

盐渍化灌区耕地-荒地-沙地水盐 分布及盐分累积特征

王银环,刘霞,胡小东,乔天

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:以河套灌区不同利用类型土地为研究对象,旨在探究耕地、荒地、沙地土壤水分变异及土壤积盐特征与盐分离子对土壤积盐量的影响。结果表明:耕地、荒地、沙地土壤水分分布不均,含水率变异系数随土层深度加深而减小,沙地表层变异性较大,变异系数为 104.5%;耕地积盐主要集中在春季和秋季收获期,春汇后土壤脱盐约 $2.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,灌水间歇期毛管作用下土壤积盐约 $0.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;荒地 70% 盐分聚积在表层,春汇后最多可积聚 $39.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;耕地积盐量与荒地积盐量呈显著负相关关系,与沙地积盐量呈显著正相关关系,相关系数分别为 -0.249 、 0.712 ; HCO_3^- 、 Na^+ 在耕、荒地间随水移动性较强,耕、沙地间 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 随水移动性较强。主成分分析表明影响耕地积盐量主要是 SO_4^{2-} 和 Cl^- ,影响荒地和沙地积盐量主要是 Na^+ 和 Cl^- 。采用逐步回归分析方法建立耕、荒、沙地 1.2 m 深土壤积盐回归预测模型。

关键词:盐渍土;土壤积盐量;耕地;荒地;沙地;预测模型

中图分类号:S247.1 文献标志码:A

Water and salt distribution and salt accumulation characteristics of cultivated-waste-sandy lands in salinized irrigated area

WANG Yinhuan, LIU Xia, HU Xiaodong, QIAO Tian

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: The different land uses in Hetao irrigation area were studied to explore the soil water variation, the characteristics of soil salt accumulation and the effect of salt ions on salt accumulation in soil. The results showed that the distribution of soil water was uneven, the coefficient of variation of water content decreased with the depth of soil layer, and the coefficient of variation was 104.5%. The salt accumulation of cultivated land was mainly concentrated in spring and autumn harvest period. After the spring harvest, the soil desalting was about $2.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, the soil salt accumulation of capillary action was about $0.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 70% of salt accumulated in the surface layer in wasteland. After the spring harvest, the maximum salt accumulation was $39.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. There was a significant negative correlation between salt accumulation in cultivated land and salt accumulation in uncultivated land, and a significant positive correlation between salt accumulation in sandy land and salt accumulation. The correlation coefficients were -0.249 and 0.712 , respectively. The SO_4^{2-} and Mg^{2+} were highly mobile with water in cultivated sandy land. Principal component analysis showed that SO_4^{2-} and Cl^- were the main factors affecting salt accumulation in cultivated land, and Na^+ and Cl^- were the main factors affecting salt accumulation in wasteland and sandy land. Salt accumulation in 1.2 m deep soil in cultivated sandy land was established by stepwise regression analysis.

Keywords: saline soil; soil salt; cultivated land; waste land; sandy land; prediction model

土壤盐渍化与水资源不足是制约内蒙古河套灌区农业生产发展的主要因素。干旱半干旱灌区

地下水位高,强烈蒸发作用使土壤母质和地下水中盐分积聚土壤表层,产生土壤盐渍化^[1],同时灌区

特有的耕地和荒地交错分布格局使土壤盐碱化问题朝良性方向发展^[2]。苏阅文^[3]在义长灌域研究结果表明:在蒸发和灌溉综合影响下,耕荒地土壤积盐与脱盐交替进行。王国帅等^[4]等对耕地-荒地-海子系统构建水量和盐量平衡模型,揭示土壤水盐在灌溉和秋浇期不同系统间的迁移转化规律。郭勇等^[5]等对农田-防护林-荒漠复合系统研究表明各景观单元土壤含盐量具有显著的季节波动、水平递变和垂直分层特征。杨军等^[6]研究发现自然条件下龟裂碱土 0~40 cm 土层盐分变化活跃,积盐与脱盐交替进行。晋建^[7]利用 HYDRUS-2D 模型模拟分析不同灌水量和灌水次数情景下对土壤盐分运移的影响。余根坚等^[8]利用 HYDRUS 数值模拟分析得出沟灌能有效控制土壤积盐。王水献等^[9]利用数值模拟建立田间二维尺度水盐运移模型,制定了合理灌溉制度。李亮^[10]研究表明荒地盐分主要积聚在表层土壤中,同时能抑制土壤蒸发。He 等^[11]在华北冲积平原区的研究表明不同粘土层厚度及土层位置对盐分的累积差异十分明显。Cichota 等^[12]研究灌溉强度对溶质优先迁移的影响,研究表明土壤及排水系统中可溶物质的迁移与降雨量、灌水量及灌溉频率密切相关,表明滴灌溶质的分布更加均匀。Mmolawa 等^[13]提出种植作物

