

基于 WET 的红寺堡灌区土壤盐渍化分布特征研究

方媛^{1,2}, 张汉婷¹, 刘睿¹

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 宁夏国土资源调查监测院, 宁夏 银川 750001)

摘要: 宁夏中北部黄河灌区的土壤盐渍化问题已经成为影响宁夏农业生产的重要问题之一, 红寺堡灌区是宁夏扶贫扬黄灌溉工程重点开发的新灌区, 土壤盐渍化问题尤为严重, 急需治理改良。本文分析了潜水位埋深、地质、水文地质条件等与土壤盐渍化的关系; 同时, 在宁夏首次应用 WET 土壤水分温度电导率速测仪(以下简称 WET)测试了灌区土壤的电导率等参数, 对土壤盐渍化进行了评价。结果表明: 在红寺堡灌区, 潜水埋深自北向南逐渐增大, TDS 浓度自北向南逐渐减小, 全盐量的变化也是由北向南逐渐减小。地下水位埋深浅, 地下水 TDS 值高的区域土壤盐渍化严重。在红寺堡镇、海子塘、甜水河脑及上游地段土壤全盐量达到了区内最大值, 这些地区土壤盐渍化严重, 其中甜水河脑及上游地段属于重盐渍化区。

关键词: WET; 土壤电导率; 全盐量; 盐渍化; 盐渍化分布特征; 红寺堡灌区

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0001-06

Study on distribution characteristics of soil salinization in Hongsibu irrigation area based on WET

FANG Yuan^{1,2}, ZHANG Hanting¹, LIU Rui¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Ningxia Survey and Monitor Institute of Land and Resources, Yinchuan 750001, China)

Abstract: Soil salinization has become one of the most serious problems that affect the development of agricultural production in Yellow River irrigation areas of the central north Ningxia. As a key development of new irrigated area in irrigation project of Ningxia Hui Autonomous Region, soil salinization problem in Hongsibu has become an important issue that need for urgent improvement. The paper correctly analyzed the relationship of soil salinization with groundwater depth, geology and hydrology. Meanwhile, the WET soil moisture meter (hereinafter referred to as WET) was first applied to test ECp(pore water conductivity) in Hongsibu irrigated area, and evaluate soil salinization distributing characteristics. The results show that in Hongsibu, groundwater depth gradually becomes deeper from north to south, TDS concentration gradually decrease from north to south, and the salinity gradually reduces from north to south. Soil salinization is much more serious in lower groundwater depth and high TDS areas. This theory can be verified in Hongsibu Town, Haizi tang and the source and upper reaches of Tianshui River, where the salinity reaches the maximum and soil salinization is serious, and the source and upper reaches of Tianshui River belongs to heavily salinized area.

Key words: WET; ECp(pore water conductivity); salinity; soil salinization; distribution characteristic of soil salinization; Hongsibu irrigation area

宁夏回族自治区位于我国西北地区, 地处中温带干旱半干旱区, 降水稀少, 蒸发强烈, 区内具有两千多年的农业灌溉和生产历史^[1]。红寺堡灌区是宁夏扶贫扬黄灌溉工程重点开发的新灌区, 计划开发灌溉面积 400 km², 目前已开发面积 100 km², 区内最常见的灾害是干旱, 由于干旱少雨和蒸发强烈,

致使土壤淋溶作用弱, 十分有利于盐分的累积, 自 1998 年种植开发以来, 由于部分土壤母质含盐量较高, 土体中存在着不透水层, 以及独特的地貌、地质条件, 特别是没有限制的大水漫灌行为, 导致大部分地区已出现土壤次生盐渍化^[2]。1999 年部分地区出现土壤盐渍化迹象, 到 2002 年土壤盐渍化现象日

收稿日期: 2013-01-08; 修回日期: 2013-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41172212)

作者简介: 方媛(1987-), 女, 宁夏银川人, 博士研究生, 主要从事水土资源合理开发利用的研究。

益突出,截止 2007 年土壤盐渍化面积已蔓延达到 1.5 万亩,平均每年以 2000 余亩的速度不断扩大,盐渍化面积及其危害在不断地扩大、蔓延,已成为影响红寺堡灌区农业生产的重大问题之一,严重地制约着该区生态环境和农业的可持续发展^[3]。

