

民勤绿洲天然胡杨林生长季土壤水盐动态

曹立国, 刘普幸^①, 王洪岩, 卓玛兰草 (西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 利用经典统计学与地统计学方法研究民勤绿洲天然胡杨林生长季的土壤水盐动态变化规律。结果表明, 民勤县双茨科乡和苏武乡土壤含水量随土层深度增加而增大, 夹河乡土壤含水量则随土层深度增加先增大后减小。研究区 0~20 cm 土壤含水量较低, 为 8.5~34.0 g·kg⁻¹, 平均值为 18.2 g·kg⁻¹。土壤含水量属中等变异性, 且呈中等程度的空间相关性。各季节土壤含水量从高到低依次为春季、秋季和夏季。土壤全盐量属中等变异性, 总体变化趋势为随土层深度增加而减小, 夹河、苏武和双茨科乡 0~20 cm 土壤全盐量平均值分别为 15.4、28.0 和 11.1 g·kg⁻¹。各季节土壤全盐量由高到低依次为春季、夏季和秋季。胡杨胸径与土壤水盐含量间呈负相关。

关键词: 民勤绿洲; 胡杨; 土壤水盐; 变异系数

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2012)01-0047-07

Dynamics of Soil Water and Salt During the Growing Season of *Populus euphratica* Forest in Minqin Oasis. CAO Li-guo, LIU Pu-xing, WANG Hong-yan, ZHUOMA Lan-cao (College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Classical statistical and geostatistical methods were used to explore dynamics of soil salt and water during the growing season of natural *Populus euphratica* in Minqin Oasis. It was found that soil water content increased with soil depth in Shuangcike and Suwu, but it increased first and then decreased with soil depth in Jiahe. In the study area, the soil water content in the 0-20 cm of soil was quite low, ranging between 8.5 and 34.0 g·kg⁻¹ and being 18.2 g·kg⁻¹ on average. It fell into the category of moderate in variability and in spatial correlation as well. And it also varied from season to season, showing a decreasing order of spring, autumn, and summer. The soil salt content in the study area was also in the category of moderate in variability and generally decreased with depth. The soil total salt content in the surface soil (0-20 cm) of Jiahe, Suwu and Shuangcike was 15.4, 28.0 and 11.1 g·kg⁻¹, respectively on average. It also varied with the seasons, showing a decreasing order of spring, summer, and autumn. The diameter at breast height of a *Populus euphratica* tree was negatively related with soil salt and water contents.

Key words: Minqin Oasis; *Populus euphratica*; soil water and salt content; variation coefficient

在蒸散发量大于降水量的干旱、半干旱地区, 土壤中部分可溶性盐随着土壤水分运动而迁移, 导致盐分在土壤表层积累并形成盐渍化。国内外学者分别对不同区域、不同尺度土壤水盐的变化特征进行了探讨。KAI 等^[1]将灌木和狼尾草作为种间作物, 研究土壤水分的变化规律, 发现在生态系统脆弱的荒漠草原, 将灌木作为农作物的种间作物是可行的。RUIZ-SINOGA 等^[2]研究了地中海西班牙南部撂荒地区土壤水分变化对植被类型的影响。刘蔚等^[3]研究表明额济纳三角洲地区土壤具有质地粗、含盐量高、盐分表聚性强等特征。杨劲松等^[4]发现黄河三角洲地区土壤水盐分布表现为条带状和斑块状格局。曹帮华等^[5]研究了刺槐与不同树种混交对土壤水盐年动态变化的影响。周茅先等^[6]研究了额济纳三角洲地下水的水盐变化特征及其与植被生长的关系, 发现地下水的水盐条件制

约植被的分布、生存和演替。

近年来, 民勤绿洲荒漠化面积不断增加, 植被衰退^[7]和土壤盐渍化^[8]等问题相继出现。因此, 笔者开展对民勤绿洲天然胡杨(*Populus euphratica*) 林土壤水盐特征及其随时间变化规律的研究, 揭示土壤水盐与植被之间的关系, 旨在为民勤绿洲珍稀植被群落胡杨林的保护以及荒漠植被恢复提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

民勤绿洲位于石羊河下游, 地处腾格里沙漠西

收稿日期: 2011-07-28

基金项目: 国家自然科学基金(40961035); 甘肃省科技计划基金(0803RJZA094); 西北师范大学第 3 期科技创新工程项目

① 通信作者 E-mail: fmlpx@nwnu.edu.cn

缘,其南部为红崖山和阿古拉山,东北与巴丹吉林沙漠接壤,三面被沙漠和戈壁包围,地理位置为北纬 38°05′~39°06′,东经 103°02′~104°02′,面积约 1 000 km²。研究区气候干旱,多年平均降水量 113 mm,年均蒸发量 2 625 mm,年均气温 8.3 ℃,年均扬沙日数 59 d,年均沙尘暴日数 27 d,气候环境十分恶劣^[9],为典型的温带大陆性荒漠气候。地貌类型为平原、沙漠和低山丘陵,土壤类型包括风沙土、灰棕漠土、草甸土和草甸沼泽土,灰棕漠土和草甸土等经过长期灌溉、淋溶以及耕作、施肥等人为作用,形成了以绿洲灌漠土为主的特殊的非地带性土壤。

