

成果与方法

山东省黄河下游地区盐渍土地球化学特征

季顺乐¹, 唐孟武¹, 赵云香², 崔元俊¹, 王存龙¹

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要: 山东省黄河下游地区盐渍土受地质构造、地形地貌、水资源、气象等因素控制。盐渍土的形成与水体地球化学作用等密切相关。根据盐渍土地球化学元素分布规律、植物群落分布状况, 将本区域划分成 3 个不同自然环境类型的地球化学分区和盐渍分区。为合理治理土壤盐渍化和系统规划农业布局提供信息。

关键词: 盐渍土; 环境地质条件; 地球化学特征; 分区; 山东省; 黄河下游地区

中图分类号: S155.2+93; P642.13 文献标识码: A

山东省黄河下游地区属于华北平原的一部分, 包括山前倾斜平原、黄泛平原及黄河三角洲, 明显受 NE 向和近 EW 向断裂构造控制, 略呈弧形环抱鲁中南丘陵山区展布。地面平坦, 海拔高程一般在 50 m 以下, 仅西北地区为 60 ~ 70 m; 地势沿黄河流向自西南向东北微倾斜, 坡降 $(0.1 \sim 0.2) \times 10^{-3}$ 。黄河贯穿鲁西北平原, 由西南向东北流入渤海^[1]。该区是山东省地势最低、地面最平坦的地区, 也是全省主要粮棉油、名优特产品和蔬菜生产基地及农业主产区。

该区土壤多以盐渍土为主, 从该区浅层土壤地球化学图上看, 地球化学元素均呈规律性分布, 并具有明显规律性分带现象。

1 盐渍土形成的环境地质条件

山东省黄河下游地区平均年降水量大约为 600 ~ 700 mm, 雨季 6—8 月份降水量占全年的 70% 左右。平均年蒸发量为 2 400 mm 左右, 蒸发量是降水量的 3.5 倍。年平均干燥度为 1.2 ~ 1.4。从气象资料可以看出: 该区干湿交替, 降水远远小于蒸发, 旱涝不匀, 常形成“春旱、夏涝、秋后再旱”的旱涝特点, 土壤出现春、秋返盐, 夏季淋盐的盐分运动规律。

该区沉积了巨厚的第四系松散堆积物, 形成了一马平川的广阔平原区, 明显受地质构造控制, 主要受近 EW 向齐河—广饶断裂和 NNE 向峰山断裂制约, 地

形上形成平原与山地丘陵的截然界线。该区覆盖着巨厚的冲积、洪积、海积、湖积粉细砂、中细砂及中粗砂砾石沉积物。自新生代以来, 一直处于沉降阶段, 接受了大量第四纪沉积物, 形成了厚达 1 000 ~ 3 000 m 的沉积岩系。

在第四纪松散沉积物中, 上部含水层主要由黄河冲积而成, 下部为河、湖相沉积。含水层可分为浅、中、深 3 层。浅层含水层以粉砂、细砂为主, 埋深一般在 20 ~ 40 m 间, 为潜水—微承压水, 赋存在土壤孔隙中。浅层地下水与土壤关系极为密切, 其分布受地表径流、古河道、古地貌等因素制约。山东省黄河下游地区地下水流向基本上与本区地形倾斜方向一致, 从西南向东北至东方向流动。浅层地下水动态为典型的渗入—蒸发型, 呈现季节性补给与就地蒸发排泄的特征。在古河道带、古河道边缘带及黄河沿岸, 浅层淡水较为丰富, 水化学类型主要以重碳酸盐硫酸盐型、重碳酸盐氯化物型为主, 矿化度为 $< 1 \text{ g/L}$ 与 $1 \sim 2 \text{ g/L}$ 之间, 古河道之间的地带多为氯化物重碳酸盐或氯化物硫酸盐型水。在德州与聊城一带, 矿化度为 $2 \sim 5 \text{ g/L}$, 靠近海边的滨海地区为氯化物型水。矿化度总的变化趋势是从西南向东北递增, 东部矿化度高达 $10 \sim 30 \text{ g/L}$, 个别地段甚至高达 100 g/L 。

