黑龙港流域微地貌与地下水埋深对土壤潜在盐渍化的影响

张华艳[1]，牛灵安[1,2]，郝晋珉[1]，宝鲁尔[1]，张彦宏[3]，邢晓霞[4]

(1. 中国农业大学 资源与环境学院，北京 100193；2. 中国农业大学 曲周试验站，河北 曲周 057250；
3. 邯郸市水资源综合管理办公室，河北 邯郸 056001；4. 邯郸市复兴区户村镇，河北 邯郸 056001)

摘　要：[目的] 对近年河北省曲周县土壤潜在盐渍化进行多方位评价，为预防土壤盐渍化提供科学依据。[方法] 通过微咸水灌溉试验、土壤剖面观测和土样分析，从海拔高度、土层深度、地下水埋深、土壤质地几个方面对黑龙港流域土壤盐分运移以及其对土壤潜在盐渍化的影响进行探讨。[结果] 从区域角度分析，降雨和用微咸水灌溉加剧了表层盐分向下层淋洗的可能性，从而使土壤盐分多在 40—100 cm 土层聚集。质地较为黏重的土层阻止了土壤盐分的运移而聚积在该土层之上，为土壤潜在盐渍化创造了条件。土壤盐分含量与海拔高度呈现出很好的相关性，其复相关指数 $R^2=0.76$。HCO_3^- 的表聚现象比较明显，各土层土壤 SO_4^{2-} 离子和 Ca^{2+} 离子与全盐含量之间达到了显著和极显著相关($0.88^{*}\sim1.00^{**}$，$0.89^{*}\sim0.97^{**}$)，Ca^{2+} 离子与 SO_4^{2-} 离子之间达到了显著和极显著相关($0.86^{*}\sim0.97^{**}$)。[结论] 微地貌和土体构型的变化将会影响到土壤盐分的重新分配，进而对土壤潜在盐渍化有重要影响。

关键词：黑龙港流域；微地貌；潜在盐渍化；地下水埋深

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)05-0083-08　　**中图分类号**：S156.4+1

文献参数：张华艳，牛灵安，郝晋珉，等. 黑龙港流域微地貌与地下水埋深对土壤潜在盐渍化的影响[J]. 水土保持通报，2018，38(5)：83-90. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.014. Zhang Huayan, Niu Ling'an, Hao Jinmin, et al. Effect of micro-topography and groundwater depth on soil potential salinization in Heilonggang basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 83-90.

Effect of Micro-topography and Groundwater Depth on Soil Potential Salinization in Heilonggang Basin

ZHANG Huayan[1], NIU Ling'an[1,2], HAO Jinmin[1], BAO Luer[1], ZHANG Yanhong[3], XING Xiaoxia[4]

(1. *College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*; 2. *Quzhou Experimental Station, China Agricultural University, Quzhou, Hebei* 057250, *China*; 3. *Handan Water Resources Management Office, Handan, Hebei* 056001, *China*; 4. *Hucun Town, Fuxing District, Handan City, Handan, Hebei* 056001, *China*)

Abstract: [Objective] To investigate the potential salinization of soil in Quzhou County, Hebei Province in recent years, in order to provide scientific basis for preventing soil salinization. [Methods] The brackish water irrigation experiment, soil profile observation and soil sample analysis was conducted to study the soil salinity transport and its potential salinization to the soil in Heilonggang basin from the aspects of altitude, soil depth, groundwater depth and soil texture. [Results] Rainfall and brackish water increased the possibility of surface salt leaching to the lower layer, which leads to the accumulation of soil salinity in 40—100 cm soil layer. Soil with more sticky texture appeared at 56 cm depth, which prevented the movement of soil salt and accumulated on it, thus creating potential conditions for soil salinization. Micro-topography affected the redistribution of salinity, and soil salinity content and altitude showed a good correlation ($R^2=0.76$). The change of texture types in the soil layers at different depths affected the redistribution of soil salinity. The

收稿日期：2018-03-20　　**修回日期**：2018-04-13

资助项目：河北省农业节水工程技术研究中心开放课题“黑龙港流域地下微咸水层水盐运移规律研究”(21125136)

第一作者：张华艳(1993—)，女(汉族)，河南省周口市人，博士研究生，研究方向为土壤碳氮。E-mail：1845655246@qq.com。

通讯作者：牛灵安(1960—)，男(汉族)，河北省涉县人，博士，副教授，主要从事土壤培肥和土地利用方面研究。E-mail：niulingan@163.com。

phenomenon of surface aggregation of HCO_3^- was obvious. The contents of SO_4^{2-} and Ca^{2+} in all soils were significantly correlated with total salt content (0.88* ～1.00**, 0.89* ～0.97**), and there was a significant relationship between the contents of SO_4^{2-} and Ca^{2+} (0.86* ～0.97**). [Conclusion] The change of micro-geomorphology and soil profile pattern will affect the redistribution of soil salinity, and have an important impact on the potential salinization of soil.