1.2 样地布置与土样采集

经查阅资料和实地调研后,在民勤县夹河乡、苏武乡和双茨科乡分别选择 1 个人为干扰相对较小的天然胡杨林分布区,于胡杨生长季采集 6 次(2010 年 4 月 7 日、5 月 17 日、6 月 23 日、7 月 21 日、8 月 19 日和 9 月 19 日)土样。

各胡杨林分布区均伴生有沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、刺蓬(*Salsola ruthenica*)和枸杞(*Lycium barbarum*)等耐盐碱植物以及少量毛白杨(*Populus tomentosa*)。

在各胡杨林分布区分别设置 1 个 64 m × 64 m 的标准样地,样地均处于绿洲的边缘地带,各样地下垫面状况基本相似,地形平坦,仅苏武乡地势略有起伏,且死树较多。在每个样地内设置 18 个采样点,并尽可能使样点均匀分布,相邻样点间距(树间距)约为 15 m。在距胡杨水平距离约 1 m 处进行土样采集,以避开胡杨密集根系。在各采样点取 0~120 cm 深度土样,每 20 cm 为 1 层,每次采集土样 324 个,6 次采集土样共计 1 944 个。将土样封存在铝盒内并及时带回实验室,用烘干法测定土壤含水量。在采集土样的同时,用 GPS 确定采样点位置,并记录树高、胸径、林下植被等情况(表 1)。

表 1 各样地胡杨林基本概况

Table 1 Basic situation of *Populus euphratica* woods at the sampling sites in Minqin Oasis

| 样地 | 北纬/ (°) | 东经/ (°) | 海拔/ m | 胸径/ cm | 树高/m | | 郁闭度 |
|-----|------------|------------|----------|------------|------|------|------|
| | | | | | 范围 | 平均值 | |
| 夹河 | 38°34′ | 103°53′ | 1 346 | 5.41~49.36 | 2~12 | 5.01 | 0.29 |
| 苏武 | 38°39′ | 103°09′ | 1 349 | 7.01~33.76 | 2~9 | 7.72 | 0.28 |
| 双茨科 | 38°45′ | 103°16′ | 1 365 | 5.41~46.50 | 2~15 | 5.01 | 0.65 |

1.3 数据来源与分析方法

民勤县降水数据来源于国家气象信息中心(ht-

tp://www.nmic.gov.cn/),采样期间雨量大于 2 mm 的降雨事件依次发生于 2010 年 4 月 20 日(4.3 mm)、5 月 15 日(3.4 mm)、5 月 17 日(9.5 mm)、5 月 25 日(7.1 mm)、5 月 26 日(5.2 mm)、6 月 29 日(5.2 mm)、8 月 4 日(2.0 mm)、8 月 20 日(4.3 mm)、9 月 7 日(7.6 mm)、9 月 17 日(2.4 mm)、9 月 20 日(10.7 mm)和 9 月 21 日(3.4 mm)。

采用 SPSS 13.0 软件计算土壤含水量的平均值、变异系数及标准差,采用地统计学软件 GS+ 进行变异函数分析,采用 SigmaPlot 11.0 软件绘制土壤全盐量的时空分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量的变化特征

2.1.1 空间变化特征

由图 1 可以看出,民勤绿洲天然胡杨林土壤含水量的垂直分布存在明显的分层现象。苏武和双茨科土壤含水量总体随深度增加呈持续增大趋势,且不同土层间差异明显,最大值均出现在 >100~120 cm 土层,分别为 39.8 和 44.7 g · kg⁻¹。夹河 0~60 cm 土壤含水量随深度增加呈明显增大趋势,>40~60 cm 土壤含水量最高,达 35.9 g · kg⁻¹,>60~120 cm 土壤含水量则随深度增加呈明显减小趋势。由于胡杨须根集中在 30~50 cm 土层^{[10]21-22},而夹河胡杨平均树龄较小,胡杨须根相对较少,致使 30~50 cm 土壤含水量较其余 2 个样地高。

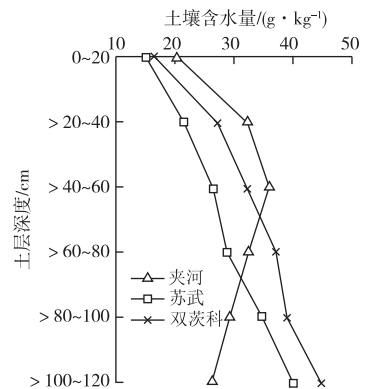


图 1 民勤绿洲天然胡杨生长季不同深度土壤含水量平均值
Fig. 1 Average soil water content in soil layers different in depth during the growing season of natural *Populus euphratica*

由图 2 可以看出,胡杨生长季 3 个样地表层(0~20 cm)土壤含水量介于 8.5~34.0 g · kg⁻¹之

间,平均值为 $18.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表层土壤含水量较低,其主要原因是日照和风力强导致土壤蒸发强度大,

