
综合
治理

青海湖北沙柳河镇土壤水分特征与植被建设

赵景波^{1,2}, 曹军骥², 侯雨乐³

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 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, 陕西 西安 710075; 3. 阿坝师范高等专科学校, 四川 成都 611741)

摘要: 根据土壤含水量测定和粒度分析, 研究了青海湖北沙柳河镇土壤水环境和适于发展的植被。结果表明, 青海湖北沙柳河地区土壤粒度成分均为以粗粉砂为主的粉砂土。在 2009 丰水年该区土壤上部含水量丰富, 油菜地重力水可达 1.3 m, 草地重力水分布深度达到了 0.5 m 左右。该区不同植被的土壤含水量差异明显, 但都随着深度增加呈降低的趋势。沙柳河地区多数草地土壤 0.8 m 左右深度以下土壤含水量在 5%~11%, 发育了轻度干层和中度干层, 表明该区土壤水分不够充足, 而且处于负平衡状态, 指示该区不适于植树造林。由于沙柳河地区土壤干层发育广泛, 为防止入湖水位的下降, 应以发展耐旱牧草以及其它耗水量少的作物为主, 控制耗水多的油菜种植面积, 限制入湖河流水资源的开发利用。

关键词: 土壤含水量; 土壤干层; 水分平衡; 丰水年; 粒度成分; 青海湖北部

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0180-06

中图分类号: P941.75

Soil Moisture and Vegetation Construction at Shaliuhe Town in Northern Qinghai Lake

ZHAO Jing-bo^{1,2}, CAO Jun-ji², HOU Yu-le³

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 3. Aba Teachers College, Chengdu, Sichuan 611741, China)

Abstract: Based on grain size analysis and soil moisture determination, soil moisture environment, causes of steppe degeneration, and vegetation suitable to developing were investigated at Shaliuhe Town in northern Qinghai Lake. The results show that the soil in the studied area is mainly composed of coarse silt. Soil moisture was rich in 2009 as a rainy year, and the seeping depth of gravity water reached 1.3 m in the rape land and about 0.5 m in the grass land, respectively. Soil moisture contents differed for various vegetation types, but decreased consistently with the depth. Soil moisture contents 0.8 m under the surface ranged from 8% to 11% for the majority of the grass lands, developing a weakly or moderately dried soil layer. This indicated insufficient soil moisture conditions and imbalanced water budgets, implying afforestation might not be suitable for this area. As dried soil layers extensively developed, drought-resistant grasses and other crops that consume less water are more desirable, in order to prevent water level recession of the lake. The cultivation area of water consuming plants like rape should be limited, and the exploitation of water resources from the rivers into Qinghai Lake should be well controlled.

Keywords: soil moisture; dried soil layer; water balance; rainy year; particle sizes; the northern Qinghai Lake

土壤水分不但直接影响土壤的特性和植物的生长, 也影响到植物分布和类别^[1-2]。土壤干化及土壤水分问题是目前生态环境平衡、农牧业发展等方面研究的热点问题, 土壤干层是土壤干燥化的主要表现, 已引起人们的重视^[3]。土壤干层是指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^[4]。含水量的多少是决定植物生长状况和植被类

型的主要因素^[5]。我国学者对黄土高原地区的土壤干层进行了大量研究^[6-7], 目前普遍认为干旱半干旱区的土壤干层是由“低降水, 高蒸发”的气候特征导致的^[3,8]。青海湖周边地区是我国生态环境中典型的脆弱敏感区域之一, 地貌为高原封闭盆地, 降水稀少, 蒸发量大, 草场干旱退化^[9]。因此, 研究土壤含水量对查明该地区土壤水分状况不仅具有重要理论意义,

收稿日期: 2010-06-26

修回日期: 2010-07-27

资助项目: 国家科技支撑计划项目“青海湖流域生态和环境保护与评估技术”(2007BAC30B01)

作者简介: 赵景波(1953—), 男(汉族), 山东省滕州市人, 博士, 教授, 主要从事第四纪与自然地理研究。E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn.

