moisture content under corn field in Lishi County

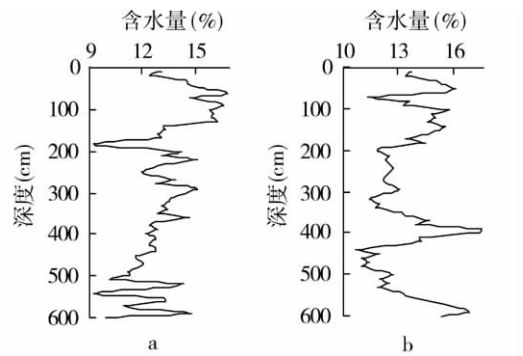


图 2 寿阳玉米地 a 孔和 b 孔剖面土壤含水量

Fig. 2 Soil moisture content under corn field in Shouyang County

3.1.2 寿阳玉米地土壤含水量 寿阳玉米地钻孔剖面采集的样品测定可知, 0~600cm 土层平均含水量为 13.3% (图 2)。土壤含水量变化均分为三层。0~200cm 土层含水量变化在 9.1%~16.6% 之间, 平均为 14.2%; 200~400cm 土层含水量变化在 11.4%~17.6% 之间, 平均为 13.2%; 400~600cm 土层含水量变化在 10.6%~17.4% 之间, 平均为 12.6%。土壤含水量垂向变化明显, 但总体趋势是含水量由表层到深层逐渐降低。

3.1.3 太原玉米地土壤含水量 根据 2005 年 8 月 20 日在太原玉米地采集的样品含水量测定可知, 0~600cm 土层平均含水量 11.3%, 土壤含水量变化可分为三层。0~200cm 土层含水量变化在 7.8%~23.8% 之间, 平均为 11.6%; 200~400cm 土层含水量变化在 10.4%~14.6% 之间, 平均为 12.5%; 400~600cm 土层含水量变化在 6.8%~14.4% 之间, 平均为 9.8% (图 3a、图 3b)。根据 11 月 9 日太原玉米地剖面采集的样品测定结果可知, 秋末的 0~600cm 和 0~700cm 土层平均含水量分别为 10.5%、10.6%。土壤含水量变化分为四层。0~200cm 土层含水量变化在 9.4%~20.5% 之间, 平均为 11.2%; 200~400cm 土层含水量变化在 9.2%~13.0% 之间, 平均为 11.5%; 400~600cm 土层含水量变化在 7.1%~13.1% 之间, 平均为 8.8%; 600~700cm 土层含水量变化在 6.3%~16.4% 之间, 平均为 10.7% (图 3c、图 3d)。从土壤含水量垂向变化特点看, 8 月份和 11 月份的总体趋势一致, 在 0~600cm 含水量由表层到深层逐渐降低, 600~700cm 逐渐上升。

3.1.4 忻州玉米地土壤含水量 忻州玉米地土壤剖面采集的样品测定结果显示, 0~600cm 平均含水量为 12.6% (图 4)。土壤含水量变化均分为三层。0~200cm 土层含水量变化在 7.6%~14.1% 之间, 平均为 11.4%; 200~400cm 土层含水量变化在 10.3%~15.7% 之间, 平均为 13.1%; 400~600cm 土层含水量变化在 8.7%~35.5% 之间, 平均为 13.2%。从垂向变化特点看, 土壤含水量总体变化趋势是由表层到深层逐渐上升。

3.1.5 临猗小麦地土壤含水量 临猗小麦地样品测定表明, 土壤含水量变化均分为三层。0~200cm 土层含水量变化在 6.7%~8.9% 之间, 平均为 7.7%; 200~400cm 土层含水量变化在 8.5%~11.1% 之间, 平均为 10.0%; 400~600cm 土层含水量变化在 8.8%~12.8% 之间, 平均为 10.0% (图 5)。从垂向变化特点看, 由表层到深层土壤含水量逐渐上升, 但相对其他取样点, 临猗小麦地不仅 0~200cm 土层含水量低, 而且 0~600cm 土层平均含水量也最低, 仅为 9.0%。