本研究在宁夏首次应用了 WET 土壤水分温度电导率速测仪(以下简称 WET)测试了红寺堡灌区土壤的电导率等参数,对土壤盐渍化进行了评价,研究了土壤盐渍化的空间分布格局,为该区盐渍土的治理改良提供科学依据,对水土资源可持续利用具有十分重要的现实意义,并且探讨基于 WET 的土壤盐渍化研究方法的可靠性和准确性,为土壤盐渍化的研究提供新的技术手段。

1 WET 土壤水分温度电导率速测仪的工作原理

土壤电导率这一参数包含着丰富的信息,它能够反映土壤品质和物理性质,也是反映土壤电化学性质和肥力特性的基础参数。WET 土壤水分温度电导率速测仪由英国 delta-t 公司生产,主要由探测设备(WET 传感器)和读取设备(HH2)两部分组成,如图 1 所示,在土壤学及园艺学等领域 WET 被广泛应用。



图 1 WET 土壤水分温度电导率速测仪照片

WET 传感器可直接测量介电常数 $E(\epsilon)$ (permittivity), 土壤整体的电导率或导电性 EC_b (bulk electrical conductivity) 和温度 (temperature)。其中土壤整体的电导率或导电性,是孔隙水电导率、土壤颗粒电导率、土壤水分和土壤成分总体作用的结果。通过对这些数据的测量,结合土壤校正表可以推导出其它参数,如土壤体积含水率 (volumetric soil moisture) 和土壤孔隙水电导率 EC_p (pore water conductivity) 等,其中土壤孔隙水电导率与土壤孔隙水中不同离子的浓度和温度有关。

该仪器的工作原理是将 WET 探头插入土壤,由 WET 探头中间的一个探针向土壤发送 20 Hz 的电磁波,由于土壤中的水分、电导率和各种化合物改变

了 WET 发出的电磁波,WET 探针再将改变的信号传送至 HH2,通过校正 HH2 获得并读取各种数据(土壤水分、电导率、温度)。测量出的土壤水分含量的精确性取决于土壤的标定类型与所测土壤的类型及差异性。土壤孔隙电导率的精确性取决于土壤类型、盐分、水分含量以及探针插入程度。

在土壤体系中,土壤粘粒带有负电荷,并且吸附一定数量的反号离子,所以可把土壤看成一种多孔聚合的电解质,土壤体系处于外加电场的作用中时,也会像电解质溶液一样发生导电现象,土壤体系的导电性能主要取决于土壤中带电质点的数量,同时也受到土壤含水量的影响,而带电质点的数量直接取决于土壤的全盐量^[4]。研究表明,盐对土壤电导率的影响比土壤含水率对土壤电导率的影响显著得多,由于实际上低含盐农田土壤电导率一般小于 1 ms/cm,按美国农业部标准规定当土壤电导率大于 4 ms/cm 时即为高含盐土壤,所以从实验结果看,在忽略含水率影响的情况下通过测量土壤电导率估计土壤盐分的做法是能够接受的。

对于农业土壤中最常见的壤土,当土壤含水率在 15% ~ 30% 之间变化时,土壤电导率的变化最为显著且近似呈线性关系,当土壤含水率超过 30% 以后,它的影响明显减小,这是因为土壤含水率已接近饱和和限度的缘故^[5]。作为影响电导率的两个最主要因素,相比之下,土壤盐分的影响远大于土壤含水率的影响,因此,在忽略土壤含水率影响因素的前提下,通过测量土壤电导率来估计土壤盐分的做法具现实指导意义。