以及胡杨叶面的蒸腾作用导致表层土壤的水分散失速度快。

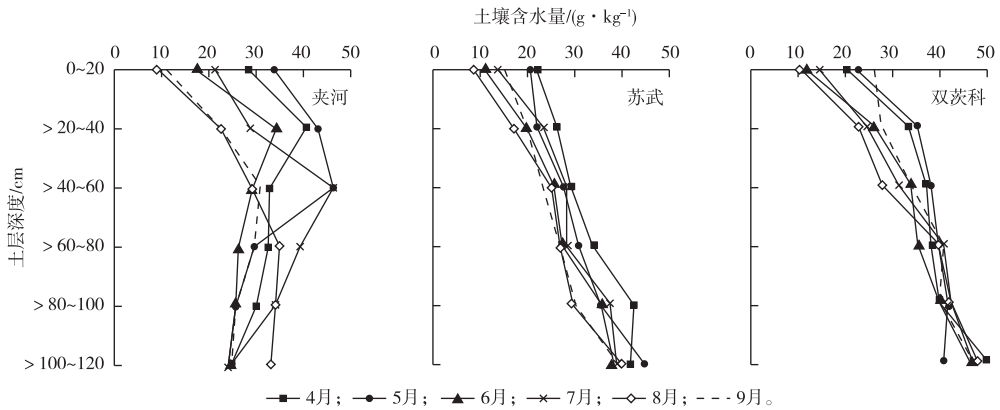


图2 民勤绿洲天然胡杨林土壤含水量垂直分布随时间的变化

Fig. 2 Temporal variation of vertical distribution of soil water content in soils under natural *Populus euphratica*

2.1.2 时间变化特征

由图2可知,胡杨生长季初期(4—5月)水分消耗相对较少,为土壤水分的积累期,研究区土壤含水量总体偏高,0~60 cm 土层尤为明显 ($19.2 \sim 47.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),变化幅度较大,这主要与气温较低、蒸发较弱、胡杨根系活动能力较弱等因素有关。在胡杨生长旺盛期(6—8月),夹河、苏武和双茨科0~40 cm 土壤含水量平均值分别为 25.8 、 11.6 和 $18.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。该时段气温高,蒸发强烈,大气降水补给又较少,累积降水量仅 15 mm ,导致研究区土壤含水量总体偏低,为土壤水分的消耗期。在胡杨生长季末期(9月),受气温降低以及胡杨蒸腾作用和根系活动能力减弱等因素的影响,土壤水分消耗较少,而大气降水补给略有增加,所以该时段为土壤水分稳定期。

研究区0~20 cm 土壤含水量变化最为剧烈,且最低值均出现在8月,夹河、苏武和双茨科土壤含水量最低值分别为 9.3 、 8.5 和 $9.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在 $>60 \sim 120 \text{ cm}$ 土层,苏武和双茨科土壤含水量总体随时间变化呈减少趋势。4月0~120 cm 土壤含水量平均值分别为 32.0 和 $35.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,8月分别为 24.0 和 $30.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别减少 25.0% 和 22.9% 。在 $>80 \sim 100 \text{ cm}$ 土层,土壤含水量趋于稳定,随时间的变化趋势不明显。总体来看,民勤绿洲天然胡杨林生长季土壤含水量由高到低依次为春季、秋季和夏季。0~120 cm 土壤含水量在 $8.5 \sim 48.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,低于瓜州^[11]和敦煌^[12]天然胡杨林的土壤含水量。

2.1.3 土壤含水量的时空变异

通常用变异系数 C_v 来反映土壤含水量在垂直空间上的变异特征。 $C_v \leq 10\%$,为弱变异性; $10\% < C_v < 100\%$,为中等变异性; $C_v \geq 100\%$,为强变异性^[13]。已有研究表明,不同深度土壤含水量的变异系数存在明显差异^[13-15]。 $K-S$ 检验表明,在 $\alpha = 0.05$ 水平下,不同深度土壤含水量均服从正态分布,可以直接进行地统计学分析。

从表2可知,除7月夹河0~20 cm 土壤含水量为强变异性外,其余时间研究区土壤含水量均属中等变异性。0~20 cm 土壤含水量的变异系数偏高,土壤含水量波动较大,主要原因是表层土壤含水量受降水和蒸发的影响较大。3个样地0~20 cm 土壤含水量的变异系数最小值均出现在8月,此时土壤含水量也最低,表明表层土壤水分的变异程度与温度、蒸发强度以及胡杨蒸腾作用等因素关系密切。4月不同深度土壤含水量的变异系数总体变化幅度较小,这与该月降水较少、温度较低且胡杨根系活动较弱等有关。双茨科土壤含水量的变异系数总体低于夹河和苏武,说明该样地土壤含水量较夹河和苏武略为稳定。

结构方差比(块金值与基台值之比)为随机部分引起的空间异质性占系统总变异的的比例,可作为研究因子空间相关性的分类依据^[16]。如果结构方差比大于 0.75 ,说明系统空间相关性较弱;如果比值在 $0.25 \sim 0.75$ 之间,说明系统具有中等空间相关性;如果比值小于 0.25 ,说明系统空间相关性很强。由表3可知,夹河、苏武和双茨科块金值与基台值的比值分别为 $46\% \sim 65\%$ 、 $49\% \sim 74\%$ 和 $37\% \sim 60\%$,