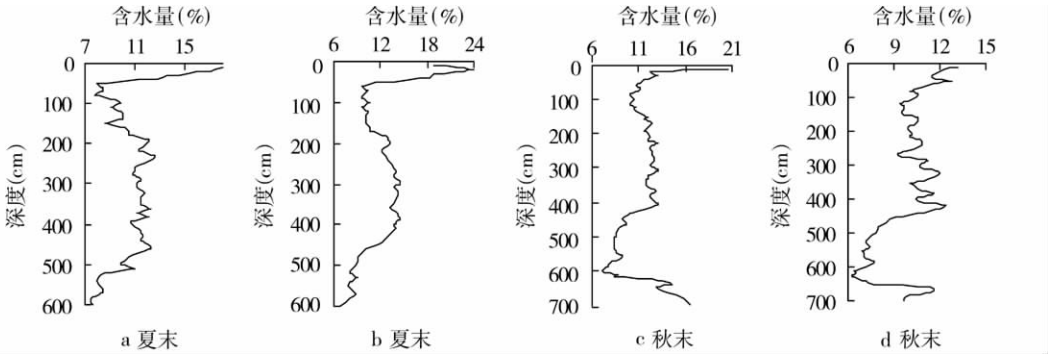


图 3 太原玉米地土壤含水量

Fig. 3 Soil moisture content under corn field in Taiyuan City

3.2 讨论与分析

3.2.1 农田长期性干层存在的普遍性与等级 根据前人对土壤干层的研究, 0~200cm 土层易受季节性降水的影响, 即使出现土壤干层, 在雨季也会消失, 所以 0~200cm 之间的干层是临时性干层或季节性干层。通常认为, 土层中含水量低于 12% 可视为土壤干层^[31,32]。根据水分亏缺程度对植被生长的影响状况, 王力等将干层划分为 3 个等级: I 轻度干层, 含水量为 9%~12%, 对植物生长影响不大, 基本能正常生长; II 中度干层, 含水量为 6%~9%, 对植物生长影响较严重, 表现为密度大的林分成林不成材, 形成低产林; III 严重干层, 含水量 6% 以下, 对植物生长影响非常严重, 植被经常处于缺水状态, 部分已开始枯萎甚至死亡^[31]。

太原玉米地 2005 年 8 月 20 日 400~600cm 土壤平均含水量 9.8%, 11 月 9 日 200~400cm 土壤平均含水量 11.5%, 600~700cm 土壤平均含水量 10.7%, 这两个层段属于轻度干层。11 月 9 日 400~600cm 土壤平均含水量 8.8%, 这个层段已达到中度干层。

据研究, 正常降水年份西安市吴家坟附近麦地土层含水量较高, 平均含量为 13.4%。上部 0~200cm 含水量平均为 12.0%; 中部 200~400cm 土壤含水量平均为 13.3%; 下部 400~600cm 含水量平均为 15.0%, 没有土壤干层发育, 而人工林地出现了土壤干层^[33]。对比来看, 临猗小麦地 200~400cm 土壤平均含水量为 10.0%, 400~600cm 土壤平均含水量为 10.0%, 属于轻度干层。离石玉米地 200~400cm 土层平均含水量 12.2%, 接近轻度干化。寿阳玉米地其中一个剖面 400~600cm 土层平均含水量 12.0% (图 2a), 忻州玉米地一个剖面 400~600cm 土层平均含水量为 11.8% (图 4a), 均属于轻度干层。

从以上分析看可知, 研究地区的太原、忻州、寿阳、离石玉米地、临猗小麦地等农田土壤普遍存在土壤干燥化问题, 干化程度属于轻度干层, 有的已达到中度干层。

3.2.2 季节性干层发育强度和对农作物的影响 2006 年 12 月 16 日忻州玉米地 0~200cm 土壤平均含水量为 11.4%, 2007 年 4 月 29 日离石玉米地 0~200cm 土壤平均含水量为 11.6%, 2005 年 8 月 20 日太原玉米地 0~200cm 土壤平均含水量为 11.6%, 11 月 9 日采集的 0~200cm 土壤平均含水量为 11.2%, 都属于轻度干层。2007 年 5 月 5 日临猗小麦地 0~200cm 土壤含水量为 7.7%, 属中度干层。寿阳玉米地 0~200cm 土壤平均含水量为 14.2%, 没有季节性干层出现。春季正值播种时节, 土壤干燥化的出现无疑会影响农作物的发芽和生长。夏季和秋季的土壤干燥化说明正值生长期的农作物水分不足, 会影响农作物的生长和产量。特别是在贫水年, 季节性土壤干层发育等级会加强, 将会造成农