2 基于水文地质条件的红寺堡灌区土壤盐渍化研究

2.1 红寺堡灌区概况

2.1.1 地形地貌与气象特征 红寺堡灌区位于宁夏中部,地处大罗山西麓,属同心县管辖,介于东经 105°59'22" ~ 106°21'56" 北纬 37°20'31" ~ 37°32'11" 之间。该灌区处于宁夏干旱荒漠区,主要区域为大罗山、牛首山和烟筒山之间的盆地和甜水河与苦水河所形成的冲积平原,海拔为 1 240 ~ 1 450 m,土地总面积约为 0.92 万 km²。红寺堡灌区为典型大陆性气候区,属于半干旱荒漠草原气候,太阳辐射强烈,日照充足,热量丰富。区内年平均气温为 10.33℃;干旱少雨,多年平均降雨量 190.45 mm,且降水量在一年中分布不均匀,7、8、9 三个月降水量占全年降水量的约 60%;蒸发强烈,年平均蒸发量

为 1 811.07 mm,多年平均降雨量 190.45 mm,平均径流深 4.5 mm,降雨形成的地表径流约 475 万 m³,而且多集中在汛期,以洪水出现^[6]。

2.1.2 水文与水文地质条件 红寺堡灌区内发育有甜水河、苦水河及红柳沟三条河流,地表水总体特征是水质差、水量少,利用价值不高。区内地下水根据赋存条件及水力特征,可分为第四系松散岩类孔隙潜水、第三系碎屑岩类孔隙承压水及奥陶系基岩裂隙潜水三种类型。第四系潜水沿海子塘引水渠,向南东到沙井乡一村、四村,为地下水分水岭,见图 2。潜水主要接受田间灌溉水的入渗补给、河流、渠系渗漏补给、降雨入渗补给以及来自大罗山的洪水入渗补给。这些入渗水和周边山区的侧向径流,在第三系等相对隔水岩层的顶面,沿地形倾斜方向,自高而低运移、汇集,在汇水条件好的部位,形成含水层,并继续做水平运动,一部分在水位埋藏浅的地段消耗于潜水蒸发,一部分排入当地的河床、沟谷、洼地,转化为地表水,还有一部分消耗于人工开采,其余部分则继续下渗,补给第三系等古老岩层中的深层地下水。

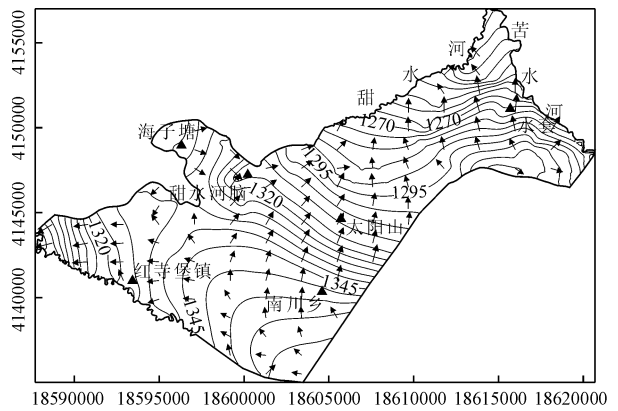


图 2 红寺堡灌区地下水流场图

2.2 地下水均衡结果分析

通过地下水均衡计算,可得红寺堡灌区地下水均衡计算结果如表 1 所示。由表 1 可见,均衡期内红寺堡灌区的地下水补给总量为 0.6209 亿 m³,总的排泄量为 0.5975 亿 m³,均衡差为 0.0234 亿 m³,相对均衡差为 3.77%,处于正均衡。其中渠系渗漏与农灌水入渗是该区地下水的主要补给源,补给量占到总补给量的 51.64%,其次为降水入渗补给、河流渗漏补给以及边界径流补给,依次占总补给量的 16.40%、15.145% 和 12.93%。洪水散失补给量最小,只占 2.65%;排泄项中向河流的排泄是地下水的主要排泄项,占总排泄量的 57.99%。潜水蒸发

