

若尔盖高寒湿地蓄水能力评估

唐素贤, 马坤, 张英虎, 刘俊国

(北京林业大学 自然保护区学院, 北京 100083)

摘要: [目的] 评估若尔盖 3 种不同类型湿地的土壤蓄水能力, 为湿地生态系统水文功能价值的评估提供科学依据。[方法] 通过对若尔盖高寒湿地三种湿地类型的土壤采样分析, 测量其土壤物理特性和土壤最大滞留贮水能力, 进而对其土壤蓄水能力进行评估。[结果] (1) 在 0—60 cm 深度范围内, 3 种湿地类型的土壤容重基本上随着深度的加深呈升高趋势, 但草本沼泽在 80—100 cm 处、沼泽化草甸和洪泛湿地在 60—80 cm 处呈现出减小趋势。(2) 在 0—100 cm 深度范围内, 沼泽化草甸的毛管孔隙度随深度增加呈减小趋势, 而草本沼泽和洪泛湿地变化不明显。(3) 在 0—100 cm 深度范围内, 3 种湿地类型土壤容重的平均值大小表现为草本沼泽(0.46 g/cm^3) < 沼泽化草甸(1.08 g/cm^3) < 洪泛湿地(1.25 g/cm^3)。3 种湿地类型土壤最大滞留贮水能力的平均值大小表现为草本沼泽(239.40 t/hm^2) > 沼泽化草甸(171.18 t/hm^2) > 洪泛湿地(148.51 t/hm^2)。[结论] 草本沼泽贮水能力最强。因此在若尔盖区域实施湿地保护与恢复措施时, 应将保护区外的草本沼泽分布的区域纳入重点计划。

关键词: 湿地退化; 物理特性; 垂直分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0219-05

中图分类号: S152.7

文献参数: 唐素贤, 马坤, 张英虎, 等. 若尔盖高寒湿地蓄水能力评估[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 219-223. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.037

Assessment of Water Storage Capacity in Zoige Alpine Wetland

TANG Suxian, MA Kun, ZHANG Yinghu, LIU Junguo

(School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] Assessing water storage capacity of three types of wetland in Zoige wetland in order to provide the scientific basis for the assessment of the hydrological function value of wetland ecosystem. [Methods] We measured the physical properties and maximum retention capacity, and evaluated soil water storage capacity of three types of the Zoige alpine wetland. [Results] (1) Within a depth of 0—60 cm, the soil bulk density of three types of wetland increased with soil depth increase, but at the depth of 80—100 cm in marshes, 60—80 cm in swamp meadow and floodplain wetland the soil bulk density decreased; (2) Within the range of 0—100 cm, the soil capillary porosity of marsh meadow shows a decreasing trend with depth, but no apparent trend in the other two wetland types; (3) Within the range of 0—100 cm, the mean value of soil bulk density in three types of wetland showed an order as marshes(0.46 g/cm^3) < swamp meadow(1.08 g/cm^3) < floodplain wetland(1.25 g/cm^3); The average of the maximum soil water storage capacity was as marshes(239.40 t/hm^2) > swamp meadow(171.18 t/hm^2) > floodplain wetlands(148.51 t/hm^2). [Conclusion] The water storage capacity of the marsh is the best. So when implementing wetland conservation and restoration in Zoige region, the marsh outside the reserve should also be included in the planning.

Keywords: wetland degradation; physical properties; vertical distribution

湿地生态系统在蓄水、调节河川径流、控制洪水、补给地下水和维持区域水平衡中发挥着重要的作用, 是蓄水防洪的天然“海绵”。沼泽湿地在这方面尤为

突显, 它是一个巨大的生物蓄水库, 能保持其土壤本身重量 3~9 倍或更多的水量^[1]。水是构成湿地生态系统最重要的因素, 无论是自然还是人为原因所造成

收稿日期: 2015-12-22

修回日期: 2016-03-06

资助项目: 国家自然科学基金重大项目“黑河流域水—生态—经济系统的集成模拟与预测”集成项目(91425303); “黑河流域水资源综合管理决策支持系统集成研究”(91325302); 科技部国家国际科技合作专项项目(2012 FA91530)