作物严重减产和重大损失。农作物的根系大多在 100cm 以上, 所以季节性干层对农作物的危害最为严重。

3.2.3 农田含水量垂向变化和长期性干层发育深度 晋中太原、寿阳玉米地轻度干层发育到了 600cm 以下。2005 年 8 月 20 日太原玉米地 0~200cm 土壤含水量为 11.6%, 400~600cm 土壤含水量 9.8%, 11 月 9 日在 0~200cm 采集的样品土壤含水量为 11.2%, 200~400cm 土壤含水量为 11.5%, 400~600cm 土壤含水量为 8.8%, 600~700cm 土壤含水量为 10.7%, 说明太原玉米地 400~600cm 达到了中度干层。轻度干化也发展到 700cm。寿阳玉米地 400~600cm 土壤平均含水量为 12.6%, 接近轻度干化, 其中一个剖面(图 2a)的 400~600cm 土壤平均含水量 12%, 属于轻度干层。

晋南临猗小麦地等长期干旱, 导致土壤干燥化程度严重。临猗小麦地 0~200cm 土壤含水量 7.7%, 属中度干层; 200~400cm 为 10.0%, 400~600cm 为 10.0%, 说明轻度土壤干层已发育到了 600cm。

晋西离石、晋北忻州玉米地 0~200cm 土壤含水量分别为 11.6%、11.4%, 离石玉米地 200~400cm 土层平均含水量 12.2%, 接近轻度干化。忻州玉米地一个剖面 400~600cm 土层平均含水量为 11.8% (图 4a), 均属于轻度干层。说明晋西玉米地 400cm 接近轻度干化, 晋北玉米地轻度干层已达到 600cm 深度。

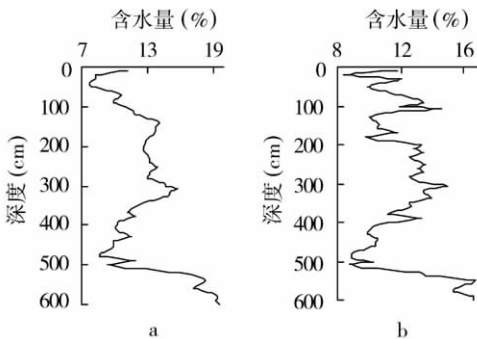


图 4 忻州玉米地 a 孔和 b 孔剖面土壤含水量

Fig. 4 Soil moisture content under corn field in Xinzhou City

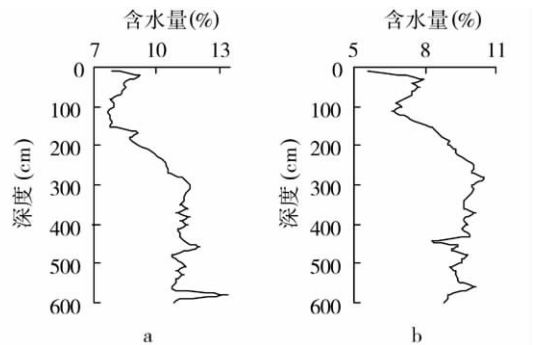


图 5 临猗小麦地 a 孔和 b 孔剖面土壤含水量

Fig. 5 Soil moisture content under wheat field in Linyi County

4 结论与讨论

4.1 农田干层对水循环的影响

本区季节性干层主要分布在 0~200cm 之间, 中度土壤干层一般分布在 600cm 左右。季节性干层主要受季节性降水和水分蒸发的影响。本区 200~400cm 之间的轻度土壤干层、400~600cm 之间的轻度或中度土壤干层对水循环会造成不利的影