和人工开采排泄相差不大,分别占总排泄量的 20.23% 和 21.77%。

表 1 红寺堡灌区水均衡计算成果表 亿 m³, %

均衡要素	补给量	比例	均衡要素	排泄量	比例
渠系渗漏	0.2109	33.97	潜水蒸发	0.1209	20.23
农灌入渗	0.1118	18.01	河流侧排	0.3465	57.99
河流渗漏	0.0958	15.43	人工开采	0.1301	21.77
降水入渗	0.1038	16.72			
边界径流	0.0818	13.17			
洪水散失	0.0168	2.70			
总补给量	0.6209	100	总排泄量	0.5975	100
均衡差				0.0234	
相对均衡差				3.7700	

2.3 水化学特征分析

本次研究在红寺堡灌区共取 15 个水样点,取样点分布如图 3 所示,表 2 归纳了该区地下水化学成分的基本特征,从表中可以看出,潜水的 pH 在 7.95~8.49 之间变化,属偏碱性水。各种离子浓度及水化学指标变化范围较大,如 TDS 最大值达到了 4.59 g/L,最小值仅为 0.57 g/L。

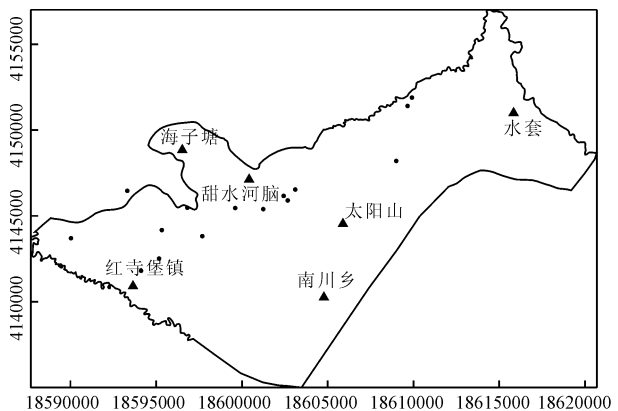


图 3 红寺堡灌区水样取样点分布图

表 2 红寺堡灌区潜水主要水质指标的统计结果

组分	最大值	最小值	平均值
pH	8.49	7.95	8.17
K ⁺	15.00	3.00	6.50
Na ⁺	1348.00	93.00	469.61
Ca ²⁺	90.24	11.52	47.04
Mg ²⁺	291.00	16.30	103.02
Cl ⁻	876.81	165.70	357.97
SO ₄ ²⁻	2059.36	65.89	628.18
HCO ₃ ⁻	1514.69	150.84	439.95
TDS	4585.57	571.75	1861.42
硬度	1143.72	83.45	450.16

为了提高插值精度,在取样点周边基本沿埋深等值线做了一条人工边界,取样点基本位于埋深浅的地段,取样点周边潜水 TDS 分区图见图 4。从图中可以看出,红寺堡灌区的 TDS 总的变化趋势为自中部向东西两侧有增大的趋势。山前洪积倾斜平原区 TDS 小于 1 g/L。区域中部主要为 TDS 小于 1 g/L 的淡水,洪沟、甜水河及苦水河附近的地下水为 TDS 大于 3 g/L 的咸水,其它地方地下水为 TDS 介于 1~2 g/L 之间的微咸水。

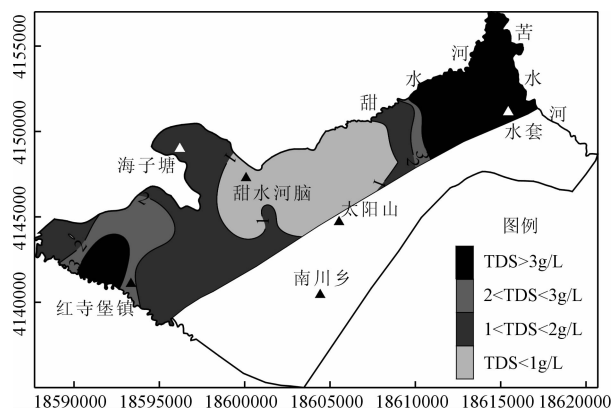


图 4 红寺堡灌区潜水 TDS 分布图

图 5 针对 TDS < 1 g/L、1 g/L < TDS < 3 g/L 和 TDS > 3 g/L 三种情况分别绘制了红寺堡灌区潜水的 Piper 图。由图可见,当 TDS 小于 1 g/L 时(图 5 a),在阴离子三角图中,水样点落在三角形的左下部,表明硫酸根贫乏;在阳离子三角图中,水样点大部分落在三角形的右下部,表明钙离子缺乏。结合菱形图中水样点的分布可知,淡水区域内水化学类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 型水为主。