而且对促进青海湖地区牧草与油菜等经济作物正常生长和防治青海湖面缩小有重要实际意义。

1 研究区概况与研究方法

刚察县是青海省海北藏族自治州辖县,省环湖重点牧业县之一,位于青海湖北岸,县政府驻沙柳河镇。地理位置在东经 $99^{\circ}20'44''$ — $100^{\circ}37'24''$,北纬 $36^{\circ}58'06''$ — $38^{\circ}04'04''$ 。平均海拔3 300.5 m,具有典型的高原大陆性气候,日照时间长,昼夜温差大,年平均气温为 1.3°C 。年降水量约330 mm,多集中在6—9月,年蒸发量为 $1\ 500.6\sim 1\ 847.8\text{ mm}^{[10-11]}$ 。

2009年7月底,我们在青海湖北的沙柳河镇南部选取了3个具有代表性的采样点,在每个采样点利用轻型人力钻采取8~12个钻孔的样品,每10 cm采1个样品。含水量测定采用烘干称重法。在现场用电子天平称量湿土重(W_1),样品运回实验室后进行烘干,烘干温度 105°C ,烘干时间在24 h以上,之后称量干土重(W_2)。

土壤含水量: $W = (W_1 - W_2) / W_2 \times 100\%$

式中: W ——所测样品的含水量; W_1 ——烘干前样品重量; W_2 ——烘干后土壤样品重量。粒度测定应用的是英国马尔文仪器公司生产的Mastersizer-2000激光粒度仪,测量范围为 $0.02\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$,重复测量误差小于3%,对大于2 mm的土样用筛析法测定。

2 含水量测定结果

为便于研究和进行对比,参考黄土高原土壤水分剖面分层和土壤干层的划分依据^[4,12],并参考刚察县沙柳河镇土壤粒度成分的特点,对土壤剖面水分变化进行分层。

2.1 草灌区采样点含水量测定结果

沙柳河镇草灌区采样点设在刚察火车站南青海湖农场附近的灌木、草地中。这里地势较平坦,高草密布,草高约0.1~0.5 m;灌木分布稀疏,高约0.7~0.9 m。在该采样点共打12个钻孔,钻孔间距在15~30 m,钻孔深度在0.6~1.9 m。由含水量测定结果可知,含水量均呈现随深度增加而逐渐降低的趋势。剖面1(图1a)深1.0 m,含水量变化范围为 $4.7\%\sim 29.1\%$,平均含水量为 18.7% 。根据含水量的变化可分为深度0.1—0.6,0.7—1.0 m这2层,平均含水量分别为 25.4% , 8.7% 。钻孔2(图1a)深1.0 m,含水量变化范围为 $15.3\%\sim 31.7\%$,平均含水量为 22.0% 。可划分为0.1—0.5,0.6—1.0 m这2层,平均含水量分别为 27.0% , 17.0% 。钻孔3(图1b)深1.4 m,含水量变化范围为 $7.9\%\sim 29.8\%$,平

均含水量为 18.4% 。可分为0.1—0.5,0.6—1.2和1.3—1.4 m这3层,含水量分别为 27.8% , 15.9% , 8.7% 。钻孔4(图1b)

深0.8 m,含水量与钻孔3相近。钻孔5(图1c)深0.6 m,平均含水量为 25.0% 。可划分为0.1—0.4,0.5—0.6 m这2层,平均含水量分别为 29.3% , 16.4% 。钻孔6(图1c)深1.0 m,含水量变化范围为 $7.3\%\sim 29.3\%$,平均含水量为 18.1% 。根据含水量的变化可划分为0.1—0.4,0.5—0.8,0.9—1.0 m这3层,平均含水量分别为 25.6% , 15.8% , 7.5% 。钻孔7(图1d)深0.7 m,含水量变化范围为 $14.6\%\sim 29.6\%$,平均含水量为 21.9% 。可划分为0.1—0.4,0.5—0.7 m这2层,平均含水量分别为 26.4% , 16.0% 。钻孔8(图1d)深0.7 m,含水量变化范围为 $14.8\%\sim 24.6\%$,平均含水量为 20.9% 。可划分为0.1—0.5,0.6—0.7 m这2层,平均含水量分别为 22.5% , 16.9% 。钻孔9(图1e)深1.80 m,含水量变化范围为 $3.6\%\sim 27.0\%$,平均含水量为 10.7% 。根据含水量的变化可分为0.1—0.3,0.4—0.6,0.7—1.8 m这3层,平均含水量分别为 25.7% , 16.1% , 5.5% 。钻孔10(图1e)深1.7 m,含水量及其变化与钻孔9基本相同。钻孔11(图1f)深1.4 m,含水量变化范围为 $4.1\%\sim 31.5\%$,平均含水量为 15.5% 。根据含水量的变化可分为0.1—0.5,0.6—0.8,0.9—1.4 m这3层,平均含水量分别为 27.4% , 14.8% , 5.9% 。钻孔12(图1f)深1.9 m,含水量及分层与钻孔11基本相同。