均属中等空间相关性。不同样地的基台值存在明显差别,双茨科最大,夹河最小,这主要是因为不同树龄的胡杨林对土壤水分的影响大小不同。苏武

和双茨科的块金值总体高于夹河,反映土壤水分的空间变异受气象条件、样地微地形、土壤性质、胡杨树龄以及人为因素等的综合影响。

表2 不同时间民勤绿洲天然胡杨林土壤含水量的变异系数

Table 2 Variation coefficient of soil water content in soils under natural *Populus euphratica* in different seasons

| 样地 | 土层深度/ cm | 不同时间土壤含水量的变异系数/% | | | | | |
|-----|-------------|------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
| 夹河 | 0~20 | 65.86 ± 1.90 | 87.88 ± 2.99 | 48.36 ± 0.86 | 104.69 ± 2.31 | 44.58 ± 0.40 | 57.36 ± 0.62 |
| | >20~40 | 65.99 ± 6.69 | 55.65 ± 2.41 | 53.57 ± 1.89 | 60.54 ± 1.76 | 55.64 ± 1.28 | 58.95 ± 1.35 |
| | >40~60 | 61.82 ± 2.01 | 65.19 ± 3.06 | 72.98 ± 2.12 | 53.51 ± 2.48 | 59.45 ± 3.30 | 62.84 ± 1.95 |
| | >60~80 | 78.65 ± 2.60 | 70.53 ± 3.06 | 70.51 ± 1.92 | 86.05 ± 3.44 | 64.78 ± 2.27 | 50.43 ± 1.50 |
| | >80~100 | 65.09 ± 1.70 | 74.65 ± 2.13 | 78.18 ± 2.03 | 80.47 ± 2.72 | 46.21 ± 1.56 | 66.47 ± 1.71 |
| | >100~120 | 71.46 ± 1.95 | 75.64 ± 1.82 | 65.88 ± 1.71 | 63.52 ± 1.60 | 86.59 ± 2.77 | 82.78 ± 2.07 |
| 苏武 | 0~20 | 61.37 ± 1.28 | 60.02 ± 1.20 | 73.54 ± 0.81 | 54.03 ± 0.75 | 50.73 ± 0.40 | 67.11 ± 1.00 |
| | >20~40 | 48.84 ± 1.27 | 41.63 ± 0.92 | 53.90 ± 1.08 | 43.41 ± 0.98 | 52.04 ± 0.88 | 51.50 ± 0.98 |
| | >40~60 | 47.65 ± 1.39 | 50.18 ± 1.35 | 48.68 ± 1.27 | 39.79 ± 1.10 | 47.04 ± 1.17 | 55.98 ± 1.28 |
| | >60~80 | 46.81 ± 1.55 | 54.76 ± 1.65 | 39.02 ± 1.05 | 42.93 ± 1.20 | 55.46 ± 1.59 | 40.18 ± 1.04 |
| | >80~100 | 60.05 ± 2.52 | 58.94 ± 1.96 | 87.69 ± 2.3 | 64.97 ± 2.40 | 46.25 ± 1.33 | 41.70 ± 1.26 |
| | >100~120 | 61.46 ± 2.50 | 53.11 ± 2.33 | 53.68 ± 2.05 | 50.79 ± 1.98 | 42.66 ± 1.67 | 40.78 ± 1.55 |
| 双茨科 | 0~20 | 48.47 ± 0.91 | 55.01 ± 1.15 | 46.19 ± 0.46 | 37.19 ± 0.48 | 34.82 ± 0.31 | 48.01 ± 1.18 |
| | >20~40 | 39.81 ± 1.28 | 39.92 ± 1.36 | 40.97 ± 1.02 | 35.38 ± 0.80 | 47.98 ± 1.00 | 38.15 ± 0.99 |
| | >40~60 | 42.39 ± 1.47 | 56.62 ± 1.94 | 44.72 ± 1.13 | 33.05 ± 0.99 | 51.40 ± 1.32 | 26.54 ± 0.85 |
| | >60~80 | 52.40 ± 1.82 | 47.76 ± 1.82 | 48.67 ± 1.57 | 40.38 ± 1.56 | 81.09 ± 3.07 | 21.04 ± 0.82 |
| | >80~100 | 58.61 ± 2.24 | 75.76 ± 3.04 | 49.35 ± 1.86 | 65.54 ± 2.51 | 58.83 ± 2.36 | 47.97 ± 1.89 |
| | >100~120 | 53.16 ± 2.54 | 60.29 ± 2.34 | 58.72 ± 2.24 | 44.17 ± 2.02 | 43.44 ± 1.97 | 46.71 ± 2.14 |

表3 民勤绿洲天然胡杨林土壤含水量空间变异的半方差特征参数

Table 3 Semi-variogram model and parameters of the spatial variation of soil water content in soils under natural *Populus euphratica*