第一作者: 唐素贤(1990—), 女(汉族), 河南省新乡市人, 硕士, 研究方向为湿地水文及湿地保护。E-mail: suxiansecond@163.com。

通讯作者: 刘俊国(1977—), 男(汉族), 山东省莱芜市人, 博士, 教授, 主要从事水文学水资源和生态修复方面的研究。E-mail: junguo.liu@gmail.com。

的水量、水质、循环及其平衡的变动,都会对湿地生态系统的稳定性产生影响,甚至改变湿地生态系统^[2]。

若尔盖湿地处于黄河上游的特殊地理位置,是黄河上游重要的水源涵养地,素有黄河“蓄水池”、“中华水塔”之称,与黄河水资源调节、流域生态平衡和西北内陆气候变化等密切相关^[3]。为扩大牧场,自 1955 年在若尔盖高原沼泽区开沟排水、疏干沼泽辟为牧场;70 年代普遍开展大规模排水,总计开挖排水沟 700 余条,总长达 1 000 km,累计不同程度疏干、改造沼泽 2.00×10^5 hm²,约占本区沼泽总面积的 43.5%,这些人类活动直接导致沼泽退化、沙化^[4-5]。同时受近年来(1971—2000 年)气候变化的影响,如气温升高、降水量减少、蒸发量增大等暖干化趋势,若尔盖高原湿地的地表水资源减少,湖泊水位下降,湿地萎缩、退化^[6]。地表水资源的减少将影响到湿地的地下水位,会使其土壤中腐植酸的退化及结构改变,进一步影响到土壤的其他性质^[7];而湿地土壤组成和孔隙度的变化,则会导致土壤的含水量、持水能力下降^[8]。目前关于若尔盖湿地蓄水量方面的研究目前仅有两例:万鹏等^[9]运用 1995 年《1:100 万中华人民共和国土壤图》对若尔盖湿地蓄水量进行了估算,但没有进行实地验证,而且选用土壤饱和蓄水量指标来评价若尔盖水源涵养重要生态服务功能区的水源涵养生态服务功能不太恰当;熊远清等^[10]通过对沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸 3 个阶段的土壤物理性质和持水量的测量,用相关分析法分析了若尔盖湿地退化过程中土壤持水量变化的影响因素,该文章选取的样本有限(每阶段仅选取 3 个样点),且选取持水量作为指标不能准确反应湿地的水源涵养功能。

“水源涵养功能”的概念来源于森林生态系统,但相对于森林生态系统,关于湿地土壤水源涵养功能的研究相对较少^[10]。由于研究土壤水源涵养功能时,通常仅涉及到土壤蓄水^[11],因此土壤水源涵养功能在狭义上仅指土壤蓄水这一物理过程,包括土壤对降雨和径流的吸收渗入。土壤层在水循环过程中发挥着重要作用,土壤的持水能力是湿地涵养水源,调节地表水和地下水的重要指标,而表层土壤容重大小及孔隙状况则直接影响到土壤的蓄水性能、抗侵蚀能力及渗透性等,是土壤生态水文效应研究中最为关键的指标之一^[12]。因此本文主要侧重于若尔盖湿地上层土壤物理性质和蓄水能力的计算。

本文以若尔盖湿地为研究对象,研究 3 种不同湿地类型的土壤物理特性,评估其蓄水能力。通过该研究,以为湿地生态系统水文功能价值的评估提供科学依据,为保护、恢复若尔盖退化湿地以稳定该地区生态功能和水资源平衡提供重要的理论支撑。