Keywords: Heilonggang basin; potential salinization; groundwater depth; micro-topography

土壤潜在盐渍化是由自然或人为因素引起的严重环境问题,是制约农业生产和生态环境可持续发展的主要因素之一[1]。Szabolcs[2]指出:“潜在盐渍化系指那些表层目前未盐化或碱化,而可能发生盐渍化的土壤”。他认为许多干旱和半干旱地区,全部或大部分土壤可以列入潜在盐渍化土壤,可见它所指的是一种“将来时”的潜在盐渍化土壤。根据 Szabolcs[3]对欧洲国家中现有的和潜在的盐渍化土壤面积的统计,某些国家潜在盐渍化土壤的面积比现有的盐渍化土壤面积大十倍乃至几十倍。范晓梅等[4]的研究表明在浅埋深水位下,土壤盐分随潜水水位的下降而减小,两者之间可满足正相关或指数的关系。地下水及其矿化度与土壤、植物体中盐分及其水分互为“源—库”关系[5-6]。姜净卫等[7]在研究土壤盐渍化的分布状况时表明可以通过地下水埋深空间异质性与土壤不同深度盐分分布的关系来反映。Douaik 等[8]研究结果显示土壤盐分的时空变异性与地下水埋深之间的关系在一定程度上反映了土壤耕作层内的盐渍化程度和状态。在地下水埋藏浅的条件下,地下水中的盐分极易通过毛管上升作用不断地向地表累积,形成土壤盐渍化[9],当地下水位和土壤质地基本相同时,地下水矿化度越高,地下水向土壤中补给的盐分就越多,土壤积盐就越重[10],土壤水的矿化度也就越高。Jordán 等[11-12]研究表明土壤水盐运移与潜水埋深有着密切的关系。

一些学者如魏由庆[13-14]、Kovda 等[15]对黑龙港流域潜在盐渍土进行了研究,得出如下共识:引起土壤盐渍化或次生盐渍化的因素是多方面的。对黑龙港流域而言,由次生盐渍化因素所引起土壤盐渍化的可能性较由原生盐渍化因素引起土壤盐渍化的可能性更大;潜在盐渍化的发生机率不仅与土壤本身特性有关,与其所处环境也有直接关系;潜在盐渍土划分的前提是 0—20 cm 土层含盐量≤2 g/kg,且含盐量越大越易形成潜在盐渍土;1 m 土体含盐量的高低、积盐层的部位、土壤盐分的运移方向、土壤质地及质地层次、地下水特征、地形地貌等都对潜在盐渍土的形成产生影响。

目前众多针对盐渍化的研究中对土壤盐渍化的反复性认识还存在不足之处。中国黄淮海平原区的盐渍土近几十年来得到了治理和改良,并继续向好的方向发展,但局部地区土壤盐渍化有增无减[16]。盐碱地经过工程的、生物的和化学等一系列的方法改良后,农业生产面貌发生了很大变化,土壤的盐渍化得到了治理,生态环境得到了改善[17],但是在近些年来盐渍地区地下水位普遍下降 2～3 m,甚至更多,个别地区已经出现了地下水下降漏斗,因此地下水中的盐分极易通过毛管上升作用不断地向地表累积,形成土壤盐渍化[16,18]。

本文拟以黑龙港流域的曲周县为研究区域,主要从田间试验、县域内多点数据分析出发,对近年县域土壤潜在盐渍化进行多方位评价,以期为预防土壤盐渍化提供科学依据,对农业生产、土地利用等具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河北省邯郸市的东北部,地理坐标为北纬 36°34′45″—36°57′57″,东经 114°50′30″—115°13′30″,为黑龙港流域上游,属于冀南平原中部交接洼地以下的冲积平原,地势自西南向东北倾斜,地面高程 32.7～45.5 m,地面坡降 1/3 000 左右。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候区,年平均气温 13.1 ℃,年平均降水量 556.2 mm,降水主要集中在 7—9 月,占全年降水量的 2/3,年平均蒸发量是年平均降水量的 3.30 倍。

1.2 试验设计

1.2.1 咸淡水灌溉试验 本试验于 1997 年开始。共设 5 个处理(见表 1),每个处理设 3 次重复,随机排列,小区面积为 8.5 m×8.5 m,保护行 1.5 m。氮肥每年 250 kg/hm^2(以 N 含量计),磷肥每年 170 kg/hm^2(以 P_2O_5 含量计)。灌溉用淡水电导率为 1.1～1.6 dS/m,微咸水电导率为 5.4 dS/m。每次灌溉水量为 65～83 mm。由于小麦幼苗期对盐分比较敏感,为避免盐分的过度伤害,在冬前未利用咸水进行灌水[19]。

表 1　1997－2005 年冬小麦和夏玉米轮作灌溉试验处理

试验处理	冬小麦					夏玉米		
	底墒水	越冬水	拔节水	抽穗水	灌浆水	播种水	拔节水	抽雄水
充分淡水灌溉(FS)	√	√	√	√	√	√	√	√
关键淡水灌溉(FE)	√	—	√	—	√	√	—	√
充分咸水灌溉(SS)	√	√	○	○	○	√	○	○
关键咸水灌溉(SE)	√	—	○	—	○	√	—	○
不灌溉(C)	√	—	—	—	—	√	—	—

注:√表示该生育期内灌淡水;○表示该生育期内灌咸水;—表示该生育期内不灌水。

1.2.2　区域试验设计　按照曲周县地貌类型、土壤盐化状况及农业利用情况,于 2004 年在全县耕地选定了 82 个采样点,每个采样点分别采集 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土层的土样,用于测定土壤盐分含量。

1.2.3　不同地貌采样试验　于 2016 年 5 月份,在曲周县北部,从东到西,沿着垂直于地貌变化的方向,选择了 9 个点,每个点用 GPS 定位,挖掘土壤剖面、描述各土层的特征,并采集土样,然后进行土壤盐分和土壤质地的测定[20]。