| 样地 | 土层深度/cm | 模型 | 块金值 | 基台值 | 变程/m | R ² |
|-----|----------|----|------|------|-------|----------------|
| 夹河 | 0~20 | 高斯 | 0.24 | 0.48 | 20.68 | 0.77 |
| | >20~40 | 指数 | 0.22 | 0.34 | 15.24 | 0.62 |
| | >40~60 | 高斯 | 0.21 | 0.43 | 24.26 | 0.65 |
| | >60~80 | 指数 | 0.28 | 0.47 | 39.86 | 0.68 |
| | >80~100 | 球状 | 0.15 | 0.31 | 40.71 | 0.71 |
| | >100~120 | 球状 | 0.18 | 0.39 | 45.62 | 0.85 |
| 苏武 | 0~20 | 指数 | 0.32 | 0.43 | 33.85 | 0.67 |
| | >20~40 | 指数 | 0.30 | 0.41 | 20.01 | 0.61 |
| | >40~60 | 球状 | 0.31 | 0.45 | 30.95 | 0.81 |
| | >60~80 | 球状 | 0.29 | 0.48 | 35.45 | 0.72 |
| | >80~100 | 球状 | 0.23 | 0.43 | 37.98 | 0.79 |
| | >100~120 | 球状 | 0.23 | 0.47 | 45.75 | 0.78 |
| 双茨科 | 0~20 | 指数 | 0.32 | 0.53 | 19.53 | 0.59 |
| | >20~40 | 指数 | 0.23 | 0.55 | 20.11 | 0.58 |
| | >40~60 | 指数 | 0.27 | 0.64 | 27.54 | 0.61 |
| | >60~80 | 高斯 | 0.24 | 0.51 | 30.80 | 0.63 |
| | >80~100 | 球状 | 0.21 | 0.55 | 33.91 | 0.79 |
| | >100~120 | 球状 | 0.22 | 0.60 | 41.38 | 0.69 |

民勤绿洲天然胡杨生长季土壤全盐量的空间变化特征见图3。

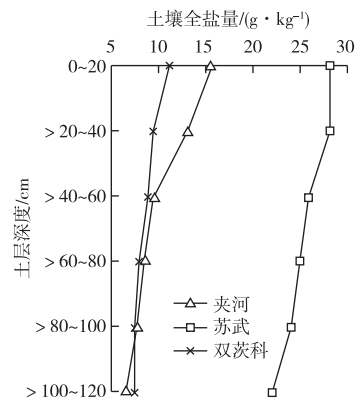


图3 民勤绿洲天然胡杨生长季不同深度土壤全盐量平均值
Fig. 3 Mean soil total salt contents in soil layers different in depth during the growing season of natural *Populus euphratica*

由图3可知,研究区土壤全盐量随深度增加总体呈减少趋势。夹河和双茨科土壤全盐量在>80~120 cm土层较为稳定,而苏武土壤全盐量在>100~120 cm土层波动略大。夹河土壤全盐量随深度增加递减幅度较大,从0~20 cm土层的15.4 g · kg⁻¹

2.2 土壤全盐量的变化特征

2.2.1 空间变化特征

到 $> 100 \sim 120$ cm 土层的 $6.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 减少 55.8%; 双茨科土壤全盐量随深度增加递减幅度最小, $0 \sim 20$ 和 $> 100 \sim 120$ cm 土壤全盐量分别为 11.1 和 $7.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。研究区土壤全盐量总体较低, 为 $5.5 \sim 34.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 但表层土壤全盐量较高, 说明土壤盐分的表聚性较强, 这主要是蒸发聚盐所致。该结论与尹传华等^[17]研究塔克拉玛干沙漠怪柳植被的土壤水盐分布时得出的结论相一致。

夹河、苏武和双茨科 $0 \sim 20$ cm 土壤全盐量平均值分别为 15.4 、 28.0 和 $11.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 苏武各土层深度全盐量均高于夹河和双茨科, 而双茨科各土层深度全盐量总体低于其余 2 个样地。天然胡杨林的郁闭度由高到低依次为双茨科、夹河和苏武, 与土壤全盐量具有很好的一致性, 双茨科土壤全盐量最低, 胡杨生长状况也最好。当土壤全盐量在 $13.3 \sim 20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 胡杨长势较好; 当全盐量超过 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 后, 胡杨生长受到抑制; 当全盐量达 $32.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 胡杨树梢枯死, 长势衰退, 林相稀疏^{[10]40-42}。在 3 个样地中, 苏武胡杨生长状况最差, 死树较多, 部分胡杨存在树梢枯死现象, 这与土壤含盐量较高有密切关系, 苏武土壤全盐量为 $19.8 \sim 34.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在一定程度上抑制了胡杨的正常生长, 甚至导致胡杨死亡。

2.2.2 时间变化特征

对土壤全盐量数据进行空间插值, 得到图 4。由图 4 可知, 在胡杨生长季, 研究区土壤全盐量总体呈先减少后增加的变化趋势。在胡杨生长季初期 ($4-5$ 月), 土壤全盐量总体偏高, $> 40 \sim 80$ cm 土壤全盐量明显高于其他月份。这主要与春季温度相对较低、蒸发强度小、生长初期胡杨根系吸收盐分的能力较弱等因素有关, 该阶段为土壤盐分的积累期。在胡杨生长旺盛期 ($6-8$ 月), 随着胡杨根系活动能力逐渐加强, 深层土壤盐分随土壤水分逐渐向上运移, 加之土壤蒸发强烈, 导致 $0 \sim 40$ cm 土壤全盐量略高, 而深层土壤盐分不断减少, 所以该阶段为盐分的消耗期。在胡杨生长季末期 (9 月), 受蒸发、降水以及胡杨蒸腾作用减弱等因素的影响, 土壤盐分相对稳定, 该阶段为土壤盐分稳定期, 而双茨科土壤全盐量略高。研究区天然胡杨林生长季的土壤全盐量由高到低依次为春季、夏季和秋季。