响。从大气降水入渗分带来看, 在年降水 600mm 左右条件下, 200cm 左右深度是以重力水形式入渗到达的下界, 200cm 以下一直到地下水位附近为薄膜水带。随着年降水量的增加, 入渗的重力水到达的下界深度不断增加^[34]。但本区年降雨量在 500mm 左右, 所以重力水达不到 200cm 左右的深度, 600cm 深度就更不会有入渗的重力水了。薄膜水带的特点是水分含量低, 水分运移非常缓慢, 由水膜厚处向薄处运动。在出现长期性土壤干层的情况下, 由于土壤干层带含水量比其上和其下的土层含水量低^[34], 这就出现干层带之下

薄膜水的向上移动,从而切断了水分的向下入渗,造成水循环的异常。所以研究地区农田土壤干层的出现一定程度上影响了该地区的水循环,长期下去会造成该区地下水位的下降和地下水资源的减少。

4.2 农田干层发育原因

在天然植被中也存在轻度土壤干层,这是一种正常的自然现象,而且对植被的自然更新、演替和形成稳定群落没有根本性的影响^[35]。根据过去研究,水分蒸发是造成 0~200cm 土层季节性干层的重要原因,200~400cm 土层很少受蒸发作用影响。因此,200~400cm 范围内土层水分变化主要是植物根系吸收的结果^[36]。而玉米、小麦等农作物的根系一般不会达到 200cm 的深度,因此本区 600cm 左右的土壤干层主要是降水量少造成的。深层土壤由于缺乏降雨入渗的补给而逐渐干燥化。连续性降雨减少不利于土壤水分向深层的运移,从而加剧深层土壤的干燥化进程。近 50 年来黄土高原地区气候变暖和降雨减少可能是土壤干层形成的直接原因,而植被类型选择失当、群落密度过大和生产力过高则会加剧深层土壤的干燥化进程^[32]。根据雷志栋等、康绍忠等、黄明斌等的研究^[37~39],黄土高原旱作农田的水资源主要由自然降水、土壤水和地下水 3 部分组成。由于该区地下水埋藏较深,一般不直接参与土壤水分循环,因此旱作农田的水资源实际上只有降水和土壤水两部分。而农作物可利用的土壤水分又是十分有限的,它是自然降水在土壤、植物和大气之间循环转化后自然平衡的结果,改变其中的任一个环节,都会影响整个循环系统的演变走向。农田生产力水平提高,作物耗水量增大将影响土壤水分循环,改变土壤耗水层深度和降水入渗补给深度。从各因素的分析看,降水量少是本区农田干层发育的主要原因,但也不可忽视农田生产力提高、植被密度和蒸发对季节性干层形成的影响。

4.3 农田干层的强度、危害及普遍性

山西褐土区农田普遍发育了土壤干层,在玉米、小麦等农田一般有轻度和中度干层发育。晋中太原玉米地轻度干层发育到了 600cm 以下;晋南长期干旱导致干燥化程度严重,轻度土壤干燥化也已发育到 600cm;晋西玉米地 400cm 接近轻度干化,晋北玉米地轻度干层已达到 600cm 深度。

季节性干层的存在对本区农作物的播种、发芽、生长和产量危害大,这是农作物发生干旱灾害的土壤水分的直接表现。

4.4 研究地区防治干层的对策

研究区农田普遍存在土壤干层,对农业生产构成了较大危害,特别是季节性土壤干层的普遍存在对主要粮食作物玉米、小麦生长是很不利的,是造成该区粮食产量不高的主要原因之一。由于近几十年来的气候暖化,以土壤水分严重亏缺为特征的土壤干燥化已经成为影响旱地作物高产的瓶颈^[40~42]。因此,必须采取有效措施应对土壤干燥化这一危害农业生产的严重生态环境问题。耐旱而又水分利用效率高的作物品种需要水分较少,且生产效率,应该积极推广。根系较深的农作物可以利用深层土壤水,增强抗旱能力,有利于保持稳定的产量,所以发展较深根系的作物也是防治干层危害的重要措施。为减轻季节性土壤干层对农作物的危害,还要注意农作物的合理密植,有条件的地方应实施灌溉措施。