2.2 油菜地采样点含水量测定结果

油菜地采样点在青海湖农场内,距草灌区采样点南约1.5 km处。这一采样点共打钻孔8个,钻孔间距在15~25 m之间,钻孔深度在0.7~1.3 m之间。由含水量测定结果可知,钻孔1(图2a)含水量变化范围为 $13.1\%\sim 30.8\%$,随深度增加呈降低趋势。根据含水量变化可分为0.1—0.5,0.6—1.0 m这2层,平均含水量分别为 26.4% , 14.3% 。钻孔2(图2a)平均含水量为 13.0% ,根据含水量的变化可分为0.1—0.3,0.4—0.5,0.6—1.0 m这3层,平均含水量分别为 23.4% , 15.1% , 6.0% 。钻孔3(图2b)平均含水量为 22.9% ,含水量都大于12%,因只在80 cm处才小于12%故只划分1层(0.1—0.7 m),该层的平均含水量为 26.4% 。钻孔4(图2b)平均含水量为 14.8% ,根据含水量的变化可分为0.1—0.6,0.7—1.0 m这2层,平均含水量分别为 22.1% , 3.9% 。钻孔5(图2c)的平均含水量为 20% ,可分为0.1—0.6,0.7—0.9 m这2层,平均含水量分别为 21.2% , 17.5% 。钻孔

6(图 2c)的平均含水量为 23.6%, 0.1—0.6 m 深度的平均含水量为 24.7%。钻孔 7(图 2d)的平均含水量为 24.0%, 其剖面的含水量大部分都大于 20%, 只有在

1.2 m 处的含水量为 19.9%。钻孔 8(图 2d)的平均含水量为 18.1%, 可分为 0.1—0.3, 0.4—0.7 m 这 2 层, 平均含水量分别为 25.9%, 13.9%。