条件下水和溶质的入渗及再分布依赖于灌溉方法、土壤类型、作物根系分布、水和溶质的吸收模式和速率等。杨劲松等^[14]通过对绿洲灌区-农区-耕层 3 个尺度进行了水盐均衡分析;岳卫峰等^[15]建立了非农区-农区-水域的水盐运移及均衡模型,论证了义长灌域内盐荒地及水域的早排能力非常大,提出了排水和早排的重要性,但未考虑灌域内沙丘及沙地的排盐作用。

本文以河套灌区典型耕地及盐碱荒地详解区域为研究对象,旨在探究耕地、荒地和沙地水分、总盐、盐分离子时空迁移规律,不同类型土壤积盐特征与盐分离子对土壤积盐量的影响。采用逐步回归分析建立土壤积盐预测模型,为 1.2 m 深土壤盐分预测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古河套灌区巴彦淖尔市沙壕渠东南部张连生海子水域区,北纬 49°19′~41°18′,东经 106°20′~109°19′,海拔 1 030~1 050 m。地处干旱半干旱气候带,属中温带大陆性季风气候,降水量少,蒸发量大,昼夜温差大,日照时间长。试验区概况如图 1 所示,耕地位于试验区中央,其东南为

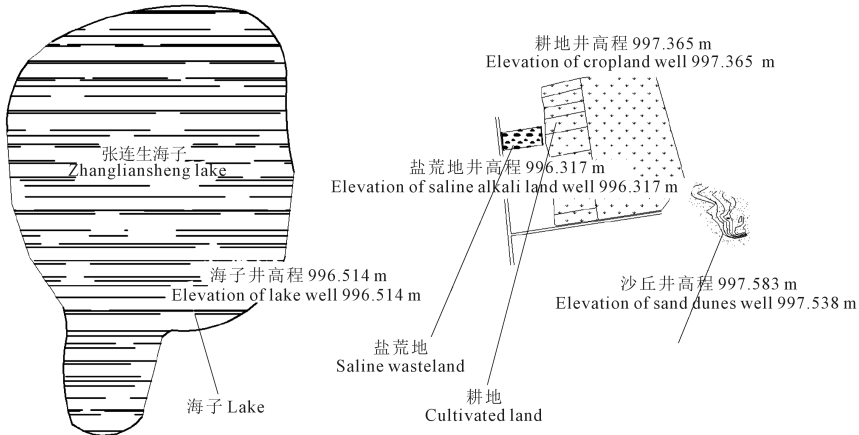


图 1 试验区概况
Fig.1 A schematic diagram of the experimental area

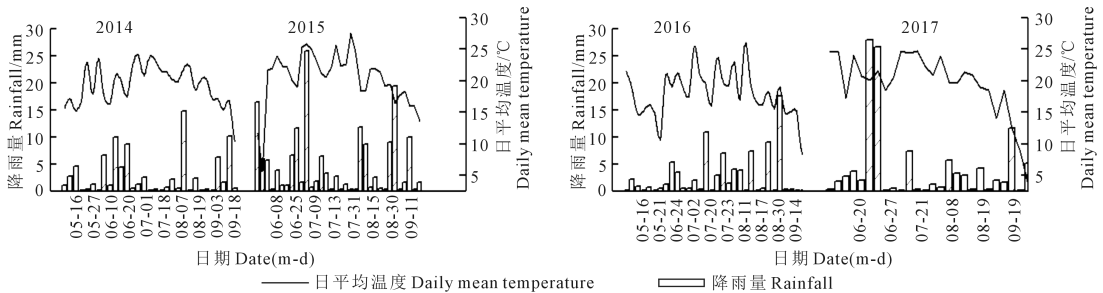


图 2 试验区降雨量与气温
Fig.2 Rainfall and air temperature distribution in the experimental area

沙丘,耕地西部为盐荒地,最西部是张连生海子水域。试验区的气象资料见图 2,2014—2017 年试验期间年均降水量约为 104.23 mm,平均气温为 20.52℃,蒸发量为2 100 mm。河套灌区地下水以潜水为主,主要来源于农田灌溉入渗和各级渠道渗漏水量,试验区地下水位变化见图 3,耕、荒、沙地地下水位多年均值分别为 2.5、2.8、2.9 m。试验区土壤盐碱状况见表 1。

1.2 试验设计与测定指标

采用地面灌溉,灌水时间及灌水量如表 2 所示。在耕地、荒地、沙地分别设置 2 个平行取样点,取样深度为 0~120 cm,分 7 层(0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120 cm)测定土壤的含水量、全盐、pH 值及八大离子;同时在耕地、荒地、沙地及海子附近设置地下水观测孔,测定地下水位、地下水的矿化度及盐分离子含量。土壤储盐量计算公式:

$$S_a = \sum(S_{ii} \times D_i \times L_i/10)$$

式中, S_a 为土壤储盐量($t \cdot hm^{-2}$); S_{ii} 为土壤某层次全盐量($g \cdot kg^{-1}$); D_i 为某层次土壤容重($g \cdot cm^{-3}$); L_i 为土壤层次深度(cm)。

试验区在 2014、2016 年种植玉米,2015、2017 年种植葵花。

1.3 数据分析

数据整理分析采用 Excel 2017,三维等值线图及柱状图绘制采用 Origin 2017 与 R 语言,相关关系分析与主成分分析采用 SPSS 20 软件进行。