1 研究区概况

若尔盖湿地地处青藏高原东北缘,横断山北段,总面积约 1.60×10^4 km²,在行政区域上隶属于四川省若尔盖县、红原县、阿坝县和甘肃省玛曲县、碌曲县,是中国残存面积最大的高原泥炭沼泽,享有“中国最美的高寒湿地草原”的美誉,被列为国际重要湿地。若尔盖湿地属于黄河上游地区,其地理坐标位于东经 $102^{\circ}08' - 103^{\circ}39'$,北纬 $32^{\circ}56' - 34^{\circ}19'$,海拔 3 400—3 900 m。气候为典型的大陆性高原寒温带湿润半湿润季风气候。最冷月(1 月)多年平均气温 10.6 ℃,最热月(7 月)平均气温 10.8 ℃,年平均气温 0.7 ℃。年降雨量 600~800 mm,多年平均降雨量 656.8 mm,年均蒸发量 1 232 mm。

若尔盖湿地区内的主要河流是黑河、白河,黑河从东南至西北纵贯全区,向北汇入黄河,为黄河上游流量较大的一条一级支流,黑河流域主要位于若尔盖县。因此,本研究主要选取黑河流域范围内的若尔盖湿地区域,主要位于若尔盖县。

2 试验方法

2.1 样品采集

选择若尔盖 3 种主要湿地类型作为研究对象,分别是草本沼泽、沼泽化草甸和洪泛湿地,于 2014 年 7 月集中两周时间采样,每种湿地类型随机选择 7—8 个样点(主要考虑到夏季很多地方会有积水导致无法挖剖面,所以随机选样地)。土壤剖面深度为 1.0 m,宽度为 0.8 m,按照固定分层 0—5,5—10,10—20,20—30,30—40,40—60,60—80,80—100 cm 采集土壤,每层用环刀取 3 个样作为重复,当场称鲜重,取土后逐层回填。

2.2 土壤基本物理性质测定

测量指标:土壤容重、土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管持水量。按照《森林土壤定位研究方法》^[13],土壤容重、土壤持水量及土壤孔隙度采用环刀法测定。于 2014 年 8 月集中白天时间在实验室测定,温度变化范围极小,可忽略。

将装有原状土壤的环刀在水中浸泡 24 h 称重(m_{s2} ,g),此时土壤吸水达到饱和;然后放于干砂上 2 h,此时环刀中土壤的非毛管水已全部流出,称重(m_{s3} ,g)计算毛管持水量(C_{cap} ,g/cm³);最后将环刀中土壤放入烘箱中烘干(105 ℃),称量环刀中的干土质量(m_{s0} ,g)。容重、孔隙度与持水量的计算公式如下:

$$D = \frac{M_{s0}}{V} \quad (1)$$

式中: D ——土壤容重(g/cm^3); m_{s0} ——环刀内土壤干重(g); V ——环刀容积(cm^3)。下同。

$$C_{\text{cap}} = \frac{m_{s3} - m_{s0}}{m_{s0}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: C_{cap} ——土壤毛管持水量; m_{s3} ——环刀内土壤仅持有毛管悬着水的重量(g)。

$$P_{\text{cap}} = \frac{C_{\text{cap}} \times D}{\gamma_1} \quad (3)$$

式中: P_{cap} ——毛管孔隙度($\%$); γ_1 ——水的密度($1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$)。

2.3 土壤最大滞留贮水能力测定

土壤中水分存储分为2种类型:吸持存储(毛管孔隙中)和滞留存储(非毛管孔隙中)。土壤毛管孔隙度反应了其吸持水量为植被提供水分的能力;而非毛管孔隙度反应了土壤滞留水分发挥涵养水源和削减洪水的能力^[14]。因此通常采用的方法是土壤非毛管孔隙的持水量计算为土壤蓄水能力,它是用来评价不同土地类型土壤涵养水源及调节水分循环的一个重要指标^[15]。也可以称之为土壤最大滞留贮水能力,采用以下公式计算:

$$S = 10\gamma_2 P_{\text{non}} H \quad (4)$$

式中: S ——土壤贮水能力(t/hm^2); H ——土壤层厚度(m); γ_2 ——水的密度($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$); P_{non} ——非毛管孔隙度。