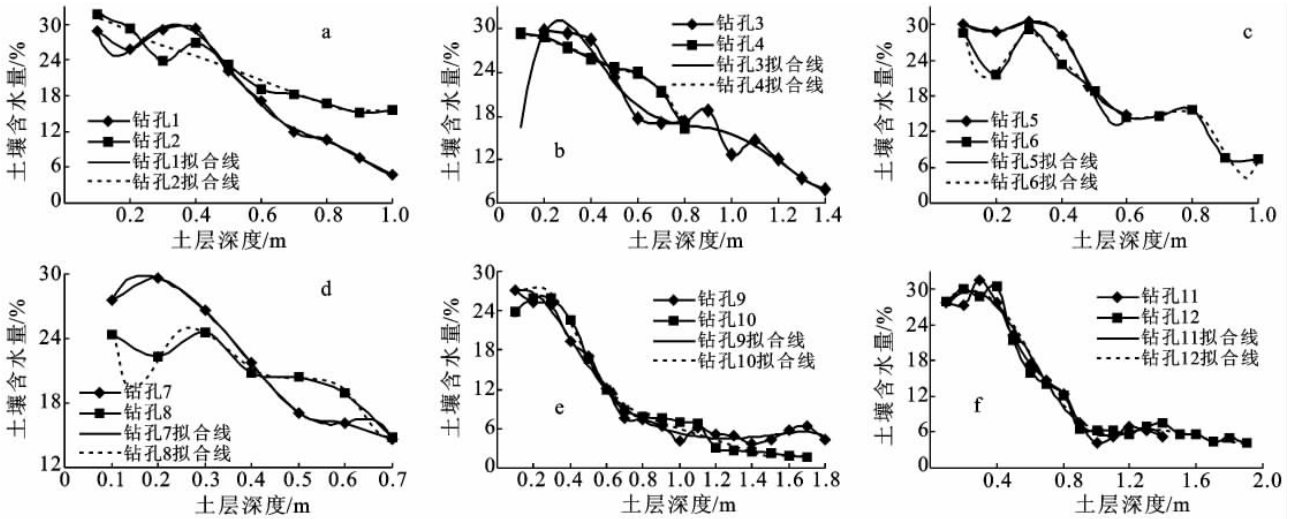


图 1 沙柳河镇草灌区采样点剖面的土壤含水量

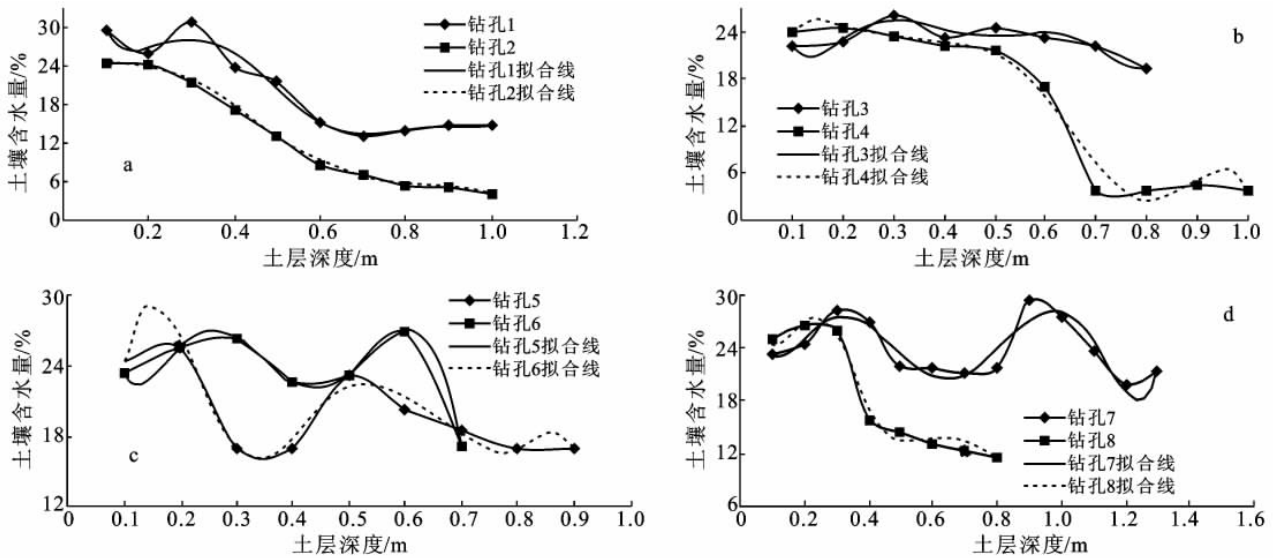


图 2 沙柳河镇油菜地采样点剖面土壤含水量

2.3 牧场采样点含水量测定结果

牧场采样点在油菜地采样点南约 2 km 处, 临近青海湖。牧草高约 10~30 cm。在这一采样点共打钻孔 9 个, 钻孔间距在 15~150 m 之间。由含水量测定结果可知, 含水量均呈随深度增加而逐渐降低的趋势。钻孔 1(图 3a)平均含水量为 21.3%, 可分为 0.1—0.5, 0.6—0.7 m 这 2 层, 平均含水量分别为 23.3%, 16.5%。钻孔 2(图 3a)与钻孔 1 相近, 平均含水量为 21.9%, 可分为 0.1—0.5, 0.6—1.1 m 这 2 层, 平均含水量分别为 26.0%, 18.5%。钻孔 3(图 3b)平均含水量为 15%, 根据含水量的变化可分为 0.1—0.4, 0.5—