2 结果与分析

2.1 耕地-荒地-沙地土壤水分垂直分布特征

试验区包括耕地-荒地-沙地不同土地利用组合区。耕地的灌溉水主要耗水于土壤蒸发和作物蒸腾作用,同时通过土壤渗补给地下水。灌溉期对耕地地下水的补给远大于地下水的潜水蒸发,导致

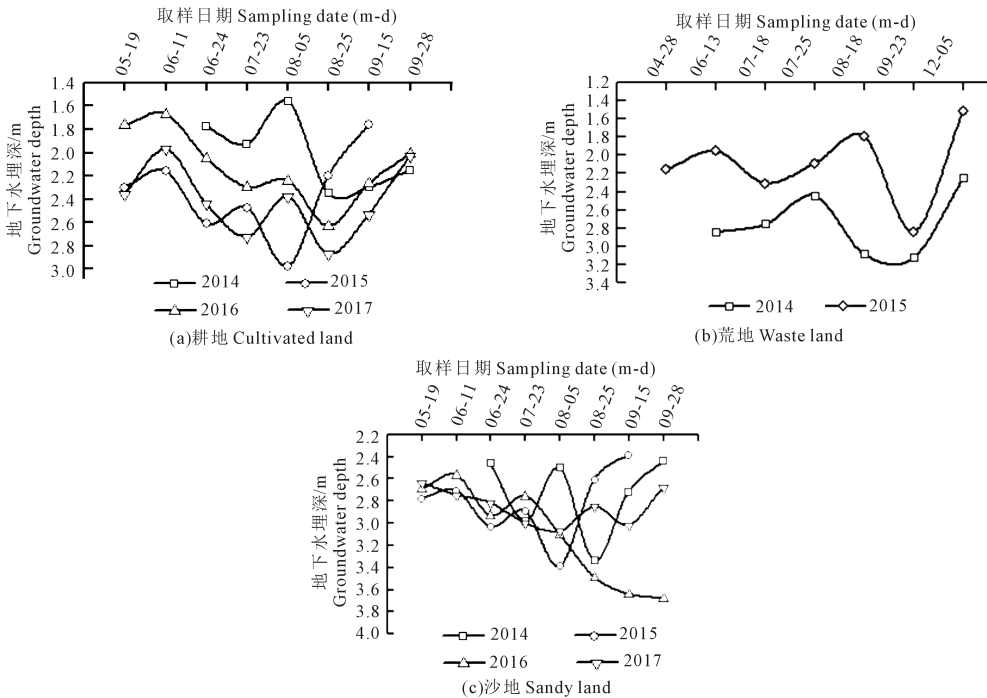


图 3 2014—2017 年耕地-荒地-沙地地下水埋深变化

Fig.3 Change of groundwater depth in cultivated, waste and sandy land from 2014 to 2017

表 1 试验区土壤初始盐碱状况

Table 1 Statistics of initial salinization in experimental area

土地类型 Land type	土层深度 Soil depth /cm	电导率 Electrical conductivity /(mS · cm ⁻¹)	pH	土地类型 Land type	土层深度 Soil depth /cm	电导率 Electrical conductivity /(mS · cm ⁻¹)	pH	土地类型 Land type	土层深度 Soil depth /cm	电导率 Electrical conductivity /(mS · cm ⁻¹)	pH
耕地 Cultivated land	0~20	0.36	8.33	荒地 Waste land	0~20	1.41	8.10	沙地 Sandy land	0~20	0.12	8.08
	20~40	0.24	8.25		20~40	0.32	8.15		20~40	0.12	7.95
	40~60	0.23	8.25		40~60	0.22	8.10		40~60	0.12	8.00
	60~80	0.24	8.25		60~80	0.19	8.10		60~80	0.12	8.00
	80~120	0.26	8.25		80~120	0.22	8.15		80~120	0.19	8.20

耕地地下水位升高,通过侧向补给地下水向荒地及沙地流动。耕地、荒地、沙地 0~120 cm 土层含水率分布规律如表 3 所示,耕、荒、沙地均表现为随土层深度加深土壤含水率增大,变异系数减小,土壤含水率变化范围分别为 13.31%~26.54%、16.45%~27.22%、1.81%~17.81%。0~10 cm 土层变异系数较大,分别为 23.61%、10.91%和 104.05%,表明耕、荒、沙地土壤水分分布不均,土壤含水量差异较大。耕地 0~40 cm 土层受灌溉和耕作影响,土壤水分变异性较大,水分运动较为剧烈。荒地表层积盐明显,形成盐壳,抑制土壤水分蒸发,土壤含水量相对稳定。沙地含水率低于耕地与荒地,表层仅为 0.03%。