2.2.3 土壤全盐量的变异系数

$K-S$ 检验表明, 在 $\alpha = 0.05$ 水平下, 各深度土壤全盐量均服从正态分布, 可以直接进行地统计学分析。由表 4 可知, 研究区土壤全盐量的变异系数总体呈随深度增加而逐渐减小的变化趋势, 且属中

等变异性。夹河、苏武和双茨科不同深度土壤全盐量的变异系数分别为 $14\% \sim 77\%$ 、 $33\% \sim 96\%$ 和 $23\% \sim 98\%$ 。 $0 \sim 20$ cm 土壤全盐量的变异系数总体偏高, 说明表层土壤全盐量变化剧烈, 以苏武最为明显, 夹河次之。4 月土壤全盐量的变异系数总体偏低, 这与土壤含水量的变异系数具有很好的一致性, 表明盐分含量的变化在一定程度上受土壤含水量的影响, 体现了“盐随水来、水随气散、气散盐存”的特点。

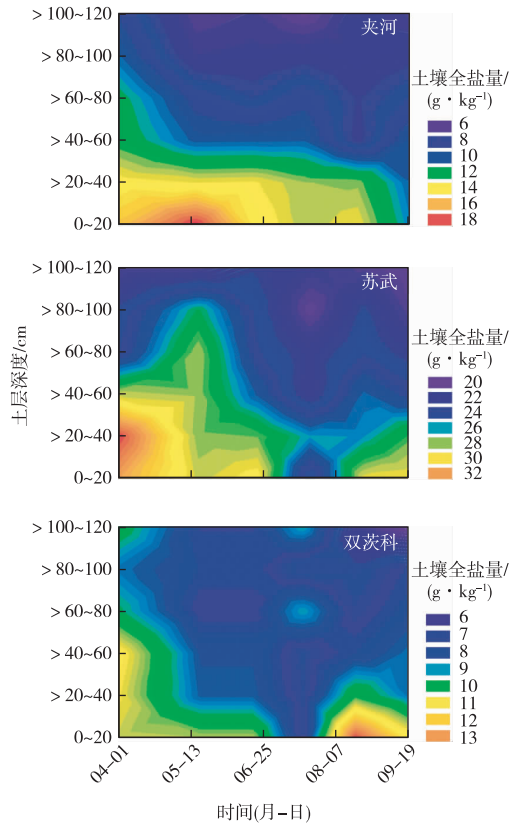


图 4 民勤绿洲天然胡杨生长季土壤全盐量的时空分布
Fig. 4 Spatio-temporal distribution of soil total salt content during the growing season of natural *Populus euphratica*

2.3 不同林龄胡杨林土壤水盐分布特征

采取样方内胡杨平均胸径 (R) 替代法按树龄划分林组群落, 即: $15 \text{ cm} \leq R \leq 30 \text{ cm}$ 为中年阶段, $30 \text{ cm} < R \leq 60 \text{ cm}$ 为成熟阶段, $60 \text{ cm} < R \leq 80 \text{ cm}$ 为老熟阶段^[18]。分别取各阶段胡杨样本 $5 \sim 7$ 个, 分析胡杨林龄与土壤水盐含量的关系 (图 5 ~ 6)。由图 5 可见, 中年阶段胡杨林土壤含水量总体高于成熟和老熟阶段, 表明胡杨胸径与土壤含水量间呈负相关。这主要是因为不同阶段胡杨林的根系发达程度不同, 老熟阶段胡杨根系吸收水分的能力比中年和成熟阶段强, 蒸腾作用强度也较大, 此外, 不同阶

段胡杨生长速率不同,导致其对水分的消耗也不同。这与豪树奇^[19]研究额济纳绿洲土壤水分状况

时得出的结论相一致。

表4 不同时间民勤绿洲天然胡杨林土壤全盐量的变异系数

Table 4 Variation coefficient of soil total salt content in soils under natural *Populus euphratica* in different seasons