0.8, 0.9—1.3 m 这 3 层, 平均含水量分别为 22.7%, 16.4%, 7.7%。钻孔 4(图 3b)平均含水量为 14.3%, 根据含水量的变化可分为 0.1—0.5, 0.6—1.0 m 这 2 层, 平均含水量分别为 20.8%, 7.8%。钻孔 5 剖面(图 3c)平均含水量为 12.8%, 根据含水量的变化可分为 0.1—0.4, 0.5—0.7, 0.8—1.4 m 这 3 层, 平均含水量分别为 23.5%, 13.2%, 6.4%。剖面 6(图 3c)含水量及其分层与剖面 5 很相近。剖面 7(图 3d)平均含水量为 17.0%, 根据含水量的变化可分为 0.1—0.4, 0.5—0.6, 0.7—0.8 m 这 3 层, 平均含水量分别为 22.3%, 14.6%, 8.7%。剖面 8(图 3d)含水量与剖面 7 很类似。

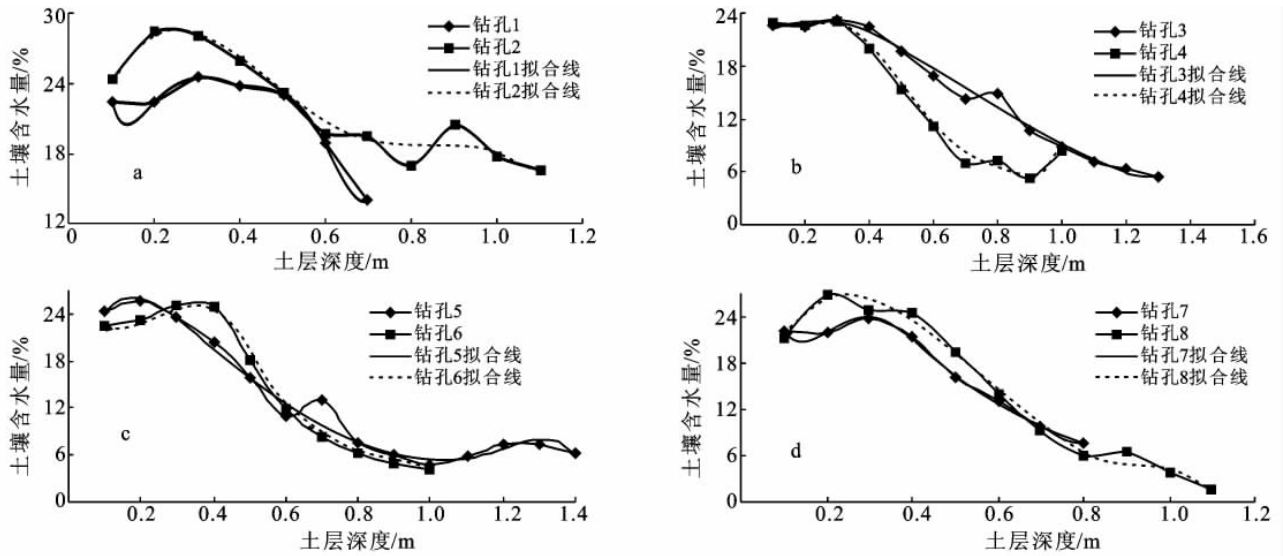


图 3 沙柳河镇牧场采样点剖面的土壤含水量

3 土壤粒度分析结果

在每个采样点选择 2 个代表性好的剖面,共选择了 6 个剖面的样品进行粒度分析。每个采样点选择一个有代表性剖面的粒度实验结果进行介绍。由实验结果可知,草灌区第 9 剖面粗粉砂平均含量为 43.0%;细粉砂和极细砂平均含量分别为 16.5%和 14.8%;小于 0.005 mm 的黏粒和细砂含量分别为 9.2%和 7.7%。可以确定本采样点土层主要是粉砂土,但比洛川马兰黄土略粗,表现为黏粒含量少,细砂与极细砂含量高。牧场草地第 5 剖面粗粉砂平均含量为 50.2%,细粉砂和黏粒分别为 17.3%和 14.8%,极细砂含量 12.6%。可以确定牧场草地粒度组成是与洛川马兰黄土相近的粉砂土。油菜地第 5 剖面粗粉砂平均含量为 33.5%,细粉砂和黏粒分别为 14.4%和 13.2%,极细砂和细砂含量分别为 8.8%和 14.5%,中砂 11.6%。可以确定油菜地采样点土层也是粉砂土,但粒度组成较洛川马兰黄土明显粗。粒度分析表明,沙柳河镇附近土壤为粉砂土,但粒度成分变化较大,有的剖面与洛川马兰黄土粒度成分相近,有的较粗。