当 TDS 大于 1 g/L 小于 3 g/L 时(图 5 b),在阴离子三角图中,大部分水样点落在三角形的中部偏氯离子的方向,与图 a 相比,水样点向硫酸根和氯离子方向偏移,重碳酸根的含量明显减少;在阳离子三角图中,水样点也有向镁离子偏移的趋势,钠离子含量明显减少。水化学类型以 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca}$ 为主。

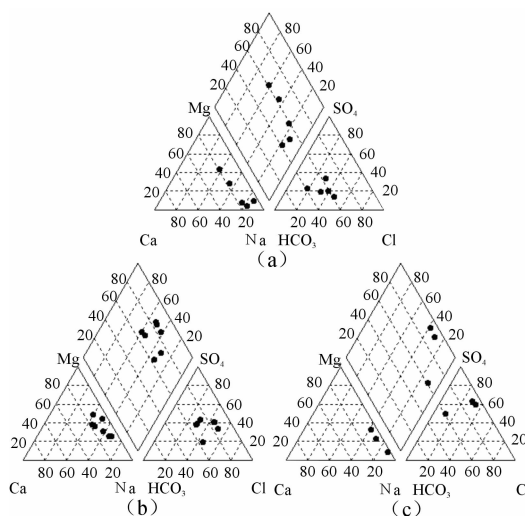
当 TDS 大于 3 g/L 时(图 5 c),在阳离子三角图中水样点主要集中在钠离子一角;在阴离子三角图中,水样点主要集中在硫酸根一角,水化学类型以 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水为主。

3 基于 WET 的红寺堡灌区土壤盐渍化研究

3.1 潜水埋深特征分析

结合前人钻孔资料以及本次野外实测水位埋深

数据,采用克里格插值绘制了地下水位埋深等值线图,如图 6 所示。由图可知,甜水河脑及上游地段、红寺堡、海子塘以及苦水河近河地带,地下水位埋深最浅,水位埋深小于 5 m,向南随地势增高,在甜水河下游南岸地区地下水由北东转为向北径流,地下水位逐渐加深。大罗山东麓倾斜平原的中上部,地下水位埋深大于 50 m,甚至超过 100 m。结合上一节对研究区的补、径、排条件的分析,对比研究区地下水径流方向图(见图 2),沿海子塘引水渠,向南东到沙井乡一村、四村,为地下水分水岭,地下水沿地形倾斜方向,自高而低运移、汇集,在汇水条件好的部位,即海子塘、苦水河区域。一部分在水位埋藏浅的地段消耗于潜水蒸发,一部分排入当地的河床、沟谷、洼地,转化为地表水,这也是地下水位埋深逐渐变浅的原因之一。



(a) TDS < 1 g/L; (b) 1 g/L < TDS < 3 g/L; (c) TDS > 3 g/L

图 5 红寺堡灌区潜水 Piper 图

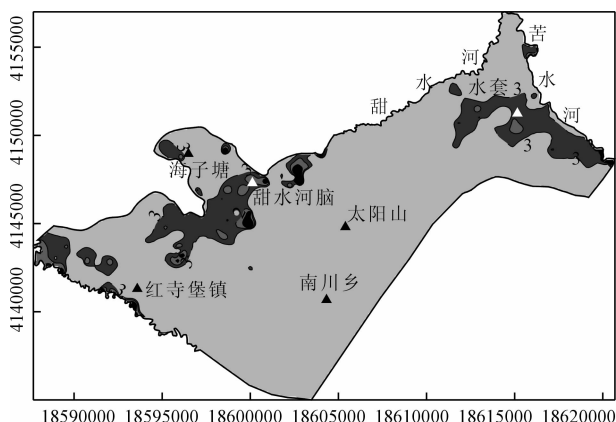


图 6 红寺堡灌区潜水位埋深等值线图(单位:m)