从土壤组分来看, 本区土壤形成与黄河及其他

收稿日期: 2005-01-14; 修订日期: 2005-02-24; 编辑: 张天祯

作者简介: 季顺乐 (1962-), 男, 山东平度人, 高级工程师, 主要从事物化探、生态环境与 GIS 应用研究工作。

国家农业生态调查项目 (基 [2003] 16: 山东黄河下游流域生态地球化学调查)。

河流携带泥砂沉积有直接关系,土壤以砂土、亚砂土为主,向下夹砂质粘土,出现上粗下细特征^[2]。土壤一般较为松软,孔隙度相对较大,通透性良好,经测量土壤中含氧量一般在 15% 以上(按体积计),土壤中的孔隙宜于水、肥、气、热的贮存,为植物正常生长提供了良好的生态环境,这一良好的地理环境条件,为该区成为山东省农业主产区提供了物质保障^[3]。

在季风气候条件影响下,黄河下游地区沉积母质上发育而成的潮土处在自然积盐环境条件下,土壤水盐运动直接受古河道及其间带的分布规律控制和浅层地下水水化学条件的影响。由于综合条件的不均匀性,不同的地质、地貌、水文地质环境等影响而产生的各种不同程度的斑块状盐渍土、内陆或滨海盐土类型,在区内展现得较为明显。

根据山东省黄河下游地区土壤中含盐成分的多少、地质构造条件、地形地貌特征、水文气象因子等,经过综合分析,大体可将本区划分成 3 个不同类别的地球化学分区(图 1)。

Ⅰ类区:系指本区的西南部地区(鲁西南平原区),即菏泽市、济宁市的南四湖以西地区。

Ⅱ类区:系指本区的西北部地区(鲁西北平原区),包括聊城市、德州市和滨州市西部地区,即大体

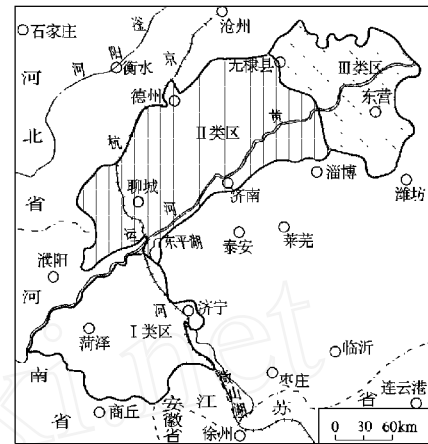


图 1 山东省黄河下游地区地球化学分区图

在无棣县城—阳信县城—滨州市区一线以西地区。

Ⅲ类区:系指本区的最东部地区(鲁北平原区及黄河三角洲地区),包括滨州市东部地区、东营市及黄河三角洲沿海地区。

上述 3 类区代表了 3 种不同的地球化学类型,各类型有其各自的特性(表 1)。这种差异正是地质环境不同、第四纪沉积厚度不同、地形地貌不同、水文气象不同、干湿度不同、浅层水矿化度丰缺等因素所致。

表 1 山东省黄河下游地区不同类区自然环境特征

分区	Ⅰ类区	Ⅱ类区	Ⅲ类区
范围	鲁西南区(菏泽市、济宁市南四湖以西地区)	鲁西北区(聊城市、德州市及滨州市西部地区)	鲁北区(滨州市东部地区及东营市)
气候雨量	半湿润,年降水 700~800 mm	半干旱,年降水 600~700 mm	半干旱,年降水 600 mm 左右
干燥度	1.2 左右	1.2~1.4	1.2 左右
地貌类型	缓平坡地、浅平洼地及决口扇形地	河滩高地、缓平坡地、浅平洼地、背河槽状洼地	滨海平原、黄河三角洲缓平坡地、浅平洼地
地质构造特征	受近 SN 向和近 EW 向断裂构造控制,形成两凸两凹地质特征,第四系覆盖较薄	受 NE 向隐伏构造控制,以凹陷为主的古—新近纪与第四纪沉积区	受凸起与凹陷相间排列的隐伏构造控制,第四系覆盖厚度可达 3 000 m
潜水矿化度(g/L)	1~2 为主,局部 < 1	1~3 为主,局部 > 5	5~30 为主,局部 > 100
水质分带	淡—咸—淡	上咸、下淡	全咸及上咸下淡
水化学类型	HCO ₃ ⁻ Ca(Na·Mg)	HCO ₃ ⁻ Na·Ca(Mg)	Cl ⁻ Na Cl ⁻ Na·Mg
盐渍过程	现代盐渍过程和碱化过程	现代盐渍过程和局部碱化过程	海水影响下的盐渍过程和局部碱化过程
盐渍化程度	轻度盐化,苏打集聚,中度碱化	轻、中度盐化,局部轻、中度碱化	重度盐化,局部出现碱化
土壤、地下水盐分状况比较	基本一致	基本一致,但土壤中 SO ₄ ²⁻ 含量较高	完全一致
改良利用特殊问题	碱性水,碱化土壤排涝问题	培肥地力,防治盐化和次生碱化	三角洲海湾滩涂利用,高矿化地下水改造利用问题