4 讨论

4.1 沙柳河镇土壤干层标准与干层分布

人们对黄土高原的土壤干层研究较多,可作为参考的依据。黄土以粉砂为主,从黄土高原的北部到南部粗粉粒含量有一定的减少,黏粒有一定增加^[12]。上述刚察县沙柳河镇的土壤也是以粉砂为主,但比洛川马兰黄土略粗,因此该区土壤干层含水量划分标准应比陕西黄土高原的土壤干层标准^[4]略低。在陕西

省延安地区,含水量小于 12%就被认为是土壤干层,含水量在 12%~9%之间的为轻度干层,在 9%~6%之间的为中度干层,6%以下是严重干层。我们将刚察沙柳河 11%的含水量作为干层与非干层的分界,含水量在 11%~8%之间的为轻度干层,8%~5%之间的为中度干层,5%以下是严重干层。

在黄土高原地区,土壤干层分布深度一般在 2 m 以下^[5,12-14],这是因为黄土高原区当年降水入渗深度可达 2 m,所以 2 m 以上不会形成长期性土壤干层。刚察县年均降水量只有 330 mm,降水入渗深度小,所以在多数土壤之下 0.7 m 左右深度就出现了土壤干层。必须查明 0.7~2 m 之间的干层是季节性干层还是长期性干层。多年存在的干层为长期性干层。从 2009 年土壤上部约 0.5 m 深度出现了重力水来看,似乎 0.7 m 左右深度以下的干层是季节性干层。在重力水层出现的情况下,重力水较快速地向入渗会使干层消失^[15-16]。

2009 年该区降水量增加,年降水量由正常年的 330 mm 增加到了 416 mm。虽然 2009 年降水量增加不算多,但值得注意的是在该年 7—8 月份出现了持续时间较长的连续降水,大大增加了水分的入渗,这是该年土壤 0.5 m 以上出现了重力水的主要原因。从 0.7 m 左右深度有干层发育情况分析,该区正常年土壤重力水向下运移深度一般不会超过 0.7 m。因为如果在正常年土壤约 1 m 深度出现重力水,就会在数月内使其下 1.5 m 左右深度土层水分得到补充升高^[15-16],使干层消失。同时可知,2008 年的重力水没有到达 0.5 m 深度。因此,刚察县 0.7 m 深度以下的土壤干层为长期性干层。干层分布距地表较浅是降水量较少决定的。

4.2 沙柳河镇土壤含水量特点与干层强弱

刚察县沙柳河镇 3 种植被土壤含水量存在一定差别(图 4)。草灌区采样点的大部分钻孔都出现了土壤干层,各钻孔含水量小于 11% 土壤干层分布在 0.7 m 以下,干层厚度变化在 0.1~1.0 m 之间。虽然该区的土层厚度总体较小,但土层越厚干层越厚,且干化程度随着深度的增加而加重,尤以钻孔 9—12 的变化表现最为明显,都为中度干层。沙柳河镇牧场采样点的钻孔基本上也都出现了土壤干层,含水量小于 11% 的干层也分布在 0.7 m 以下,干层厚度变化与草灌土壤相近,除了钻孔 8 为严重干层外,其它的都是中度干层。油菜采样点土层较薄。除了钻孔 2, 4, 8 这 3 个钻孔个别深度的含水量小于 11% 以外,其它各钻孔均大于 11%。该植被区重力水下渗较深,最深达到了 1.3 m。由于经常灌溉的原因含水量较

高,土壤干层不普遍。上述分析表明,在天然草地和草灌区,土壤干层普遍存在,干层厚度(图 5)较大,土层越厚干层就越厚,且干化程度随着深度的增加而加重。干层的存在表明了该区土壤水分不够充足,大气降水常常不能通过入渗到达土层下部。虽然土壤水分基本能够满足草原植物生长的需要,但并不充分。