3.2 基于土壤电导率测试的土壤全盐量分析

为了解宁夏红寺堡灌区的自然条件、土壤性状等特征,对红寺堡灌区进行调查,时间为 2010 年 7

月 23 日 -2010 年 7 月 27 日。

采样前对研究区进行实地调研,参考土壤类型、土地利用类型、农作物种类、行政区划等要素,布设采样点与土壤测试点。最后将所有测试点和采样点在图件上标识出来,作为野外采样的工作底图。依据土壤采样方法,结合野外采样工作底图,用 GPS 定位,将采样点位坐标输入到 GPS 中,在各采样单元采样时,依据“随机”、“等量”和“多点混合”的原则。在每个采样单元,以 1 km 为半径,按梅花法选取 5 个点进行测试或采样,测试点和采样点尽量分布均匀。

本次研究采用 WET 在红寺堡灌区选取 267 个测试点进行野外土壤含水率和电导率测试,测试点分布如图 7 所示。并采取 42 组土样,进行土壤全盐量分析,土壤测试结果与土样分析结果见表 3。通过对数据的整理与分析发现所测土壤含水量均大于 15%,可以忽略土壤含水率影响因素,且土壤 pH 值与土壤温度的高低对土壤电导率并没有明显的影响。将 42 组土样全盐量数据与对应土壤电导率值进行线性拟合(图 8),可以看出电导率与全盐量线性关系较好,线性方程为 $y = 3.621x + 1069.774$,相关系数达 0.8448。根据电导率与全盐量的对应关系,将研究区测试点电导率转化为全盐量,以便进行分析。

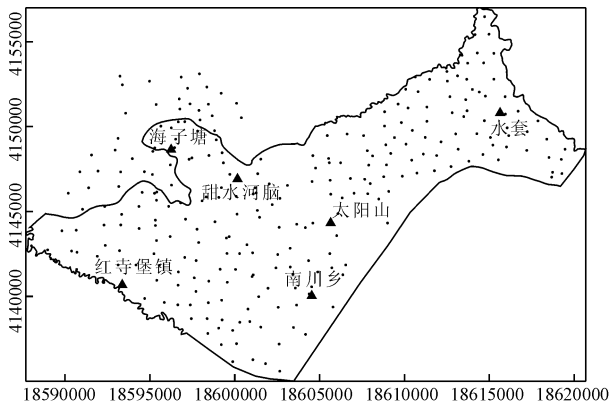


图 7 红寺堡土壤测试点分布图

根据我国及有关区域盐碱土分级标准中宁夏引黄灌区土壤盐渍化分级标准(见表 4)以及测试点的全盐量值,应用 Surfer 软件采用克里格插值绘制红寺堡灌区的土壤全盐量等值线图如图 9 所示。从图中可以看出,红寺堡镇、海子塘、甜水河脑以及甜水河下游南岸,土壤全盐量比较高,一般为 0.1% ~ 0.3%,部分地段达到 0.3% ~ 0.6%,局部地段大于 0.6%,如甜水河脑,全盐量达到最大值 0.87%,属