本研究的取样、称重测定方法耗时、费力,有待改进,但相对直接插入土壤中测水分的湿度仪法等要准确^[43]。对土壤干层的量化指标,目前没有一个统一的标准,但不同的土壤质地应该有不同干层量化指标,这样才能符合实际情况。今后取样点的范围需要进一步扩大、取样数量还需增加。农田土壤干燥化对产量、作物生理的影响,水在土壤中的

运动形式^[44]等问题还需深入研究。

致谢: 吕峰、王艳杰、吴迪、任贤、王大伟、李鹏飞、高晋波、程晓东、赵林忠等同学在取样、实验过程中给予了帮助, 特致谢意。

参考文献:

- [1] 朱显谟. 抢救“土壤水库”治理黄土高原生态环境. 中国科学院院刊, 2000, (4): 293~295.
- [2] 王经民, 戴夏燕, 韩斌. 黄土丘陵区土壤水分研究. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(1): 53~56.
- [3] 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. 生态学报, 1983, 3(2): 91~101.
- [4] 杨维西. 试论我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.
- [5] 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.
- [6] 侯庆春, 等. 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.
- [7] 余新晓, 张建军, 朱金兆. 黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价. 林业科学, 1996, 32(4): 289~297.
- [8] 张信宝. 黄土高原植被建设的科学检讨和建议. 中国水土保持, 2003, (1): 17~32.
- [9] 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. 中国水土保持, 1999, (5): 11~14.
- [10] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价. 北京: 科学出版社, 1992. 292~295.
- [11] 谢贤群. 我国北方地区农业生态系统水分运行及区域分异规律研究的内涵和研究进展. 地球科学进展, 2003, 18(3): 440~446.
- [12] 樊军, 郝明德, 邵明安. 黄土旱塬农业生态系统土壤深层水分消耗与水分生态环境效应分析. 农业工程学报, 2004, 20(1): 61~64.
- [13] 杨婕, 杨晓光, 王化琪, 等. 旱稻农田土壤水分变化特征研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 81~86.
- [14] 李志军, 张富仓, 康绍忠, 等. 不同潜水埋深条件下的农田土壤水分动态试验研究. 水利与建筑工程学报, 2005, 3(4): 21~23.
- [15] 张洪芬, 王劲松, 黄斌. 西峰黄土高原麦田土壤水分的垂直分布的研究. 土壤通报, 2006, 37(6): 1081~1085.
- [16] 何锦. 基于 SWAP 模型的农田水分动态模拟研究. 水文与水资源, 长安大学硕士学位论文, 2006.
- [17] 刘爽, 武雪萍, 吴会军, 等. 休闲期不同耕作方式对洛阳冬小麦农田土壤水分的影响. 中国农业气象, 2007, 28(3): 292~295.
- [18] 黄明斌, 党廷辉, 李玉山. 黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响. 农业工程学报, 2002, 18(6): 50~54.
- [19] 严昌荣, 居辉, 彭世琪, 等. 中国北方旱农地区农田水分动态变化特征. 农业工程学报, 2002, 18(3): 11~14.
- [20] 张宝林, 陈阜. 晋西旱塬地覆盖耕作农田土壤水分有效性研究. 华北农学报, 2005, 20(3): 57~61.
- [21] 白秀梅, 卫正新, 郭汉清, 等. 晋北旱地玉米微集水种植技术的土壤水分动态研究. 山西农业大学学报, 2005, (3): 289~291.
- [22] 王孟本, 李洪建. 林分立地和林种对土壤水分的影响. 水土保持学报, 2001, 15(6): 43~46.
- [23] 贾志清. 晋西北黄土丘陵沟壑区典型灌草植被土壤水分动态变化规律研究. 水土保持通报, 2006, 26(1): 10~15.
- [24] 胡振华, 王治国, 高宏旭, 等. 晋西黄土残塬沟壑区水分变化及其利用效率研究. 山西农业大学学报, 2001, 21(3): 248~251.
- [25] Philip J R. Plant water relations; Some physical aspects. Ann. Rev. Plant Physiol., 1966, 17: 22~26.
- [26] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. Water Resour. Res., 2000, 36(1): 3~9.
- [27] Nielsen D R. Soil water. Am. Soc. Agron., Wisconsin: Madison, 1972. 16~22.
- [28] Milly P C D. Potential evaporation and soil moisture in general circulation models. Journal of Climate, 1992, 5(3): 209~226.
- [29] Jakson N A, Wallace J S. Modeling soil evaporation in agroforestry system in Kenya. Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 94: 123~128.
- [30] Cairns J, Audebent A, Towend J, et al. Effect of mechanical impedance on root growth of two rice varieties under field drought stress. Plant and Soil, 2004, 267(1-2): 309~318.