利用 Microsoft Excel 2010, SigmaPlot 10.0, ArcGIS 10.0, Global Map, DPS 等软件对数据进行相关统计与分析。

1.2.4　测定方法　土壤电导率用电导率仪测定。CO_3^{2-},HCO_3^- 采用电位滴定法;Cl^- 采用 $AgNO_3$ 滴定法;SO_4^{2-} 采用 EDTA 间接滴定法;Ca^{2+},Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法;K^+,Na^+ 采用火焰光度计法进行分析。

2　结果与分析

2.1　微咸水灌溉对土壤潜在盐渍化的影响

经过 8 a(1997—2005 年)的试验研究可知(表 2),充分咸水灌溉的处理 0—40,0—100,0—180 cm 土体含盐量分别增加了 42.37%,63.51%,44.64%,这说明用微咸水灌溉土壤盐分主要积累在 40—100 cm 这一土层上。降雨和灌溉对土壤的淋洗作用主要影响 0—40 cm 土体,导致 40—100 cm 土体盐分的聚集。在干旱的年份(占平均年降雨量的 58.2%),充分咸水灌溉处理的 0—40,0—100,0—180 cm 土体含盐量百分比增量高达 129.60%,132.84%和 70.54%,比整个试验高出了 2～3 倍,特别是在表层,土壤盐分表聚非常明显。在降水的下渗和强烈的地下水蒸发作用下,土壤水分和盐分的运动非常活动[21],土壤可溶性盐含量高,进一步导致潜在盐渍化的发生。由于微咸水灌溉对土壤有淋洗作用和积盐效应,因此在干旱年利用微咸水灌溉需要慎重[22]。

表 2　微咸水灌溉条件下不同时期土壤中盐分的积累和运动状况

处　理	时段	土层/cm	a/(t·hm^{-2})	b/(t·hm^{-2})	ΔS		I_s/(t·hm^{-2})	ΔS 与 I_s 比值/%	ΔG	
					ΔS_1/(t·hm^{-2})	ΔS_2/%			ΔG_1/(t·hm^{-2})	ΔG_2/%
整个试验期	199803	0—40	0.22	0.31	0.09	42.37		0.09	−98.04	−99.69
	200503	0—100	0.52	0.85	0.33	63.51	98.13	0.34	−97.80	−99.14
		0—180	1.12	1.61	0.05	44.64		0.51	−97.64	−98.37
典型干旱年份	199810	0—40	0.27	0.63	0.35	129.60		2.24	−15.42	−96.10
	199910	0—100	0.64	1.48	0.85	132.84	15.78	5.37	−14.93	−90.96
		0—180	1.41	2.04	0.99	70.54		6.29	−14.78	−86.04
典型湿润年份	200210	0—40	0.33	0.18	−0.15	−45.06		−3.32	−4.60	−96.23
	200310	0—100	0.98	0.51	−0.47	−48.41	4.45	−10.65	−4.93	−90.70
		0—180	1.89	1.15	−0.74	−39.09		−16.62	−5.19	−81.82

注:$\Delta S_2=100\%\times\Delta S_1/a$;$\Delta G_2=100\%\times(\Delta G_1/a+I_s)$。$a$ 为开始时土壤含盐量;b 为结束时土壤含盐量;ΔS 为土壤含盐量的变化;I_s 为随灌溉水进入的盐分量;ΔG 为从下层土壤进入的盐分量。ΔS_1 为单位面积盐含量;ΔS_2 为土壤含盐量百分比;ΔG_1 为单位面积从下层土壤进入的盐分量;ΔG_2 为从下层土壤进入的盐分量百分比。

2.2　县域内土壤盐分状况分析

各土层盐分含量及分级由图 1 可知,全县 82 个采样点各土层盐分含量有较大的差异,0—20 cm 土层含盐量基本上处于非盐化状态,含盐量≤2 g/kg 的采样点达到了 72 个;只有个别采样点(如经过咸水灌溉的点、近年来开发的盐荒地)有轻微的盐化,含盐量 2～4 g/kg 的采样点只有 10 个。20—40 cm 土层含盐量主要是≤2 g/kg,有 66 个点;2～4 g/kg 的采样点有 10 个;含盐量大于 4 g/kg 的采样点 6 个。40—60 cm 土层含盐量也主要是≤2 g/kg,有 53 个点,占大约 50%;2～4 g/kg 的采样点增加到 19 个;含盐量大于 4 g/kg 的采样点 10 个。60—80 cm 土层含盐量

≤2 g/kg 的采样点下降到 48 个；含盐量在 2～4 g/kg 的采样点增加到 26 个；含盐量大于 4 g/kg 的采样点为 8 个。80—100 cm 土层含盐量≤2 g/kg 的采样点只有 40 个；含盐量在 2～4 g/kg 的采样点增加到 33 个；含盐量大于 4 g/kg 的采样点为 8 个。由此可见，在 1 m 土体内，随着土层的加深，土壤含盐量逐渐增多，盐分多在 40—100 cm 土层聚集。