于重盐渍化区。而其它广大地区,土壤全盐量均比较低,一般小于 0.1%,最低仅 0.028%。

表 3 土壤测试结果与土样分析结果 % ; ms/m, mg/kg

测试点编号	含水率	电导率	土样编号	pH 值	全盐量
HL1 - 26	36.6	483	HLS1 - 1	8.91	2607.56
HL1 - 84	39.0	795	HLS1 - 2	8.61	4038.54
HL1 - 90	20.5	181	HLS1 - 3	8.63	1313.57
HL1 - 115	26.9	397	HLS1 - 4	8.79	4680.63
HL1 - 117	34.2	168	HLS1 - 5	8.92	2381.18
HL2 - 16	35.2	359	HLS2 - 1	9.02	3748.10
HL2 - 26	34.8	422	HLS2 - 2	9.01	1443.23
HL2 - 45	32.9	621	HLS2 - 3	8.45	12908.10
HL2 - 70	29.9	204	HLS2 - 4	8.47	1088.11
HL2 - 71	35.8	917	HLS2 - 5	8.98	3011.01
HN1 - 11	15.7	5650	HNS1 - 1	8.47	7550.13
HN1 - 33	30.3	1293	HNS1 - 2	8.62	4620.14
HN1 - 48	37.7	249	HNS1 - 3	8.92	2252.91
HN1 - 53	35.2	356	HNS1 - 4	8.98	2398.46
HN2 - 4	46.0	729	HNS2 - 1	9.06	1466.61
HN2 - 25	44.3	243	HNS2 - 2	8.67	2515.88
HN2 - 26	32.0	473	HNS2 - 3	8.52	5189.17
HN2 - 33	26.6	1865	HNS2 - 4	8.58	11241.18
HN2 - 51	20.7	5698	HNS2 - 5	8.78	4646.57
PL1 - 22	34.8	535	PLS1 - 1	8.79	1144.75
PL1 - 39	25.1	209	PLS1 - 2	9.02	1434.38
PL2 - 70	33.2	693	PLS2 - 1	8.99	3474.49
PL2 - 103	32.8	923	PLS2 - 2	8.92	3560.11
PL2 - 36	37.2	224	PLS2 - 3	8.99	2259.64

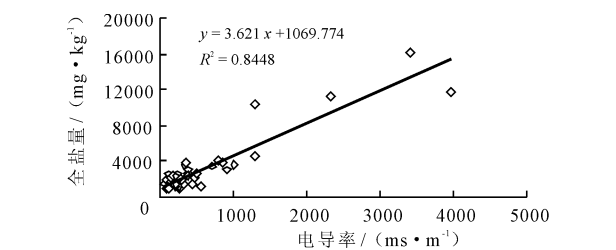


图 8 土壤电导率与全盐量的关系曲线

表 4 宁夏引黄灌区土壤盐渍化分级标准 %

分级	非盐渍化土	轻盐渍化土	中盐渍化土	重盐渍化土	盐土
全盐量	<0.1	0.1 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 1.0	>1.0

地下水埋深浅,径流缓慢,蒸发强烈是形成盐渍化的先决条件,而地下水高矿化的存在,则是盐渍化形成的主要物质来源。通过地下水均衡计算,均衡期内红寺堡灌区的地下水补给总量为 0.6209 亿 m³,总的排泄量为 0.5975 亿 m³,均衡差为 0.0234 亿 m³,相对均衡差为 3.77%,处于正均衡。

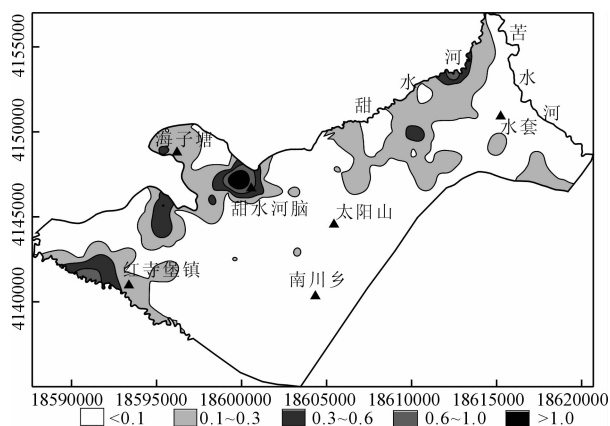


图9 红寺堡灌区土壤全盐量分布图(%)