2.2 耕地-荒地-沙地不同深度土壤盐分累积特征

耕地、荒地、沙地土壤剖面积盐时空分布如图 4 所示,由图 4(a)可以看出,耕地 0~120 cm 土层年均积盐量约为 $2.63\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,种植不同作物的耕地土壤积盐量均呈现随土壤深度增加而增大的趋势,同时盐分累积主要集中在春季和秋季收获期。春汇后耕地土壤盐分向下迁移,土壤积盐量减少约 $2.1\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,灌水间歇期,随水分蒸发及灌水后地下水位升高,毛管水上升补给土壤,造成土壤返盐,0~10 cm 土层约累积 $0.76\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。作物整个生育期内 0~120 cm 土层土壤脱盐较少,约为 $0.59\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,由于 2014、2016 年和 2017 年末秋浇,作物收获后土壤积盐约 $1.83\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,而 2015 年 11 月 5 日进行秋浇后,作物收获后,0~40 cm 土层呈现脱盐状态,脱盐量约为 $0.7\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,而在 40~120 cm 土层约有 $0.27\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 盐分聚积。由图 4(b)可以看出,荒地积盐表聚明显,积盐量随土层深度加深呈现减少趋势,约 70%的盐分聚积在表层,春汇后最高可达 $39.85\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,与耕地变化趋势相反,且荒地积盐量远大于耕地,0~120 cm 土层土壤积盐量约为 $9.46\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,

耕地灌水后,荒地盐分增加,0~10 cm 表层增加较为显著,荒地成为耕地的“盐库”。由图 4(c)可以看出,沙地积盐趋势与耕地相似,与荒地相反。沙地 0~120 cm 积盐量约为 $5.27\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,小于耕地,随土层深度加深积盐量增加,耕地灌水后沙地 0~10 cm 表层盐分减少,40~120 cm 土层盐分增加,主要是由于耕地地下水补给沙地,沙地毛管作用弱,随水分蒸发向上迁移量小。

2.3 耕地-荒地-沙地全盐累积量与盐分离子之间的关系

耕地、荒地、沙地积盐量与盐分离子之间的相关关系见图 5,耕地积盐量与荒地积盐量呈显著负相关关系,与沙地积盐量呈显著正相关关系,相关系数分别为-0.249、0.712。耕地中 HCO_3^- 与土壤积盐量无显著相关关系,其他盐分离子均与土壤积盐量表现为正相关关系,相关性较大的阴离子为 SO_4^{2-} ,较小的为 Cl^- ,相关系数分别为 0.520、0.229,相关性较大的阳离子为 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,均表现为弱相关性,相关系数分别为 0.336、0.189、0.154,说明耕地的盐分主要是硫酸钠盐。荒地中盐分离子除 Mg^{2+} 外均与土壤积盐量在不同置信水平下呈显著正相关关系,相关性较大的离子为 Cl^- 和 Na^+ , HCO_3^- 、

表 2 试验区灌水时间及灌水量

Table 2 Irrigation time and irrigation quantity in experimental area		
年份 Year	灌水日期(m-d) Irrigation date	灌水量/m ³ Amount of irrigation
2014	05-25	80
	07-21	60
2015	05-28	80
	07-17	60
	11-05	50
2016	05-29	80
	07-19	60
2017	06-05	80
	07-15	60

表 3 试验区 0~120 cm 土层土壤平均含水率统计特征值

Table 3 Statistical characteristic values of 0~120 cm soil moisture content in the experimental area						
土地类型 Land type	土层深度/cm Soil depth	最小值/% Minimum value	最大值/% Maximum value	平均值/% Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation
耕地 Cultivated land	0~10	1.55	20.20	13.31	3.14	23.61
	10~40	3.20	26.12	18.86	3.84	20.34
	40~120	19.49	30.95	26.54	2.60	9.80
荒地 Waste land	0~10	10.04	28.89	16.45	3.66	22.27
	10~40	15.82	26.98	22.51	2.46	10.91
	40~120	19.21	30.93	27.22	2.09	7.67
沙地 Sandy land	0~10	0.03	7.34	1.81	1.89	104.05
	10~40	0.88	10.13	3.46	2.10	60.68
	40~120	12.67	24.31	17.81	3.41	19.15