从分析中看出,受区域地质、地形地貌、第四纪沉积物厚度、地表水丰缺、浅层地下水运移、水文气象等诸多因子影响,本区形成的土壤大多为盐渍土类型。由于地质条件、地形地貌的差异及所处地理位置的不同,其土壤成分也会随之变化,由西南向东北盐度逐渐递增,盐渍化不断加剧,土壤不断贫瘠化,植物群落也出现明显的分带现象。

2 盐渍土地球化学特征

山东省黄河下游地区浅层土壤大多具有盐渍化特征,从土壤结构中可以看到,上部沉积物在风化、淋滤、分解过程中,产生新的化合物,以各种次生粘土矿物或各种氧化物以及更简单的成分存在。由于土壤发育过程或次生盐渍过程在水盐运移的影响下,引起土壤盐分的迁移、积累、蒸发浓缩,从而造成盐分在水平方向和垂直方向的重新再分配,这个过程发生在土壤胶体表面与土壤溶液中,使地下水可溶性盐分离子形成代换作用、淋溶作用、吸附性钠离子的水解作用、难溶盐的沉淀作用以及地下水与上部土层的盐分交替作用。另外在地面绿色植物(尤其是耐盐植物)的生长发育、成熟、死亡过程中,也可促使盐分离子的吸收、分解、移动或沉淀等,加之人工灌溉、排水作用所引起的土壤中元素的变迁交换,地下水在静止环境下盐分逐渐沉积,地下水在流动情况下盐分也随之迁移或排出等等原因,都能促使本区土壤向盐渍化转换。上述土壤盐渍化所形成的盐渍地球化学作用与区域地质条件密切相关。土壤中盐渍化强弱程度随时间、空间和生态环境条件的差异而有所不同。

该区水质以 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}$ 型为主,由于流水作用,河水会形成侧向渗透蒸发或蒸发与下渗交替过程,使 Na^+ 与 Ca^{2+} 发生离子交换作用,随着地表径流与地下盐水的上翻, Na^+ 逐渐代替 Ca^{2+} ,水质由 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}$ 型逐渐变成 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 型。说明 Na^+ 活动性大,其移动性和交换性要大于其他阳离子,所以 Ca^{2+} 往往被 Na^+ 取代,常形成盐分的明显增加,从西向东土壤盐渍化程度出现显著增高趋势。

综合分析本区土壤及浅层地下水地球化学图,根据环境地质条件的差异,水文因素的影响,本区可划为 3 个盐渍分区,这 3 个盐渍分区与前面所述 3 种不同类型的地球化学分区是基本一致的。类区:鲁西南低矿化碱性水质碱化盐渍区; 类区:

鲁西北矿化水质盐渍区; 类区:鲁北滨海高矿化盐渍区。

盐分离子在 3 个类区内有明显的差异性,不同类区盐分离子其盐化程度也明显不同,从类区类区类区盐分离子含量呈不断增加趋势,不管在变化幅度上还是规律性上均呈现出不同。类区盐分离子含量最高,其次为类区,最低的为 I 类区。从 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ 比值上看变化也是如此(图 2)。