不同土层各盐分离子的分布特征。由表 3 可知：县域内，土壤全盐含量有随着土层的加深而增加的趋势，从 0—20 cm 土层的 1.51 g/kg 增加到 80—100 cm 土层的 2.30 g/kg。各土层盐分组成变化主要表现为 HCO_3^- 有表聚现象，如表层和亚表层的 HCO_3^- 含量分别达到了 0.28 和 0.27 g/kg，而 40 cm 以下各土层的 HCO_3^- 含量只有 0.24～0.23 g/kg；K^+ 和 Na^+ 在各土层的积累特征不明显，变化在 0.30～0.33 g/kg；0—20 cm 土层的 SO_4^{2-} 含量为 0.44 g/kg，而 80—100 cm 土层的 SO_4^{2-} 含量达到了 1.18 g/kg，表明 SO_4^{2-} 的下移趋势很明显，由各土层的土壤全盐含量可知其他离子也均有下移的倾向。

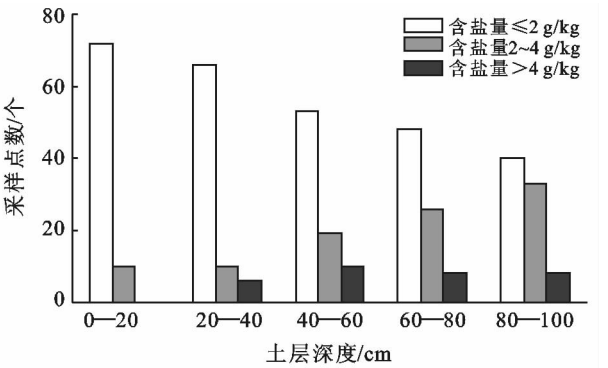


图 1 各土层盐分含量及分级

表 3 曲周县不同土层各盐分离子的平均含量 g/kg

采样深度/cm	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$K^+ + Na^+$	全盐量
0—20	0.28	0.18	0.11	0.04	0.44	0.30	1.51
20—40	0.27	0.24	0.25	0.05	0.81	0.33	2.12
40—60	0.24	0.24	0.28	0.06	1.01	0.30	2.12
60—80	0.23	0.21	0.32	0.06	1.18	0.31	2.31
80—100	0.23	0.20	0.33	0.05	1.18	0.31	2.30

2.3 微地貌对土壤含盐量的影响

由图 2,3,4 可知，河北省曲周县内研究区域的 9 个采样点由西向东微地貌发生了明显的变化，即整体上出现先增高后降低的趋势，而土壤盐分含量也随微地貌的变化而出现一定程度的增减变化。具体变化状况如图 2—4 及表 4 所示。

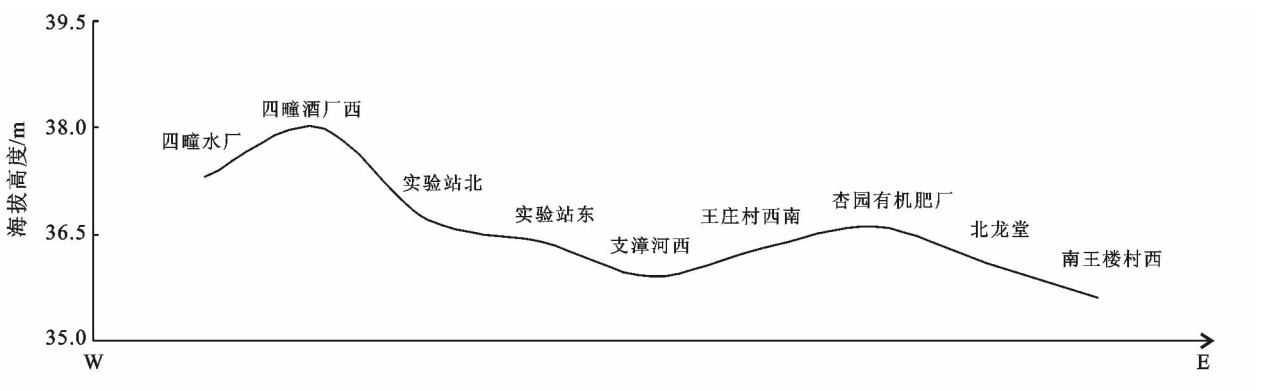


图 2 河北省曲周县内研究区域土壤断面分布

表 4 河北省曲周县内研究区域各采样点土壤断面状况

项 目	采样点								
	四疃水厂	四疃酒厂西	实验站北	实验站东	支漳河西	王庄村西南	杏园有机肥厂	北龙堂	南王楼村西
地 貌	决口畸形地	河间洼地	支漳河故道	决口畸形地	河间微倾平原	河间微倾平原	河间洼地	河间微倾平原	河间洼地
表层土壤质地	重 壤	砂 壤	轻 壤	轻 壤	轻 壤	轻 壤	轻 壤	轻 壤	中 壤

其中，四疃酒厂（宁魏线西四疃水厂西北角以北 30 m）的海拔高度为最高 38.0 m，其土壤盐分含量最高为 1.12 g/kg，其表层土壤为砂壤；南王楼村西（支漳河以西 213 m 四龙公路以北 100 m）采样点最低，为 35.6 m，土壤盐分含量最低，为 0.65 g/kg，表层质地为轻壤，说明在此区间内土壤盐分含量变幅随着微地貌的起伏而变化，并表现出很好的相关性（图 4），其相关指数 $R^2 = 0.76$，这与郑琦等[23]对玛纳斯河流域研究结果不同。

在土壤盐渍化过程中,微地貌因素(土地类型)至关重要,地形的高低起伏,影响地面、地下径流的运动,土壤中的水分和盐分也就随之发生分异和积累,其盐分组成及离子比例、积盐、脱盐过程存在差异[24-25]。