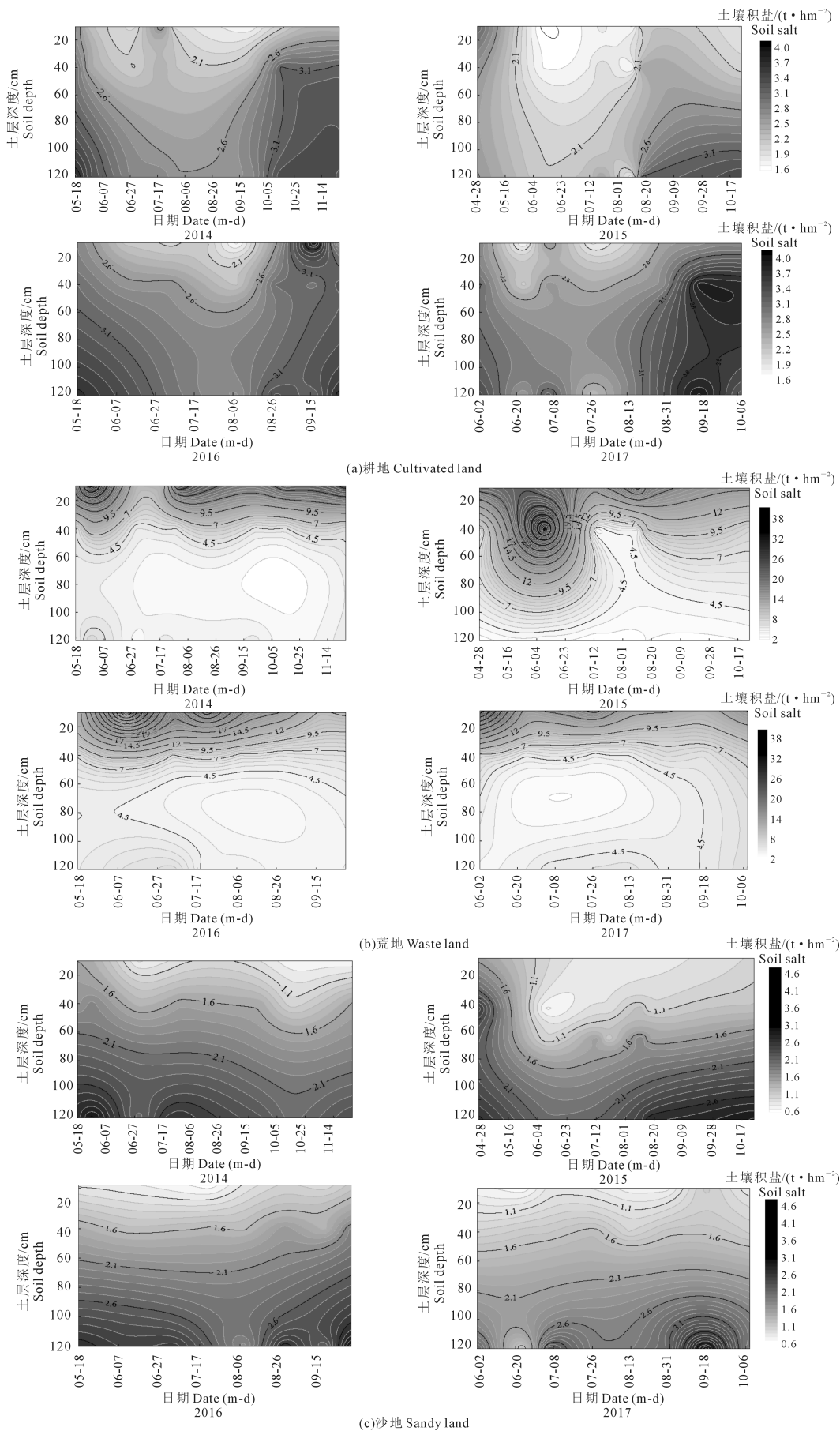
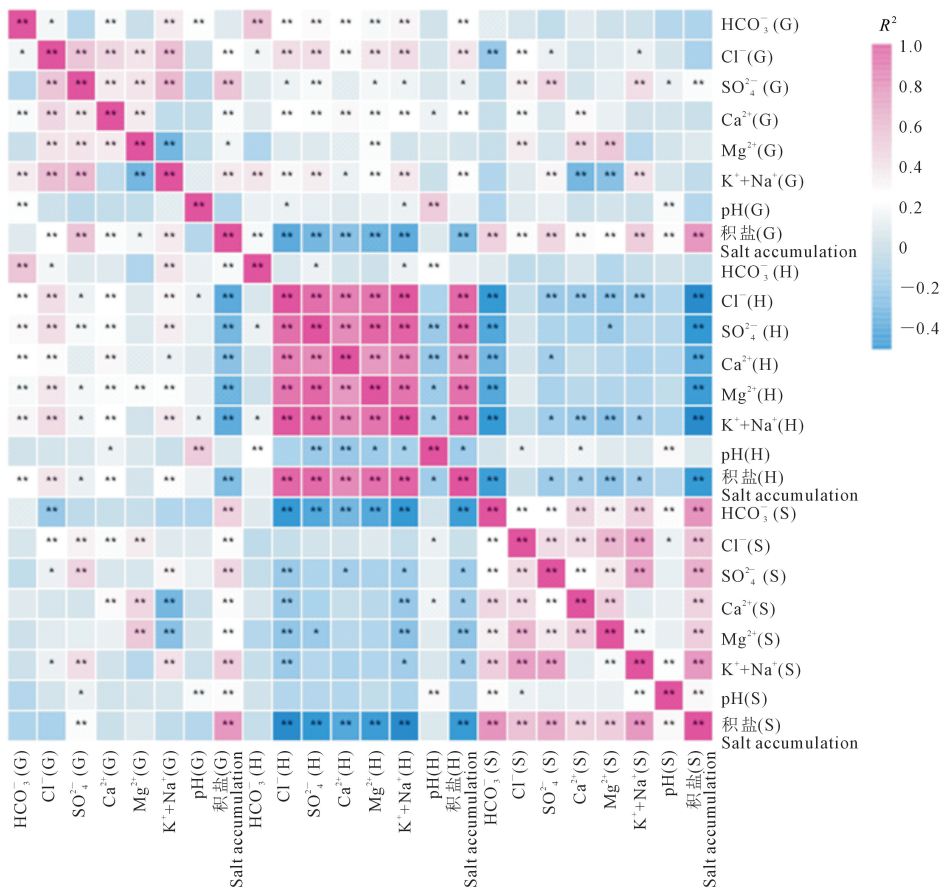