2.4 数据统计与分析

用 Excel 软件进行试验数据处理,用 OriginPro 8.5 软件进行绘图。

3 结果与分析

3.1 土壤容重

若尔盖湿地3种湿地类型间的容重差异较大(图1)。在0—100 cm 范围内,3种湿地类型土壤容重的平均值大小表现为:草本沼泽($0.46 \text{ g}/\text{cm}^3$) < 沼泽化草甸($1.08 \text{ g}/\text{cm}^3$) < 洪泛湿地($1.25 \text{ g}/\text{cm}^3$),草本沼泽土壤容重明显低于另外2种湿地。

整体上3种湿地类型土壤容重随着深度的加深呈升高趋势。草本沼泽所有样地土壤剖面各层平均容重的变化范围在 $0.38 \sim 0.55 \text{ g}/\text{cm}^3$,沼泽化草甸各层的平均容重在 $0.79 \sim 1.27 \text{ g}/\text{cm}^3$ 范围内,而洪泛湿地为 $1.15 \sim 1.34 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。草本沼泽土壤的容重最小值出现在10—20 cm 处,随着土壤深度的增加,容重略有升高,在80—100 cm 处下降;沼泽化草甸的最小值出现在表层0—5 cm 处,随后升高,在60—80 cm 处下降;洪泛湿地的最小值出现在表层0—5 cm 处,随着土壤深度的增加而升高,同样在60—80 cm 处呈

下降趋势。(注:挖土壤剖面时由于地下水渗出过多,沼泽化草甸有2个样点只挖到60 cm 深处,草本沼泽有2个样点只挖到40 cm 深处。下同。)

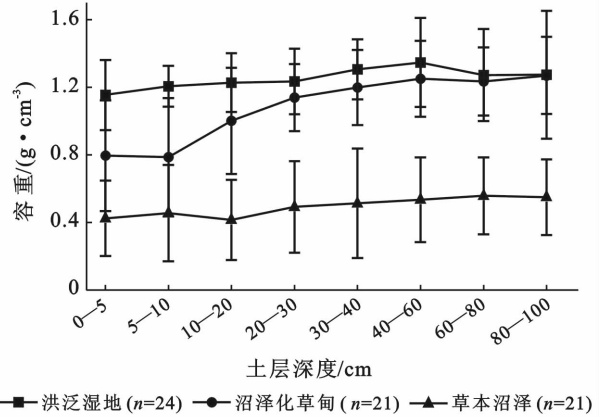


图1 3种湿地类型的土壤容重各层均值及标准差

3.2 土壤孔隙度

土壤毛管孔隙度指土壤中毛管水所占据的孔隙,毛管孔隙度的水分可以长时间保持在土壤中,主要用于植物根系吸收和土壤蒸发。土壤孔隙还影响着土壤的保水通气能力和根系穿插的难易程度,并且对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着重要的调节功能^[16]。

在0—100 cm 土层范围内,3种湿地类型的毛管孔隙度平均值分别为64.99%,48.18%和45.88%,大小表现为:草本沼泽 > 沼泽化草甸 > 洪泛湿地。由图2可以看出,草本沼泽和洪泛湿地的毛管孔隙度随深度变化不明显,可能是若尔盖湿地土壤层较厚,表层1 m 深度内毛管孔隙度较相似;而沼泽化草甸在10—20 cm 开始下降,20—30 cm 处下降明显,与土壤容重在10—20 cm 处开始增大相呼应,共同说明了沼泽化草甸表层土壤与深层的差异较大,可能是表层有草根层的积累等原因导致土壤较疏松。

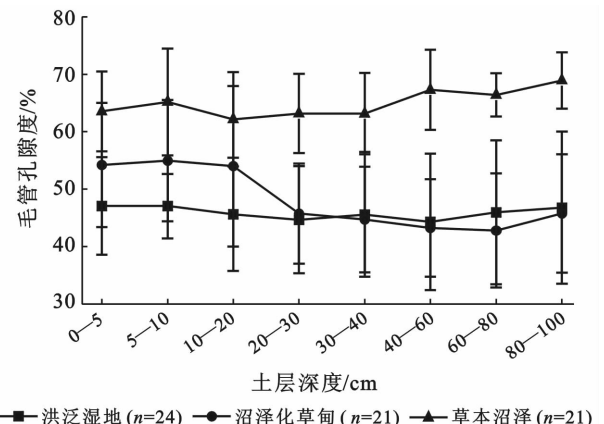


图2 3种湿地类型土壤毛管孔隙度各层均值及标准差

对 3 种湿地类型所有样地的土壤容重和毛管孔隙度做回归分析。由图 3 可以看出,洪泛湿地和沼泽化草甸的土壤容重和毛管孔隙度存在着较高的负相关性,相关系数分别是 0.84, 0.81, 而草本沼泽的仅为 0.53,这可能是由于泥炭层、未分解和已分解的植