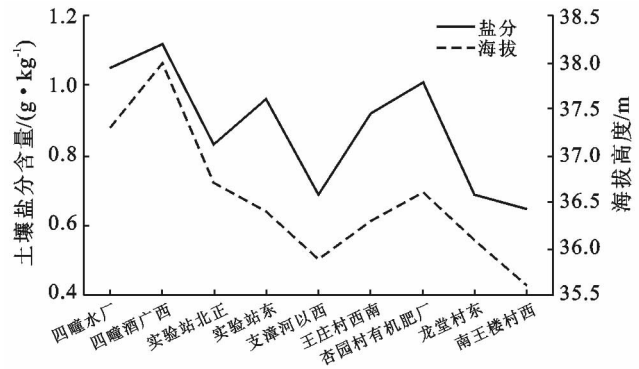


图 3　各位点土样盐分随海拔高度的变化

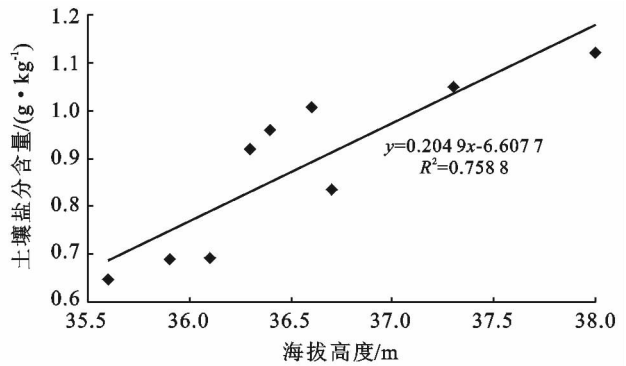


图 4　土壤盐分含量和海拔高度的相关分析

2.4　土体构型对土壤含盐量及离子组成的影响

图 5 为土体构型对土壤含盐量及离子组成的影响。如图 5a 中,四疃水厂西北观测点(37.3 m)的土体构型为:重壤—黏土—黏土—重壤—轻壤。该点土壤全盐含量随着土层深度而增加,从 0—32 cm(重壤)的 0.98 g/kg 增加到 121 cm 以下(轻壤)的 2.39 g/kg,因上层质地较黏重,土壤盐分不宜淋洗,同时又因为 121 cm 以下是轻壤土,并伴有锈斑的出现,说明下层的水盐运动较频繁,但由于上层有重壤,下部的盐分不宜上移和地下微咸水对土壤的浸润,而造成土壤盐分含量较高的局面。进一步研究表明:SO_4^{2-},Cl^-,Ca^{2+},K^+,Na^+ 的移动性较强,有随着土层的加深而增加的趋势,特别是在 121 cm 以下土层 SO_4^{2-} 的聚集达到了 0.70 g/kg;而 HCO_3^- 的表聚现象明显。根据土属划分标准及盐化度的分级[26]可知 120 cm 以下有轻微的盐渍化现象。

由图 5b 可知,四疃酒厂正北观测点(38 m)的土体构型为:沙壤—轻壤—沙壤—沙壤—重壤—沙土。土壤的全盐量呈现出在 53—91 cm 的轻壤层聚集较多的现象,达 2.61 g/kg,特别是 SO_4^{2-} 的聚集达到了 1.22 g/kg,Mg^{2+} 达到了 0.14 g/kg;在 91—124 cm 的沙壤层,出现了碳酸盐聚积体——假菌丝体,说明该土层持水性差,不利于盐分聚集因此土壤盐分处于淋洗状态,含量不高(1.52 g/kg)。再往下的沙壤层(124—146 cm),土壤含盐量略有积累,达 2.30 g/kg。在 146—158 cm 的重壤层,出现了锈斑,说明地下水主要在该层活动。

图 5c 显示,试验站西北观测点(36.7 m)的土体构型为:轻壤—轻壤—轻壤—沙壤—重壤。各土层的盐分最高含量表现出在 16—36 cm 的轻壤层,达 4.43 g/kg,Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的含量分别达到了 1.80 和 2.16 g/kg,并且出现了大量的白色斑点,初步判断是 $CaSO_4$ 的聚积体。从 36 cm 以下,土壤全盐含量又表现出逐渐积累的趋势,说明处于 132 cm 以下的重壤土层阻止了上层土壤盐分的下移。

图 5d 中试验站东(36.4 m)的土体构型为轻壤—轻壤—轻壤—沙壤—重壤。由于通体是轻壤或沙壤,通透性较强,盐分容易随水上升到地表而聚积,因此表聚现象较为明显。

由图 5e 可以看出,支漳河西的观测点(35.9 m)土体构型为:轻壤—轻壤—轻壤—沙壤—沙壤—中壤—沙壤。土壤全盐含量以 18—40 cm 的轻壤层、71—108 cm 的中壤层和 108 cm 以下的沙壤层为高,分别达到了 3.23,4.94,5.19 g/kg,并有随着土层的加深而聚积增加的趋势。

由图 5f 所示,王庄村西南(36.3 m)的土体构型为轻壤—轻壤—沙壤—黏土—沙壤,并且在 69—100 cm 的黏土层和 100 cm 以下的沙壤层出现锈斑和绣纹,土壤全盐含量主要以 30—69 cm 的沙壤层和 69—100 cm 土层居多,分别达到了 2.35,2.44 g/kg。