图 4 2014~2017 年耕、荒、沙地土壤积盐量
Fig.4 Soil salinity map of cultivated, waste and sandy lands in 2014-2017



注:G-耕地;H-荒地;S-沙地; ** 在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的; * 在置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的。
Note: G-cultivated land; H-waste land; S-sandy land. ** The correlation was significant at a confidence level (bilateral) of 0.01;
* The correlation was significant at a confidence level (bilateral) of 0.05.

图 5 耕地、荒地、沙地积盐量与盐分离子相关关系

Fig.5 Correlation between salt accumulation and salt ions in cultivated, waste and sandy land

SO₄²⁻和Ca²⁺表现为弱相关性,相关系数约在0.133~0.57,说明荒地的盐分主要是氯化盐。相关性较大的阳离子为Na⁺,相关性较小的为Ca²⁺,相关系数分别为0.258、0.235。耕地与荒地pH值表现为中等强度相关,与沙地pH值表现为弱相关,相关系数分别为0.484、0.18,说明耕地碱化度与沙地碱化度相关性较小。耕地与荒地阴离子间相关性较大的为HCO₃⁻,相关性较小为SO₄²⁻,相关系数分别为0.515、0.179。阳离子间相关性较大的为Na⁺,相关性较小的为Mg²⁺,相关系数分别为0.340、0.192。耕地与沙地阴离子间相关性较大的为SO₄²⁻,相关性较小的为Cl⁻,相关系数分别为0.436、0.247。阳离子间相关性较大的为Mg²⁺,相关性较小的为Ca²⁺,相关系数分别为0.505、0.272。说明HCO₃⁻、Na⁺在耕、荒地间随水移动性较强,耕、沙地间SO₄²⁻、Mg²⁺随水移动性较强。

2.4 土壤积盐主控因子的识别

采用主成分分析方法提取影响土壤积盐量的

主要盐分离子(X₁-HCO₃⁻、X₂-Cl⁻、X₃-SO₄²⁻、X₄-Ca²⁺、X₅-Mg²⁺、X₆-Na⁺),并计算各离子的特征值、方差贡献率、累积贡献率、因子得分。根据特征值(>1)进行提取,耕地提取出3个主成分,前3个主成分能反映出6个离子82.823%的信息。可以解释为其中第一主成分F₁可以反映36.464%原变量的信息,所包含的信息最多;第二主成分F₂可以反映28.122%;第三主成分可以反映18.237%。根据中心化及因子旋转后的特征向量值列出土壤积盐主成分表达如(2)~(4)式所示。

$$F_1 = -0.034X_1 + 0.843X_2 + 0.744X_3 + 0.117X_4 + 0.051X_5 + 0.095X_6 \tag{2}$$

$$F_2 = -0.003X_1 + 0.292X_2 + 0.36X_3 + 0.816X_4 + 0.853X_5 - 0.276X_6 \tag{3}$$

$$F_3 = -0.98X_1 - 0.18X_2 - 0.305X_3 + 0.092X_4 - 0.128X_5 + 0.122X_6 \tag{4}$$

通过分析上述线性表达式可知,F₁在X₂、X₃的载荷较大,说明Cl⁻和SO₄²⁻对第一主因子的影响较

大, F_2 在 X_4 和 X_5 的载荷较大,说明 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 对第二主因子的影响较大, F_3 在 X_1 和 X_3 的载荷较大,说明 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 对第三主因子的影响较大。

荒地提取出 2 个主成分,能反映 6 个离子的 75.67%的信息。其中第一主成分 F_1 可反映 57.97%原变量的信息,包含的信息最多;第二主成分 F_2 可以反映 17.70%原变量的信息。根据中心化及因子旋转后的特征向量值列出土壤积盐主成分表达式如下(5)~(6)式所示。

$$F_1 = -0.094X_1 + 0.259X_2 + 0.244X_3 + 0.192X_4 + 0.235X_5 + 0.262X_6$$

(5)

$$F_2 = -0.936X_1 - 0.139X_2 + 0.179X_3 - 0.107X_4 - 0.054X_5 - 0.08X_6$$

(6)

分析上述线性表达式可知, F_1 在 X_6 、 X_2 的载荷较大,说明 Na^+ 和 Cl^- 对第一主因子的影响较大, F_2 在 X_1 和 X_3 的载荷较大,说明 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 对第二主因子的影响较大。