- [31] 王力,邵明安,侯庆春. 延安试区土壤干层现状分析. 水土保持通报,2000,20(3):35~37.
- [32] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征. 地理学报,2005,25(10):2491~2493.
- [33] 李瑜琴. 西安地区丰水年后人工林地土壤水分恢复与消耗. 陕西师范大学硕士研究生论文,2006.12~13.
- [34] 赵景波. 淀积理论与黄土高原环境演变. 北京:科学出版社,2002.165~178.
- [35] 庞敏,侯庆春,薛智德,等. 延安研究区主要自然植被类型土壤水分特征初探. 水土保持学报,2005,19(2):138~141.
- [36] 赵景波,杜娟,周旗,等. 陕西咸阳人工林地土壤干层研究. 地理科学,2005,25(3):322~328.
- [37] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学. 北京:清华大学出版社,1989.
- [38] 康绍忠,张富昌,刘晓明. 作物叶面蒸腾与棵间蒸发分摊系数的计算方法. 水科学进展,1995,6(4):285~289.
- [39] 黄明斌,邵明安,李玉山. 一个改进的随机动力学水平衡模型及其应用研究——II应用. 水利学报,2000,(6):27~33.
- [40] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化. 土壤学报,2001,38(3):353~356.
- [41] 杨文治,田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源. 土壤学报,2004,41(1):1~6.
- [42] 穆兴明,徐学选,陈霖巍. 黄土高原生态水文研究. 北京:中国林业出版社,2001.
- [43] 牛俊杰,等. 汾河流域上游人工林地深层土壤干燥化探讨. 地理研究,2007,26(4):773~781.
- [44] 赵景波,等. 关中平原人工林地的干层及其成因. 地理研究,2007,26(4):763~772.

Studies on soil desiccation of croplands in cinnamon soil region of Shanxi

NIU Jun-jie^{1,2}, ZHAO Jing-bo¹, WANG Shang-yi²

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Department of Geography, Taiyuan Normal University, Taiyuan 030012, China)

Abstract: This article, taking corn and wheat fields in Lishi, Xinzhou, Taiyuan, Shouyang, Linyi as examples, selects five representative 0~600cm deep soils (some are 700cm deep) separately from 12 profiles to analyze soil moisture situation in different seasons and different vertical profiles. The research obtains: The dry layer of soil in the Loess Plateau region exists universally in corn and wheat fields of the study area, presenting both in mild and moderate dry layers. The characteristic of seasonal dry layer is the main cause that makes crops in the region liable to be hit by drought. The mild dry layer in Jinzhong exists in soils below 600cm. The long-term drought in southern Shanxi; aggravates desiccation degree, the dryness of mild soil has also developed to 600cm. The dry layer of soil in 400cm in western Shanxi tends to be mild. The dry soil layer in northern Shanxi reaches 600cm, indicating a mild dryness there. The occurrence of seasonal dry layer and deep soil dryness of farmland seriously affects the farmland soil water circulation. The main reason that causes the natural phenomenon of the development of dry layer of the local farmland is scarce precipitation, but the formation of temporary dry layer due to increase of productivity, vegetation density and evaporation have also exerted noticeable influence. To mitigate farmland dryness the effective ways are to select low-water consumption dryland crops, and to practise rational close planting, and irrigation in places where condition are permitted.

Key words: soil desiccation; farmland; cinnamon soil region of Shanxi; desiccation degree; dry layer depth