图 5g 中可以看出杏园有机肥厂观测点(36.6 m)的土体构型为:轻壤—轻壤—轻壤—沙壤—中壤—黏土,锈斑出现在 85—102 cm 的中壤层中。0—85 cm 土层土壤全盐含量表现出由高到低的变化趋势,从 85—102 cm 的中壤和 102 cm 以下的黏土层,则表现出土壤盐分的积累,达到了 1.77,2.59 g/kg。

图 5h 北龙堂观测点(36.1 m)的土体构型为:轻壤—轻壤—轻壤—中壤—沙壤—沙壤—重壤。在 56—72 cm 出现了重壤层,因此,其全盐含量达到了 1.71 g/kg,在 99—112 cm 沙壤层出现了锈斑。

图 5i 南王楼村观测点(35.6 m)的土体构型为:

轻壤—中壤—轻壤—黏土—沙壤。在 85—134 cm 黏土层出现了锈斑锈纹。在 33—85 cm 的轻壤层和 85—134 cm 土层有盐分的聚积，分别达 1.72 和 1.69 g/kg。

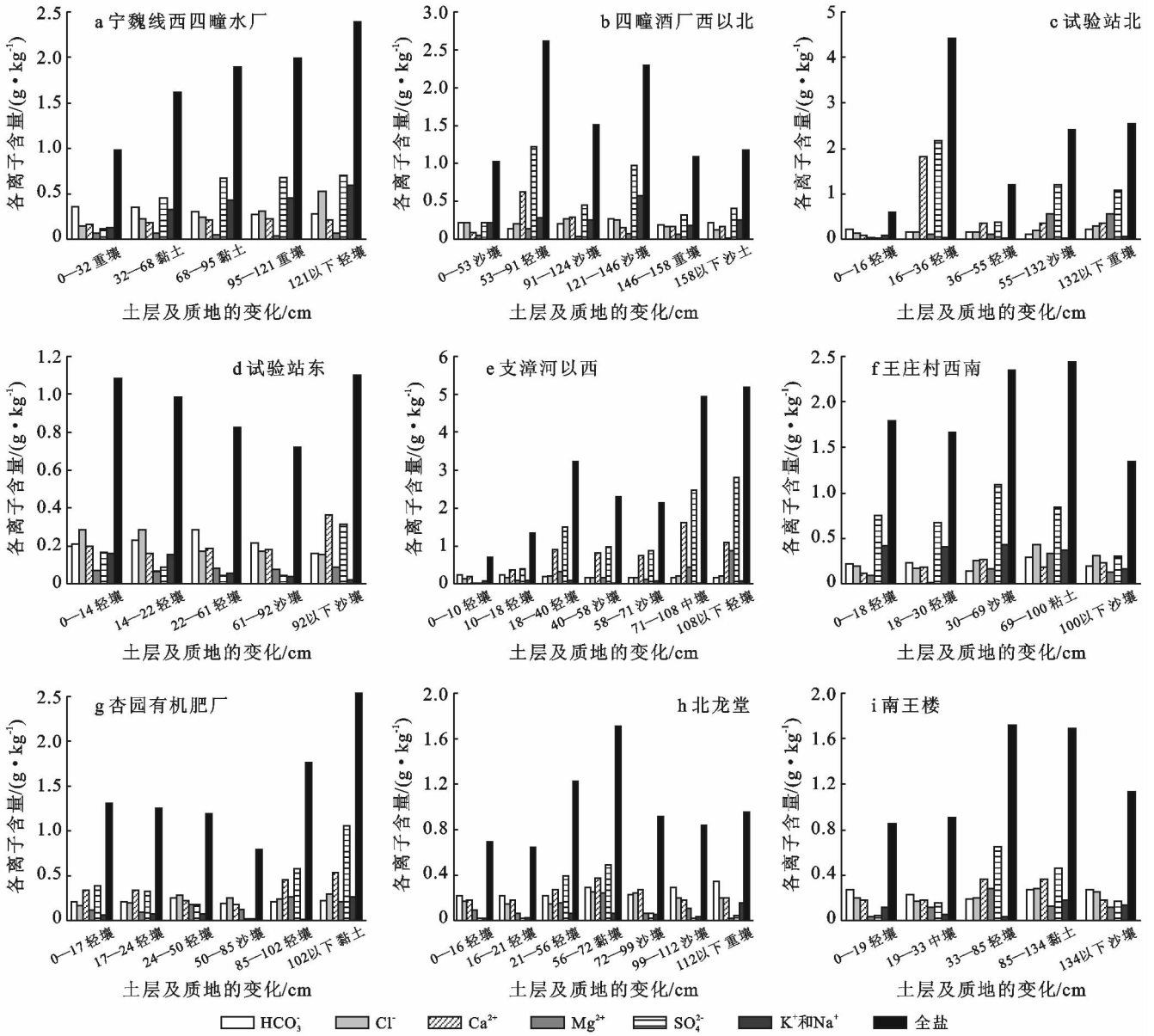


图 5 各个点位各盐分离子含量随的土壤层次及质地的变化

综上所述，从西到东 9 个点贯穿于曲周县全境，其地貌特征为从海拔 35.6 m 到 38.0 m，相差为 2.4 m。从土体构型来看，只有四疃水厂观测点 120 cm 以上为黏土或重壤土，下部为轻壤土；试验站正东观测点基本上是通体轻壤土或沙壤土；其它各观测点均为上部质地较轻，下部质地较为黏重，且较为黏重的土层基本上处于 56 cm 以下土层，这个黏重土层基本上阻止了土壤盐分的上下运移，因此土壤盐分主要聚积在该土层之上，从而为土壤潜在盐渍化创造了条件；锈斑或锈纹出现在 100 cm 土层及以下土层，说明土壤水分主要在这些土层活动，发生氧化还原反应，由此可见，在土体构型的不同深度土层出现质地类型的变化将会影响到土壤盐分的重新分配。进一步研究表明：在黑龙港流域，各观测点各土层土壤 SO_4^{2-} 离子与全盐含量之间达到了显著和极显著相关($0.88^{*}\sim1.00^{**}$)，试验站东观测点除外；各观测点，各土层土壤 Ca^{2+} 离子与全盐含量之间达到了显著和极显著相关($0.89^{*}\sim0.97^{**}$)，四疃酒厂、试验站东、王庄村西南观测点除外；各观测点，各土层土壤 Ca^{2+} 离子与 SO_4^{2-} 离子之间达到了显著和极显著相关($0.86^{*}\sim0.97^{**}$)，四疃酒厂、王庄村西南观测点除外。

2.5 地下水埋深的周年变化及其对土壤盐分的影响

地下水埋深是土壤发生盐渍化的决定性条件之