沙地提取出 2 个主成分,前 2 个主成分能反映 6 个离子 66.84%的信息,其中第一主成分 F_1 可以反映 41.31%原变量的信息,所包含的信息最多,第二主成分 F_2 可以反映 25.53%,根据中心化及因子旋转后的特征向量值列出土壤积盐主成分表达式如下(7)~(8)式所示。

$$F_1 = 0.014X_1 + 0.357X_2 + 0.288X_3 - 0.247X_4 + 0.13X_5 + 0.44X_6$$

(7)

$$F_2 = 0.378X_1 - 0.02X_2 - 0.075X_3 + 0.730X_4 + 0.260X_5 - 0.174X_6$$

(8)

分析上述线性表达式可知, F_1 在 X_6 、 X_2 的载荷较大,说明 Na^+ 和 Cl^- 对第一主因子的影响较大, F_2 在 X_4 和 X_1 的载荷较大,说明 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 对第二主因子的影响较大。

2.5 土壤积盐统计预测分析

采用逐步回归分析方法,以上述 $X_1 \sim X_6$ 个主要盐分离子为自变量,分别以耕荒沙地 0~120 cm 土壤积盐量均值为因变量(Y_1 、 Y_2 、 Y_3),建立 0~120 cm 土层土壤积盐量线性回归预测模型,为预测耕荒沙地积盐量提供相关的理论依据。表 4 为耕荒沙地线性回归模型计算结果,在 1.2 m 土层中,耕地 X_1 变量在积盐量模型中的 Pearson 相关系数为 0.652,说明土壤积盐量变化的 65.2%可以由此模型解释,荒地 X_6 变量在积盐量模型中的 Pearson 相关系数为 0.971,说明土壤积盐量变化的 97.1%可以由此模型解释,沙地 X_2 变量积盐量模型中的 Pearson 相关系数为 0.87,说明土壤积盐量变化的 87%可以由此模型解释,由方差分析表知, F 统计量都通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验,说明回归方程均显著。耕荒沙地线性回归模型分别如下(9)~(11)式所示。

$$Y_1 = 0.778 + 0.004X_1$$

(9)

$$Y_2 = 0.334 + 0.013X_6$$

(10)

$$Y_3 = 1.158 + 0.007X_2$$

(11)

表 4 模型汇总及回归系数
Table 4 Model summary and regression coefficient table

土地类型 Land type	土层深度/cm Soil depth	变量已输入 Variable entered	非标准化系数 Nonstandard coefficient	标准误差 Standard error	标准系数 Standard coefficient	<i>t</i>	Sig	<i>R</i>	<i>R</i> ²	调整后 <i>R</i> ² Readjusting <i>R</i> ²	标准估计的误差 Error of standard
耕地 Cultivated land	0~120	常量 Constant quantity	0.778	0.453		1.175	0.001	0.652	0.425	0.405	0.359
		X_1	0.004	0.001	0.652	4.947	0.001				
荒地 Waste land	0~120	常量 Constant quantity	0.344	0.44		0.780	0.442	0.971	0.943	0.941	0.777
		X_6	0.013	0.001	0.971	21.823	0.001				
沙地 Sandy land	0~120	常量 Constant quantity	1.158	0.083		13.927	0.001	0.87	0.756	0.748	0.231
		X_2	0.007	0.001	0.870	9.484	0.001				

3 讨论与结论

3.1 讨 论

灌区节水改造工程打破了水盐平衡体系,灌区土壤水盐重新分配^[16]。试验表明在 0~120 cm 土层土壤垂直剖面含水率表现为荒地>耕地>沙地,随土

层深度加深含水率变异系数减小。因而灌水是影响耕地土壤水分变化的主要因素,灌溉水中有较大部分渗漏进入地下水^[2],灌溉期耕地地下水侧向补给荒地和沙地^[17]。沙地保水性差,表层(0~10 cm)变化较为剧烈^[18],本研究表明沙地表层变异性最大,变异系数为 104.5%。荒地深层土壤含水率变异

性最小,变异系数为 7.67%,与前人研究结果一致。

试验表明耕地积盐主要集中在作物生育初期和末期,而其余生育期处于脱盐状态,主要原因是灌水洗盐及作物生长期间植物蒸腾大于地面蒸发,减少蒸发造成的地表积盐。灌溉期,耕地与邻近未灌溉田块发生地下水横向交换^[19],土壤表层盐分被淋洗到深层,随地下水迁移到荒地,盐荒地成为耕地的“盐库”^[20]。这是由于荒地及沙地无灌溉,主要受降雨影响,耕地进行灌溉,由于受灌溉水的淋洗作用,灌溉期间耕地盐分被淋洗到深层土壤或地下水,同时地下水水平侧向补给荒地和沙地,耕地的土壤盐分被带入荒地,无灌溉水淋洗的荒地地下水在毛管作用下向上移动,盐分向上层土壤积聚,在强蒸发作用下表层土壤盐分显著增加。盐分经潜水蒸发向土壤和地表迁移。荒地受到耕地灌溉水水平侧渗补给地下水的影响,盐分随毛管水上升逐渐向表层迁移,最终盐分积聚在表层^[21]。杜金龙等^[22]对土壤盐分含量较高的盐渍化区土壤含盐量与土壤含沙量的关系进行分析,表明土壤含盐量与土壤含沙量之间呈负相关关系,即土壤中含沙量越高盐分含量越低,因而沙地盐分含量低于耕地。本研究在荒地对耕地干排盐作用及荒地盐分表聚方面的结论与前人的研究结果相似。