物残体、草根层等多种因素的影响导致其土壤性质多样化。这表明,土壤越疏松,容重越小,毛管孔隙度越多,土壤持水能力和通气能力越强。而非毛管孔隙度受环境、生物、土地利用历史、成土过程等多种因素的影响,比较复杂^[17]。

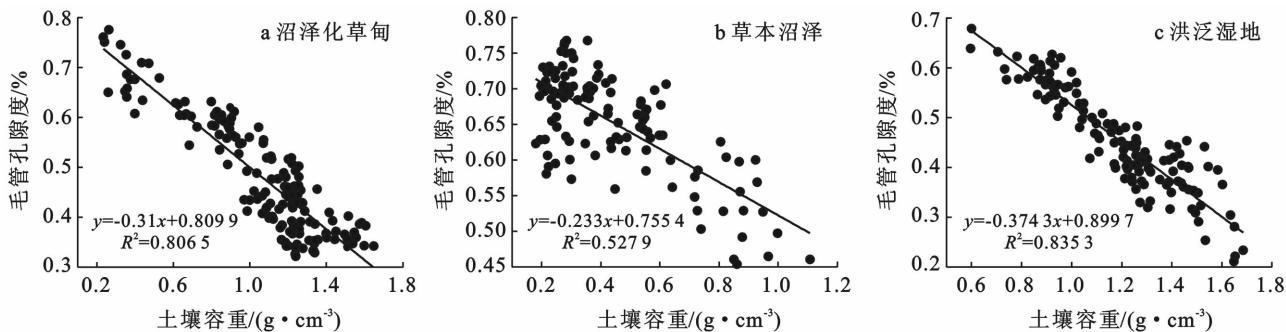


图 3 3 种湿地类型的土壤容重与毛管孔隙度的相关性分析

3.3 不同湿地类型蓄水性能

湿地土壤的最大滞留贮水能力是反应湿地水资源涵养效能和调节水分循环的重要指标,主要取决于土壤的非毛管孔隙度^[12]。

在 0—100 cm 范围内,3 种湿地类型土壤贮水能力的平均值大小表现为:草本沼泽(239.40 t/hm²)>沼泽化草甸(171.18 t/hm²)>洪泛湿地(148.51 t/hm²)。由此可见,在 3 种湿地类型中草本沼泽贮水能力最强。

由图 4 可知,不同湿地类型在不同深度的土壤贮水能力不同,在 0—60 cm 土层,随深度增加,草本沼泽、沼泽化草甸和洪泛湿地土壤的贮水能力逐渐降低。沼泽化草甸和洪泛湿地在 60—80 和 80—100 cm 处土壤贮水能力升高,这与两者的土壤容重在 60—80 和 80—100 cm 处降低的变化相呼应。

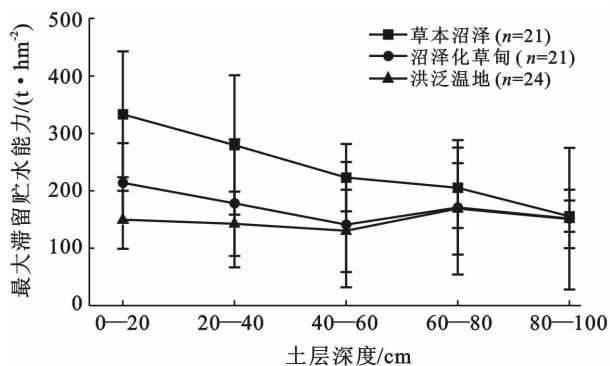


图 4 3 种湿地类型土壤蓄水能力的各层均值及标准差

在草本沼泽中,0—100 cm 土层范围内的土壤贮水能力平均值为 239.40 t/hm²,表层最高,达到了 333.29 t/hm²,明显高于其他 2 种湿地类型表层土壤的贮水能力。随着深度增加,贮水能力逐渐减小,主要是因为表层土壤中植物残体及未分解的有机质