—[27]。如图 6 所示,由曲周县 1998—2012 年 5,9 月各观测站测得的数据可知,5 月的地下水位普遍较低,且较稳定;9 月份的地下水位较高,且变异性较大。2004 年是丰水年,经测定地下水埋深达到了 6 m 以上,而其余年份的埋深基本保持在 7—10 m。从年内变化来看,曲周县在 3—4 月开始春灌,因此在 5—6 月地下水位通常达到最低。在 7—8 月降水量增加,雨季降水对地下水的补给通过深层土壤的滞蓄,使地下水埋深有所回升[28],故 9 月份同 5 月份相比地下水得到补给,水位上升。"盐随水来,盐随水去",土壤水分的运移将会对土壤盐分运动产生重要的影响[29]。土壤盐分主要通过潜水蒸发由地下水带至土壤耕层,Miyamoto 等[30]通过研究发现长期用微咸水灌溉是造成土壤盐分含量增加的最主要原因。也有研究表明地下水位较浅时,即使地下水盐分含量较少,由于蒸发进入土壤中的水分较多也会携带较多的盐分,使土壤积盐[21,31]。因此,只有将地下水位控制在不致于因蒸发强度太大而使土壤表层积盐的深度,土壤才有可能不会发生盐渍化现象。

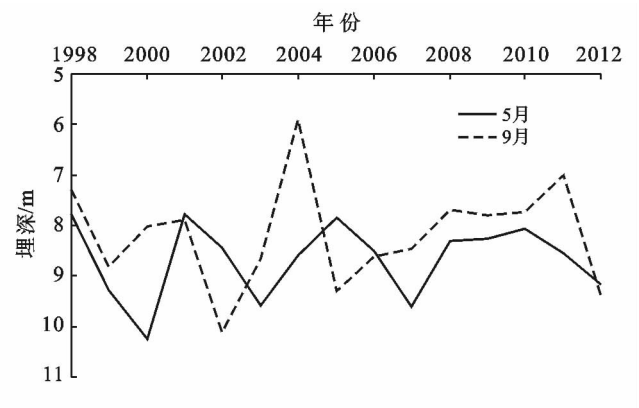


图 6　曲周县多年平均地下水埋深变化过程

3　结 论

本文通过长期田间微咸水灌溉试验、土壤剖面形态观测、曲周县域 1 m 土体分层盐分分析,从海拔高度、土层深度、地下水埋深、土体构型几个方面对曲周境内土壤盐分含量分布作了一定研究,得出以下结论:

(1) 8 a 的田间试验说明在 40—100 cm 土体盐分增量最高,降雨和灌溉对土壤的淋洗作用主要影响 0—40 cm 土体,导致盐分淋洗到下层土体并聚集。在干旱年份,充分咸水灌溉处理的土体含盐量比整个试验高出了 2～3 倍,因此在干旱年利用微咸水灌溉需要慎重。

(2) 在对全县 82 个采样点的测定中,发现 0—20 cm 土层含盐量基本上处于非盐化状态;20—40 和 40—60 cm 土层含盐量以≤2 g/kg 的为主;60—80 和 80—100 cm 土层含盐量在 2～4 g/kg 的采样点分别增加到 26 和 33 个、含盐量大于 4 g/kg 的采样点各为 8 个。可见,在 1 m 土体内,随着土层的加深,土壤含盐量逐渐增多,且盐分多在 40—100 cm 土层聚集。

(3) 海拔高度为 38.0 m 的点(最高),土壤盐分最高为 1.12 g/kg;海拔最低的点,土壤盐分含量最低为 0.65 g/kg,并表现出很好的相关性,其相关指数 $R^2=0.76$,说明在黑龙港流域,微地貌的高低起伏,影响地面、地下径流的运动,土壤中的水分和盐分也就随之发生分异和积累。