| 样地 | 土层深度/ cm | 不同时间土壤全盐量的变异系数/% | | | | | |
|----------|-------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
| 夹河 | 0~20 | 53.66 ± 0.82 | 60.14 ± 0.89 | 66.47 ± 1.27 | 64.55 ± 0.83 | 57.49 ± 1.11 | 66.82 ± 0.70 |
| | >20~40 | 37.81 ± 0.52 | 51.86 ± 0.70 | 76.58 ± 1.05 | 62.20 ± 0.79 | 52.86 ± 0.83 | 47.75 ± 0.48 |
| | >40~60 | 34.56 ± 0.41 | 48.63 ± 0.48 | 35.57 ± 0.35 | 60.97 ± 0.60 | 47.01 ± 0.34 | 34.16 ± 0.34 |
| | >60~80 | 38.43 ± 0.43 | 42.36 ± 0.37 | 35.88 ± 0.28 | 54.86 ± 0.49 | 45.89 ± 0.35 | 37.91 ± 0.38 |
| | >80~100 | 37.13 ± 0.37 | 33.48 ± 0.22 | 44.37 ± 0.30 | 43.57 ± 0.31 | 42.65 ± 0.29 | 37.46 ± 0.37 |
| | >100~120 | 14.47 ± 0.12 | 51.66 ± 0.31 | 34.49 ± 0.23 | 62.27 ± 0.34 | 43.77 ± 0.30 | 40.39 ± 0.40 |
| | 苏武 | 0~20 | 72.81 ± 2.24 | 76.09 ± 2.14 | 96.09 ± 2.80 | 67.79 ± 1.98 | 87.40 ± 2.49 |
| >20~40 | | 68.12 ± 2.32 | 65.74 ± 1.83 | 78.87 ± 2.76 | 57.06 ± 1.57 | 78.64 ± 2.02 | 60.73 ± 1.68 |
| >40~60 | | 51.80 ± 1.67 | 53.67 ± 1.50 | 70.40 ± 2.47 | 59.91 ± 1.48 | 71.66 ± 1.79 | 52.18 ± 1.22 |
| >60~80 | | 51.77 ± 1.61 | 58.87 ± 1.65 | 61.77 ± 2.33 | 56.85 ± 1.32 | 65.93 ± 1.52 | 63.98 ± 1.39 |
| >80~100 | | 55.51 ± 1.75 | 57.95 ± 1.53 | 50.41 ± 2.29 | 52.67 ± 1.21 | 63.86 ± 1.44 | 61.53 ± 1.25 |
| >100~120 | | 52.83 ± 1.48 | 51.48 ± 1.05 | 48.97 ± 2.22 | 33.36 ± 0.73 | 49.51 ± 1.03 | 47.95 ± 0.95 |
| 双茨科 | | 0~20 | 32.53 ± 0.34 | 46.89 ± 0.49 | 98.03 ± 1.30 | 50.19 ± 0.36 | 68.57 ± 0.96 |
| | >20~40 | 34.37 ± 0.37 | 43.56 ± 0.36 | 90.86 ± 1.15 | 30.86 ± 0.33 | 35.51 ± 0.35 | 30.88 ± 0.30 |
| | >40~60 | 32.92 ± 0.37 | 40.36 ± 0.32 | 85.93 ± 0.80 | 29.46 ± 0.20 | 38.49 ± 0.29 | 37.47 ± 0.28 |
| | >60~80 | 33.78 ± 0.32 | 34.57 ± 0.25 | 59.76 ± 0.48 | 33.93 ± 0.30 | 31.79 ± 0.23 | 22.65 ± 0.17 |
| | >80~100 | 23.69 ± 0.20 | 31.06 ± 0.24 | 51.83 ± 0.40 | 27.85 ± 0.19 | 33.48 ± 0.22 | 30.35 ± 0.20 |
| | >100~120 | 22.52 ± 0.22 | 44.32 ± 0.33 | 43.53 ± 0.34 | 27.82 ± 0.26 | 30.84 ± 0.18 | 24.75 ± 0.15 |

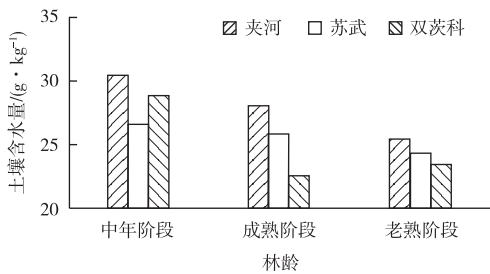


图5 胡杨林龄与土壤含水量的关系

Fig. 5 Relationship between soil water content and age of *Populus euphratica* woods

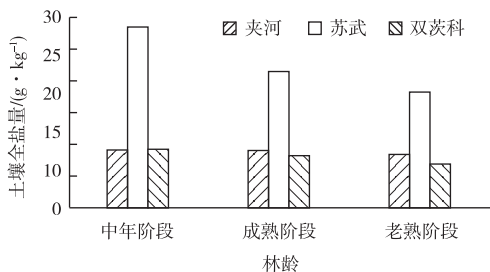


图6 胡杨林龄与土壤全盐量的关系

Fig. 6 Relationship between soil salt content and age of *Populus euphratica* woods

高到低依次为中年阶段、成熟阶段和老熟阶段,表明胡杨胸径与土壤全盐量间也呈负相关。其主要原因也在于不同林龄胡杨林的根系发达程度不同,老熟阶段胡杨根系吸收水分的能力和蒸腾作用较强,而且在胡杨个体发育过程中,需要从土壤中吸收大量的可溶性盐类^{[10]22-24}。

3 结论

(1)民勤绿洲天然胡杨林表层(0~20 cm)土壤含水量较低,为8.5~34.0 g · kg⁻¹,双茨科和苏武土壤含水量随深度增加而增大,夹河土壤含水量随深度增加先增大后减小。在胡杨生长季,不同季节土壤含水量由高到低依次为春季、秋季和夏季。

(2)天然胡杨林土壤全盐量总体呈随深度增加而减小的变化趋势,夹河表现最明显。表层土壤全盐量总体较高,积盐作用明显,夹河、苏武和双茨科0~20 cm土壤全盐量平均值分别为15.4、28.0和11.1 g · kg⁻¹。在胡杨生长季,不同季节土壤全盐量由高到低依次为春季、夏季和秋季。

(3)总体来看,研究区土壤含水量属中等变异性,且0~20 cm土壤含水量变异系数最高。土壤全盐量属中等变异性,变异系数随深度增加总体呈逐渐减小的变化趋势。

由图6可见,不同林龄胡杨林下土壤全盐量由

(4)不同龄级胡杨林土壤水盐含量存在明显差异,土壤水盐含量由高到低依次为中年阶段、成熟阶段和老熟阶段,胡杨胸径与土壤水盐含量间呈负相关关系。

致谢:感谢研究生安建科、张平、赵敏丽、朱晓娟及本科生王作栋、杨泉、王允、苏有才在野外采样和试验过程中给予的帮助。

参考文献:

- [1] KAI S, KARL-HEINZ F, JANET H, *et al.* A Novel Approach in Model-Based Mapping of Soil Water Conditions at Forest Sites[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(10): 2163–2174.
- [2] RUIZ-SINOGA J D, MARTINEZ-MURILLO J F, GABARRON-GALEOTE M A, *et al.* The Effects of Soil Moisture Variability on the Vegetation Pattern in Mediterranean Abandoned Fields (Southern Spain)[J]. *Catena*, 2011, 85(1): 1–11.
- [3] 刘蔚, 王涛, 苏永红, 等. 黑河下游土壤和地下水盐分特征分析[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(6): 890–898.
- [4] 杨劲松, 姚荣江. 黄河三角洲地区土壤水盐空间变异特征研究[J]. *地理科学*, 2007, 27(3): 348–353.
- [5] 曹帮华, 吴丽云, 宋爱云, 等. 滨海盐碱地刺槐(*Robinia pseudo-acacia*)混交林土壤水盐动态[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 939–945.
- [6] 周茅先, 肖洪浪, 罗芳, 等. 额济纳三角洲地下水水盐特征与植被生长的相关研究[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 43–436.
- [7] 孙涛, 王继和, 刘虎俊, 等. 民勤绿洲生态环境现状及恢复对策

- [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(7): 245–251.
- [8] 柴成武, 蒋志荣, 徐先英, 等. 民勤县荒漠绿洲过渡带土地荒漠化类型判定[J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(6): 12–16.
- [9] 刘普幸. 近54年民勤绿洲气候变化趋势与周期特征[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(4): 471–476.
- [10] 王世绩. 胡杨林[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [11] 霍华丽, 刘普幸, 张克新, 等. 瓜州绿洲胡杨林下土壤水分空间特征研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(2): 151–155.
- [12] 张克新, 刘普幸, 霍华丽, 等. 河西走廊敦煌绿洲天然胡杨林土壤水分空间变化特征研究[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 109–113.
- [13] 宁茂岐, 刘洪斌, 王伟. 两种取样尺度下土壤重金属空间变异特征研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(3): 86–91.
- [14] 陈亮, 马金辉, 冯兆东, 等. 基于GIS和统计的民勤绿洲地下水位模拟[J]. *兰州大学学报*, 2009, 45(16): 21–27.
- [15] 刘苑秋, 郭圣茂, 王红胜, 等. 退化石灰岩红壤区四种人工林旱季土壤水分的空间变异[J]. *土壤学报*, 2010, 47(2): 229–231.
- [16] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征: 半变异函数[J]. *地理学报*, 2000, 55(4): 428–438. 211–216.
- [17] 尹传华, 冯固, 田长彦, 等. 塔克拉玛干沙漠边缘怪柳对土壤水盐分布的影响[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(5): 670–675.
- [18] 魏庆营. 胡杨[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 25–73.
- [19] 豪树奇. 额济纳绿洲土壤水分状况的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005: 7–17.

作者简介:曹立国(1986—),男,吉林白山人,硕士生,主要研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail: caoli-guo19860413@126.com

《太湖蓝藻监测处理与湖泛成因》简介

20世纪80年代以来,由于流域经济高速发展和水环境保护工作相对滞后,太湖水质恶化与湖泊富营养化问题日益突出,蓝藻水华事件频发。特别是2007年无锡市贡湖水源地蓝藻堆积死亡形成黑水团事件,导致无锡市自来水恶臭,引发了震惊中外的无锡供水危机,严重影响了城市供水安全。

富营养化湖泊治理是一项世界性的难题,国内外尚没有成熟的经验可供借鉴。该书从太湖蓝藻治理入手,系统总结了无锡供水危机以来江苏省在太湖蓝藻治理方面所采取的一系列措施、手段和最新的科研成果,阐述了“立体监测、机械化打捞、工厂化处理、资源化利用”的成套关键技术,对其他类似湖泊的治理具有示范和借鉴作用,对水资源、水环境领域的师生、研究人员及从事湖泊研究与管理的专业技术人员具有很好的参考价值。

该书由陆桂华、张建华等著,科学出版社出版。全书共8章,30万字。第1章介绍太湖流域概况、蓝藻特点及其危害;第2章重点介绍蓝藻治理的总体思路,阐述蓝藻治理组织体系、技术框架和实施方案;第3章介绍太湖蓝藻监测方法和技术,重点介绍遥感监测与湖体监测相结合的立体监测网络、监测方法及其结果分析;第4章介绍蓝藻打捞船的研制过程、技术特点和应用效果;第5章介绍藻水分离技术,系统讨论藻水分离技术特点、工艺流程及其应用效果;第6章以蓝藻资源化利用、无害化处理为重点,介绍藻泥生产有机肥、制作沼气的技术及其实施效果;第7章介绍湖泛成因及其敏感监测指标;第8章介绍太湖水环境改善的成效,总结蓝藻监测预警、打捞处理一体化技术及湖泛成因等方面的研究和应用成果。