含量较高,能够贮存大量水分,随深度增加土壤容重变小,毛管孔隙度减小,能够贮存的水分就随之减少。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究中,草本沼泽所有样地土壤剖面各层平均容重的变化范围在 0.38~0.55 g/cm³,在熊远清等^[10]对若尔盖沼泽草甸容重的计算结果 0.10~0.75 g/cm³ 范围内;若尔盖 3 种类型湿地土壤的容重范围是 0.38~1.34 g/cm³,王元峰^[12]测量的甘肃尔海泥炭湿地、沼泽湿地、高山湿地和洪泛湿地的土壤容重在 0.64~1.34 g/cm³ 范围内。本研究中湿地土壤容重的最高值与王元峰^[12]测量的相同,但最低值低于其测量结果,由此可见若尔盖草本沼泽土壤的独特性及在水源涵养方面的重要性。

若尔盖湿地 3 种湿地类型之间的容重差异较大,草本沼泽土壤容重明显低于另外 2 种湿地;在土壤贮水能力方面,草本沼泽 0—100 cm 土层范围内的平均值为 239.40 t/hm²,表层最高,达到了 333.29 t/hm²,明显高于其他 2 种湿地类型表层土壤的贮水能力。这是由于草本沼泽有泥炭或潜育层发育,土壤中含有大量未分解或未完全分解的植物残体及草根,土壤结构较疏松。而沼泽化草甸和洪泛湿地植被盖度相对较低,而且还可能与放牧、牲畜踩踏等因素有关,张艳博等^[18]研究高寒草地放牧指出放牧增加了凋落物的分解速率;而且若尔盖高原湿地作为中国 5 大牧区之一,沼泽草甸是牲畜早春放牧的主要场所,过度放牧严重,实际载畜量远远大于理论载畜量^[19],因此,放牧的影响不应小觑。另外,洪泛湿地的土壤受到周期性的河水冲刷,带走了土壤中的大量有机物质,使得土壤变得紧实,土壤容重增加。

3种湿地类型中,同种湿地各样点测量值的标准差较大,表明不同湿地采样点之间存在着较大的差异。受限于地形、夏季积水等因素,采样为随机采样法,且不同样点间距离较远。所以存在较大差异可能与土壤所处的地势、植被、地下水位等有关。

3种湿地类型的土壤容重在60—80 cm处均呈减小的趋势,相应地其蓄水能力在此处呈增大趋势(草本沼泽在此处无增大趋势,但其下降趋势明显变缓),在其他学者的相关研究中目前未发现此种现象,不过与土壤容重相关的有机碳密度出现了类似现象:高俊琴等^[20]对若尔盖高原湿地土壤有机碳含量的研究发现,泥炭土的有机碳含量在40—50 cm处升高。目前尚不清楚造成本试验现象的原因,根据当地的土壤环境推测这可能与植物残体的积累、腐殖质过渡层发育或者地下水分条件变化剧烈等因素有关。

若尔盖高寒湿地因其在全球气候变化中的枢纽作用而成为研究热点地区,作为全球海拔最高、面积最大的高原泥炭沼泽^[21],地处黄河上游重要地理位置,其变化不仅影响着黄河上游的水资源总量,而且影响着水资源的调控与平衡。但关于若尔盖湿地此方面的研究还很欠缺,接下来应将重点研究若尔盖湿地对黄河上游水资源的调控作用。

4.2 结论

(1) 同种湿地类型各样点测量值的标准差较大,表明不同湿地采样点之间存在着较大的差异。因此,在今后计算若尔盖湿地整体的蓄水能力时不能用较少的样点测量值代表一个湿地类型。