对比图2、图6可见,红寺堡灌区潜水埋深规律为:潜水埋深自北向南有逐渐增大的趋势,且在甜水河脑及上游地段、红寺堡、海子塘以及苦水河近河地带水位埋深最浅。图4也显示出研究区地下水TDS浓度的变化规律:TDS浓度自北向南逐渐减小,且在红寺堡、海子塘和甜水河脑及上游地段地下水TDS值高,均大于3 g/L。由图9可见,红寺堡灌区全盐量的变化也是由北向南逐渐减小,且在红寺堡镇、海子塘、甜水河脑以及甜水河下游南岸,土壤全盐量达到最高值,局部地段大于0.6%,如甜水河脑,全盐量达到最大值0.87%,因此土壤盐渍化最严重,属于重盐渍化区。而其它广大地区,土壤全盐量均比较低,一般小于0.1%。

4 结 语

4.1 技术适用性分析

通过以上对潜水埋深、TDS及土壤全盐量分布规律的对比分析可知,三者的分布规律大体一致,红寺堡镇、海子塘、甜水河脑及上游地段水位埋深最浅,地下水TDS值高,土壤全盐量达到最大值,这些地区土壤盐渍化严重。甜水河脑及上游地段土壤盐渍化最严重,属于重盐渍化区。在红寺堡镇,普遍盐渍化较严重,主要发生在洪沟附近,根据该区所取地下水样HW1-1的分析结果,其矿化度达到5.4 g/L,加之该处地下水位埋深很浅,故盐渍化较严重。在甜水河下游南岸地区土壤易发生盐渍化,由于地下水由北东转为向北径流,径流强度变弱,地下水位抬升,盐分在河口处发生积聚,加之潜水强烈蒸发,土壤盐渍化随之发生。在甜水河下游南部支流水位埋深虽然很小,但是却在支流入甜水河口处,土壤电导率达到最大,这主要是由于南部支流地段地下水径流强烈,高盐分随水流运移所致。

综上所述,红寺堡灌区潜水埋深自北向南逐渐增大,TDS浓度自北向南逐渐减小,全盐量的变化也是由北向南逐渐减小。且在红寺堡镇、海子塘、甜水河脑及上游地段水位埋深最浅,地下水TDS值高,土壤全盐量达到最大值,这些地区土壤盐渍化严重。甜水河脑及上游地段土壤盐渍化最严重,属于重盐渍化区。

4.2 基于WET研究土壤盐渍化的优缺点及应用前景分析

通过利用WET测量土壤电导率来表示土壤盐分状态的方法,对土壤盐渍化进行研究不仅在技术上具有适用性,而且具有其它方法不可比拟的优越性,同时也存在一定的局限性。

WET可以快速测量土壤的含水率和电导率,并且携带方便,使用便捷和直观,测量及时,精度高,实时性好,能够完整地获得当时当地的土壤盐分数据,为准确、快速决策创造了条件。在对盐渍化土壤地理分布特征进行区域性评价时,基于WET研究土壤盐渍化,既节省了成本,又大大减少了选用高精度遥感数据时所需处理的数据量,在调查初期宏观把握研究区的盐渍化分布情况时比较实用。但是,在测量过程中受土壤含水率、压实程度等因素的影响,土壤电导率的测试值在一定程度上会产生误差,影响分析结果。

WET为土壤电导率的正确实时测量和区域土壤盐渍化分布的研究提供了一种新的技术手段,可以广泛应用于土壤电导率测量中,确定土壤电导率与含盐量之间的定量关系,基于WET研究土壤盐渍化地理分布的方法将会得到普遍推广。

参考文献:

- [1] 刘阳春,何文寿,何进智,等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究, 2007, 28(2): 68-71.
- [2] 桂林国,孙丽萍. 宁夏红寺堡灌区土壤盐渍化现状及防治对策[J]. 宁夏农林科技, 2005(1): 42.
- [3] 马云瑞. 宁夏灌溉回归水水质评价及再利用[M]. 银川: 宁夏农林科学院, 2001.
- [4] 王全九,王文焰,张建丰. 土壤电导与含水量和含盐量的关系及容重对其影响[J]. 陕西机械学院学报, 1992, 8(4): 269-273.
- [5] 蔡阿兴,陈章英,正琦,等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系[J]. 土壤, 1997, 11(1): 54-57.
- [6] 吴学华,等. 银川平原地下水资源合理配置调查评价[R]. 北京: 地质出版社, 2008, 12.