(4) 在土体构型的不同土层质地类型的变化会影响到土壤盐分的重新分配。在黑龙港流域土壤盐分的主要组成成分是 $CaSO_4$;各土层盐分组成变化主要表现为 HCO_3^- 有表聚现象;SO_4^{2-} 的下移趋势很明显,其他离子也都有下移的倾向。各观测点各土层土壤 SO_4^{2-} 离子与全盐含量之间达到了显著和极显著相关(0.88^{*}～1.00^{**}),个别观测点除外;大部分观测点各土层土壤 Ca^{2+} 离子与全盐含量之间达到了显著和极显著相关(0.89^{*}～0.97^{**});观测点各土层土壤 Ca^{2+} 离子与 SO_4^{2-} 离子之间达到了显著和极显著相关(0.86^{*}～0.97^{**})。

(5) 多年监测结果表明,黑龙港流域 5 月的地下水位普遍较低,且较稳定;9 月份的地下水位较高,且变异性较大,且有逐年上升的趋势。因此,只有将地下水位控制在不因蒸发强度太大而使土壤表层积盐的深度,该区域土壤才有可能不会发生盐渍化现象。

[参 考 文 献]

[1] 赵文举,唐学芬,李宗礼,等. 压砂地土壤盐分时空变异规律研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2016,24(1):12-21.

[2] Szabolcs. Review of research on salt-affected soils.[J]. Soil Science, 1979, 131(1):63-68.

[3] Szabolcs I. Agronomical and Ecological Impact of Irrigation on Soil And Water Salinity[M]. New York: Springer, 1986:189-218.

[4] 范晓梅,刘高焕,唐志鹏,等. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. 水土保持学报,2010,24(1):139-144.

[5] Chaudhuri S, Ale S. Long-term (1930—2010) trends in groundwater levels in texas: Influences of soils, land-cover and water use[J]. Science of the Total Environment, 2014,490:379-390.

[6] 姚荣江,杨劲松. 黄河三角洲典型地区地下水位与土壤盐分空间分布的指示克立格评价[J]. 农业环境科学学报,2007,26(6):2118-2124.

[7] 姜净卫,董宝娣,司福艳,等.地膜覆盖对杂交谷子光合特性、产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):154-158.

[8] Douaik A, Meirvenne M V, Tóth T. Statistical methods for evaluating soil salinity spatial and temporal variability [J]. Soil Science Society of America Journal, 2007,71(5):1629-1635.

[9] 夏江宝,赵西梅,赵自国,等.不同潜水埋深下土壤水盐运移特征及其交互效应[J].农业工程学报,2015,31(15):93-100.

[10] 谢承陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1993.

[11] Jordán M M, Navarro-pedreño J, García-sánchez E, et al. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions: Geological and environmental implications[J]. Environmental Geology, 2004,45(4):448-456.

[12] 赵欣胜,崔保山,孙涛,等.不同生境条件下中国柽柳空间分布点格局分析[J].生态科学,2011,30(2):142-149.

[13] 魏由庆,刘思义.区域土壤潜在盐渍化监测预报分区方法的研究[J].中国土壤与肥料,1987(6):1-6.

[14] 魏由庆.从黄淮海平原水盐均衡谈土壤盐渍化的现状和将来[J].土壤学进展,1995,23(2):18-25.

[15] Kovda, V. A. Origin and regime of saline soils[J]. Soil Science, 1949,67(1):71-78.

[16] 俞仁培,陈德明.我国盐渍土资源及其开发利用[J].土壤通报,1999,30(4):158-159.

[17] 牛灵安,郝晋珉,覃莉,等.盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究[J].土壤学报, 2005,42(1):84-90.

[18] 夏江宝,赵西梅,赵自国,等.不同潜水埋深下土壤水盐运移特征及其交互效应[J].农业工程学报,2015,31(15):93-100.

[19] Hamdy A, Abdel-dayem S, Abu-zeid M. Saline water management for optimum crop production[J]. Agricultural Water Management, 1993,24(3):189-203.

[20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.

[21] 赵秀芳,杨劲松,姚荣江.苏北典型滩涂区土壤盐分动态与水平衡要素之间的关系[J].农业工程学报,2010,26(3):52-57.

[22] 马文军,程琴娟,李良涛,等.微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):73-80.

[23] 郑琦,王海江,李万涛,等.玛纳斯河流域土壤盐渍化影响因素研究[J].农业资源与环境学报, 2016,33(3):214-220.

[24] 毛任钊,田魁祥,松本聪,等.盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系[J].土壤,1997,29(6):326-330.

[25] 刘庆生,刘高焕,薛凯,等.近代及现代黄河三角洲不同尺度地貌单元土壤盐渍化特征浅析[J].中国农学通报,2006,22(11):353-359.

[26] 中国土壤学会盐渍土专业委员会.中国盐土和碱土分类问题[M].南京:江苏科学技术出版社,1989.

[27] Ruan B Q, Xu F R, Jiang R F. Analysis on spatial and temporal variability of groundwater level based on spherical sampling model[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008,39(5):65-71.

[28] 孙仕军,丁跃元,马树文,等.地下水埋深较大条件下井灌区土壤水分动态变化特征[J].农业工程学报,2003,19(2):70-74.

[29] Liu Guangming, Yang Jingsong, Yao Rongjiang, et al. Electrical conductivity in soil extracts: chemical factors and their intensity[J]. Pedosphere, 2006,16(1):100-107.

[30] Miyamoto S, Chacon A, Hossain M, et al. Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water (I): Spatial variability[J]. Landscape & Urban Planning, 2005,71(2/3/4):233-241.

[31] 管孝艳,王少丽,高占义,等.盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J]. 生态学报,2012,32(4):1202-1210.