(2) 在0—100 cm深度范围内,草本沼泽和洪泛湿地的毛管孔隙度随深度变化不明显,可能是若尔盖这2种湿地类型的土壤层较厚,1 m深度内毛管孔隙度较相似;而沼泽化草甸在10—20 cm开始下降,20—30 cm处下降明显,与土壤容重在10—20 cm处开始增大相呼应,共同说明了沼泽化草甸表层土壤与深层的差异较大。因此,在沼泽化草甸区域应减少放牧等人为干扰,保护其重要的表层土壤以更好地发挥水源涵养功能。

(3) 3种湿地类型土壤最大滞留贮水能力的平均值大小表现为:草本沼泽(239.40 t/hm²)>沼泽化草甸(171.18 t/hm²)>洪泛湿地(148.51 t/hm²),草本沼泽贮水能力最强。因此,在若尔盖区域实施湿地保护与恢复措施时,应将保护区外的草本沼泽分布的区域纳入重点计划。

[参 考 文 献]

[1] 马广仁. 湿地生态系统是保障人类发展的天然基础设施

[J]. 湿地科学. 2012,10(4):385-388.

- [2] Campbell C S, Ogden M. Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification and Mapping[M]. New York: Wiley Press, 1999:1-15.
- [3] 张晓云, 吕宪国, 顾海军. 若尔盖湿地面临的威胁、保护现状及对策分析[J]. 湿地科学, 2005, 3(4):292-297.
- [4] 杨永兴. 若尔盖高原生态环境恶化与沼泽退化及其形成机制[J]. 山地学报, 1999, 17(4):318-323.
- [5] 赵魁义, 何池全. 人类活动对若尔盖高原沼泽的影响与对策[J]. 地理科学, 2000, 20(5):444-449.
- [6] 郭洁, 李国平. 若尔盖气候变化及其对湿地退化的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(2):422-428.
- [7] Guo Xuejun, Du Wei, Wang Xuan, et al. Degradation and structure change of humic acids corresponding to water decline in Zoige peatland, Qinghai-Tibet Plateau[J]. Science of the Total Environment. 2013(445):231-236.
- [8] 熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等. 若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 μ [J]. 生态学报, 2011, 31(19):5780-5788.
- [9] 万鹏, 王庆安, 李昭阳, 等. 根据土壤蓄水能力探讨若尔盖重要生态服务功能区的水源涵养功能[J]. 四川环境, 2011, 30(5):121-123.
- [10] 谢亚军, 谢永宏, 陈心胜, 等. 湿地土壤水源涵养功能研究进展[J]. 湿地科学, 2012, 10(1):109-115.
- [11] Zhang Biao, Li Wenhua, Xie Gaodi, et al. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value [J]. Ecological Economics, 2010, 69(7):1416-1426.
- [12] 王元峰. 尕斯库勒湖湿地土壤水分物理特性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2012.
- [13] 张万儒, 徐本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社, 1986.
- [14] 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6):2-5.
- [15] 刘云鹏, 张社奇, 谷洁, 等. 不同土地利用方式对陕西黄河湿地土壤水分物理性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5):2725-2728.
- [16] 杨弘, 李忠, 裴铁璠, 等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水分物理性质[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2):272-276.
- [17] 杜阿朋. 六盘山叠叠沟小流域土壤物理性质及其水文功能研究[D]. 河北保定:河北农业大学, 2006.
- [18] 张艳博, 罗鹏, 孙庚, 等. 放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(15):4605-4617.
- [19] 郑群英, 泽柏, 李华德, 等. 若尔盖沼泽草甸载畜量变化[J]. 草业与畜牧, 2009(6):14-16.
- [20] 高俊琴, 雷光春, 李丽, 等. 若尔盖高原三种湿地土壤有机碳分布特征[J]. 湿地科学, 2010, 8(4):327-330.
- [21] 焦晋川, 杨万勤, 钟信, 等. 若尔盖湿地退化原因及保护对策[J]. 四川林业科技, 2007, 28(1):99-102.