3.2 结 论

土壤水分及积盐变化受多种因素影响,具有复杂的变化过程及发生机制。通过对张连生海子试验区盐碱地土壤水分及土壤积盐特征与盐分离子对土壤积盐量的影响进行分析,得到主要结论如下:

- (1)土壤垂直剖面含水率均表现为荒地>耕地>沙地。随土层深度增加含水率变异系数减小,沙地表层变异性最大,变异系数为 104.5%。荒地深层土壤含水率变异性最小,变异系数为 7.67%。
- (2)荒地积盐主要聚集在表层,荒地表层最多可累计积盐 39.85 t · hm⁻²,不同类型土地积盐量荒地>耕地>沙地。说明含沙量越高土壤积盐越少。耕地积盐量与荒地积盐量在 0.01 置信水平上显著负相关。耕地积盐量与沙地积盐量呈现显著正相关。
- (3)通过主成分分析,分析出影响研究区积盐量的主要盐分离子,影响耕地积盐量主要是 SO₄²⁻和 Na⁺,影响荒地和沙地积盐量主要是 Na⁺和 Cl⁻。建立土壤积盐回归预测模型,可为研究区 1.2 m 深土

壤积盐量预测提供参考。

参 考 文 献:

[1] Panigrahi B, Panda S N. Field test of a soil water balance simulation model[J]. Agricultural Water Management, 2003, 58: 223-240.

[2] 张利敏. 河套灌区农区—非农区盐分迁移试验与模拟研究[D].北京:中国地质大学, 2019.

[3] 苏阅文. 义长灌域耕荒地水盐动态分析及其数值模拟[D].扬州:扬州大学, 2019.

[4] 王国帅,史海滨,李仙岳,等.河套灌区耕地—荒地—海子间水盐运移规律及平衡分析[J].水利学报, 2019, 50(12): 1518-1528.

[5] 郭勇,尹鑫卫,李彦,等.农田—防护林—荒漠复合系统土壤水盐运移规律及耦合模型建立[J].农业工程学报, 2019, 35(17): 87-101.

[6] 杨军,马艳,孙兆军.宁夏龟裂碱土水盐运移及时空分布特征[J].农业工程学报, 2018, 34(S1): 214-221.

[7] 晋建. 基于 HYDRUS-2D 模型压砂地土壤水盐运移及灌溉制度数值模拟研究[D].兰州:兰州理工大学, 2019.

[8] 余根坚,黄介生,高占义.基于 HYDRUS 模型不同灌水模式下土壤水盐运移模拟[J].水利学报, 2013, 44(7): 826-834.

[9] 王水献,董新光,吴彬,等.干旱盐渍土区土壤水盐运动数值模拟及调控模式[J].农业工程学报, 2012, 28(13): 142-148.

[10] 李亮. 内蒙古河套灌区耕荒地间土壤水盐运移规律研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学, 2008.

[11] He Y, Hu K L, Wang H, et al. Modeling of water and nitrogen utilization of layered soil profiles under a wheat-maize cropping system [J]. Mathematical and Computer Modelling. 2013, 58: 596-605.

[12] Gichota R, Kelliher F M, Thomas S M, et al. Effects of irrigation intensity on preferential solute transport in a stony soil [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2016, 59(2): 141-155.

[13] Mmolawa K, Or D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review Plant Soil[J]. Plant and Soil, 2000, 222(1-2): 163-190.

[14] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.

[15] 岳卫峰,杨金忠,童菊秀,等. 干旱地区灌区水盐运移及均衡分析[J]. 水利学报, 2008, 39(5): 623-627

[16] 任东阳,徐旭,黄冠华.河套灌区典型灌排单元农田耗水机制研究[J].农业工程学报, 2019, 35(1): 98-105.

[17] 曾揭峰,刘霞,李就好,等.基于 SWAP 模型的耕地—盐荒地—沙丘—海子水盐动态分析[J].农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 540-549.

[18] 梁香寒. 毛乌素沙地土壤水分动态与降水再分配规律[D].北京:北京林业大学, 2016.

[19] 王国帅,史海滨,李仙岳,等.河套灌区不同地类盐分迁移估算及与地下水埋深的关系[J/OL].农业机械学报, 2020, 51(8): 255-269.

[20] 王学全,高前兆,卢琦,等.内蒙古河套灌区水盐平衡与干排水脱盐分析[J].地理科学, 2006, (4): 4455-4460.

[21] 任东阳,徐旭,黄冠华.河套灌区典型灌排单元农田耗水机制研究[J].农业工程学报, 2019, 35(1): 98-105.

[22] 杜金龙,靳孟贵,欧阳正平.焉耆盆地土壤颗粒分析试验及其研究意义[J].地质科技情报, 2008, (4): 90-94.