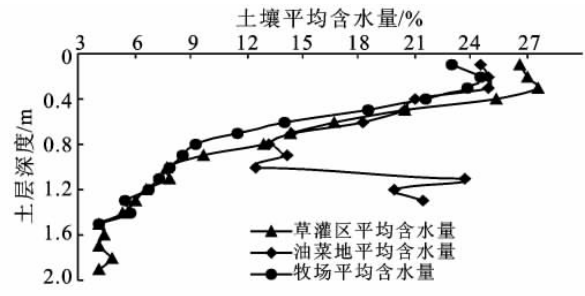


图 4 沙柳河镇 3 种不同植被区土壤平均含水量

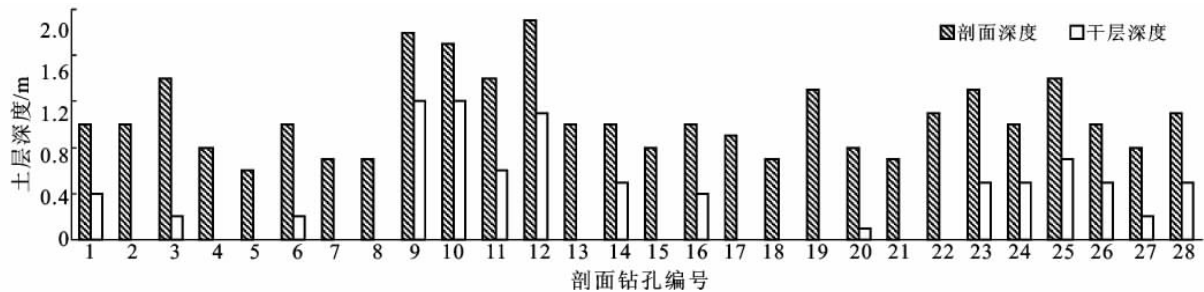


图 5 沙柳河镇土壤干层深度

4.3 沙柳河镇干层成因与水分平衡

青海湖地区除了人工灌溉的油菜地没有土壤干层发育之外,其它草地和灌草地均有中度干层发育。为减缓干层的发育强度,应该查明青海湖土壤干层的成因。在黄土高原地区的研究表明,有的土壤干层是人为不合理造林引起的,有的是降水量少和蒸发及蒸腾较大引起的^[5-6,12]。青海湖地区发育土壤干层的植被均为天然草原,显然不是人为作用造成的,也表明该区的土壤干层是自然原因造成的。青海湖区年平均气温 1.2℃。由于气温低,蒸发量相对较小,为半干旱气候。该区低草地草高一般不超 30 cm,但草本植物植株间距密集。较少的降水和密集的草本植被吸收消耗了较多水分是该区土壤干层发育的主要原因。该区干层的发育也反映了在半干旱的高寒地区也会有自然的土壤干层存在。

土壤干层的发育是土壤水分的支出大于收入的情况下产生的,也就是说土壤水分处于负平衡的条件下产生的。负平衡是大气降水经过蒸发、蒸腾和地表径流损失之后,已没有多余的水分由地表渗入地下,而且植物还会因吸收深层的土壤水使得原来储存在土壤的水分不断减少。原来储存的水分不断消耗减

少是水分负平衡的主要特点。在土壤水分处于负平衡的条件下,地下水缺少大气降水的补给来源,地下水位通常较深。青海湖地区土层越厚,下部干层越强,这也表明了该区水分处于负平衡状态。水分负平衡对青海湖水位的影响是很不利的,表明该区已不能通过土壤径流和地下径流补给湖水,也不利于地表径流的形成。要保持青海湖水位的不变或升高,就要保持入湖河流流量不变或使流量增加。因此,应当严格控制对流入青海湖的河流水资源的开发。

4.4 农牧业的适宜性分析

研究表明,刚察县当地降水量并不能充分满足牧草生长发育的需要。已有研究表明,在 2004 年之前的几十年里,青海省气候有向暖干化发展的趋势,牧业区气温在持续升高,降水量持续减少,而蒸发量普遍增大^[17]。虽然 2004 年之后青海湖地区降水量有一定的增加,湖水面有所升高,但 2009 年土壤中下部普遍都有中度干层发育指示该区的土壤水分仍然存在明显不足。由于该区土层较薄,土壤水分较为缺乏,所以要维持生态平衡,就必须科学地发展农牧业,合理利用土壤水分,防止草场退化给农业生产造成不利影响。

土壤干层的发育会影响植物的正常生长。青海省刚察地区广泛发育了中度土壤干层,在这种情况下,以保持当地自然生长的草原植被为宜,避免发展耗水多,生长快的深根系植被。油菜是刚察地区最主要的经济作物,播种面积广,也是青海省油菜的主要产区之一。而由于当地降水量少,一般采取灌溉措施来满足油菜生长的需要。由于油菜的耗水量要高于其它草本植物的耗水量^[18],引河水大面积漫灌会减少入湖水量,导致青海湖湖面下降,所以不宜大面积种植油菜,更不宜植树造林。同时要大力推广节水灌溉措施,减少水分消耗。土壤水分不足影响了草地生物量,也限制了牧业的发展。因此,要坚持退耕还草战略,科学计算草场的合理载畜量,防止草场退化引起土壤水分的蒸发散失而导致生态环境退化。

5 结论

青海湖地区 2009 年为降水量较多且出现了持续性降水,水分入渗导致土壤 0.5 m 深度范围内水分丰富,并普遍出现了重力水。

青海湖北沙柳河地区土壤干层厚度一般为 0.1~1.0 m,多为轻度干层和中度干层,土层越厚干层越厚,指示了水分来源不够充足,土壤水分大多处于负平衡状态。

沙柳河地区土壤干层形成的主要因素是当地降水量较少,蒸发和密集草原植被的吸收耗水。干层的出现指示在正常降水年,0.6 m 以下土壤一般不能得到大气降水的补给。

沙柳河地区不同植被下土壤含水量存在差异,但草地和草灌地土壤中下部多有土壤干层发育,干层发育程度都随深度增加而加重,这表明当地的降水量不能充分满足牧草、灌木生长发育的需要,不适于植树造林。

该区土壤干层发育普遍,为防止入湖水位的下降,应控制耗水多的油菜种植面积,同时要推广节水灌溉措施,控制入湖河流水资源的开发。

致谢: 参加野外研究工作的还有李岩、胡建和殷雷鹏先生,在此一并表示感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社,2005: 68-72.
- [2] 何其华,何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报,2003,21(3):149-156.
- [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[J]. 生态学报,1983,3(2):91-101.
- [4] 王力,邵明安,侯庆春. 土壤干层量化指标初探[J]. 水土保持学报,2000,14(4):87-90.
- [5] 王力,邵明安,侯庆春. 延安试区土壤干层现状分析[J]. 水土保持通报,2000,20(3):35-37.
- [6] 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.
- [7] 杨维西. 试论中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.
- [8] 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[J]. 生态学报,2003,23(8):1641-1647.
- [9] 孙菁. 青海湖区针茅草原生物量的动态变化[J]. 草业科学,2004,21(7):18-21.
- [10] 刚察县志编纂委员会. 刚察县志[M]. 西安:陕西人民出版社,1997:16-79.
- [11] 马瑞俊. 青海湖环湖自然地理考察记实[J]. 西北师范学院学报:自然科学版,1982(2):41-44.
- [12] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2002:85-111.
- [13] 赵景波,孙桂贞,岳应利,等. 关中平原人工林地的干层及其成因[J]. 地理研究,2007,26(4):763-772.
- [14] Zhao J B, Du J, Chen B Q. Dried earth layers of artificial forestland in the Loess Plateau of Shaanxi Province [J]. Journal of Geographical Sciences, 2007,17(1):14-126.
- [15] 赵景波,王长燕,岳应利,等. 西安地区人工林土壤干层与水分恢复研究[J]. 自然资源学报,2007,22(6):890-895.
- [16] 李瑜琴,赵景波. 西安地区丰水年有林地土壤水分恢复效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):101-106.
- [17] 伏洋,张国胜,李凤霞,等. 青海省草地生态环境变化态势及驱动力分析[J]. 草业科学,2007,24(5):31-36.
- [18] 于振文. 作物栽培学各论:北方本[M]. 北京:中国农业出版社,2003:98-101.