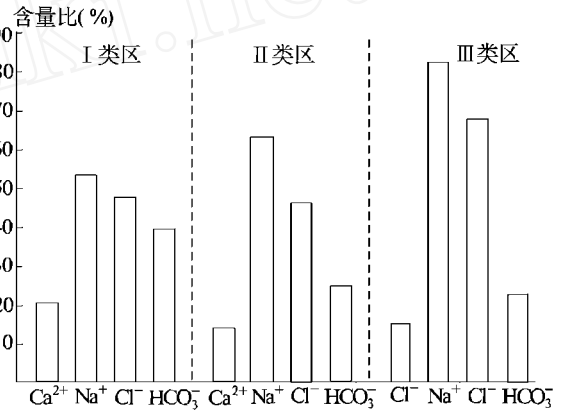


图 2 山东省黄河下游地区浅层土壤不同盐渍分区离子含量比直方图

全盐含量的多少,直接影响各区阴阳离子的组成以及水化学特性。

(1) 当全盐含量 $< 0.1\%$ 时,3 个类区阴阳离子组成有着明显差异,类区与类区以 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型为主,而类区则为 $\text{SO}_4^{2-} \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型。

(2) 全盐含量为 $0.1\% \sim 0.3\%$ 时,3 个类区的盐渍类型差异较大。I 类区以 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}$ 型为主,类区 SO_4^{2-} 明显增多,类区以 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \text{Na}$ 型为主。3 种阴离子含量比值基本相当,阳离子 Mg^{2+} 和 Na^+ 从类区到类区明显增加。总之,3 个类区盐分离子组成与土壤碱化程度关系较大,碱化程度从类区到类区也是由低向高变化,滨海地区也不例外。

3 个类区的 Cl^- 与 HCO_3^- 随盐分含量高低不同其相长规律也十分显著,但类区 SO_4^{2-} 和 Mg^{2+} 的含量比另 2 类区要高。

(3) 全盐量为 $0.6\% \sim 1.0\%$ 时,3 个类区盐分组成类型分异明显:类区为 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型;类区为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型;类区为 Cl^-

Na 型。所以,鲁西南地区(I 类区)为碱化土壤分布区,鲁西北地区(II 类区)为弱碱化土壤分布区,鲁北滨海地区(III 类区)以氯化物盐土为主。

从本区浅层土壤地球化学图上看出,除了土壤中有用元素呈规律性展布外,有害元素如 Hg, Pb, As, Cd 等也出现规律性分布,这些有毒元素的出现,很大程度上与工业废物、排放及治理不当所造成大量有害元素浓缩有关。通过地表水的径流,这些有毒元素经过长期淋滤沉积,在地形低洼处逐渐沉淀于土壤中。分析结果表明较为明显的是在有大量排放源的大中城市周围(如济南市、济宁市、聊城市、德州市以及滨州市等市区周围)出现高异常的有害元素状况,在这些城市周围土壤中有毒元素分布都较高,这与生态环境密切相关。

3 盐渍土水化学条件

该区为黄河下游冲积平原,其土壤是由上游经河流搬运、沉积堆积形成的客来土壤,其盐渍土水化学条件较为复杂,浅层地下水(指地表潜水)的水化学条件更受多种因素影响和制约^[4]。如地质构造条件、地形地貌特征、雨水渗入多少,地表水的渗漏强度、土壤中水盐的上下运移影响、水体流放、深层承压水的交替作用以及人工灌溉、排水作用等自然和人为因素的影响,均会使盐渍土水化学条件发生量与质的变化。

该区盐渍土中水矿化度的变幅与分布也呈现规律性变化,总的趋势是浅层地下水矿化度自西南向东北方向呈递增之势, I 类区 < II 类区 < III 类区。

I 类区矿化度以 1~2 g/L 为主; II 类区以 1~2 g/L, 2~3 g/L 为主(在徒骇河以南为 1~2 g/L, 以北为 2~3 g/L, 而在马颊河以北为 3~5 g/L, 高者可达 10 g/L 以上); III 类区以 5~10 g/L, 10~30 g/L 为主,海涂地带浅层地下水矿化度为 50~100 g/L, 有的高达 180 g/L 以上(图 3)。

该区南部位于鲁中山地丘陵边缘接触的冲洪积地带上,浅层地下水矿化度一般都很低,大约在 1~2 g/L 之间,随河水与地下水的运移,土壤盐渍化程度逐渐增加,矿化度越来越高,这与该区土壤地球化学特性有极大关系,尤其在滨海地带,因盐水倒灌,海水入侵,使大片土壤盐渍化,矿化度明显增高。

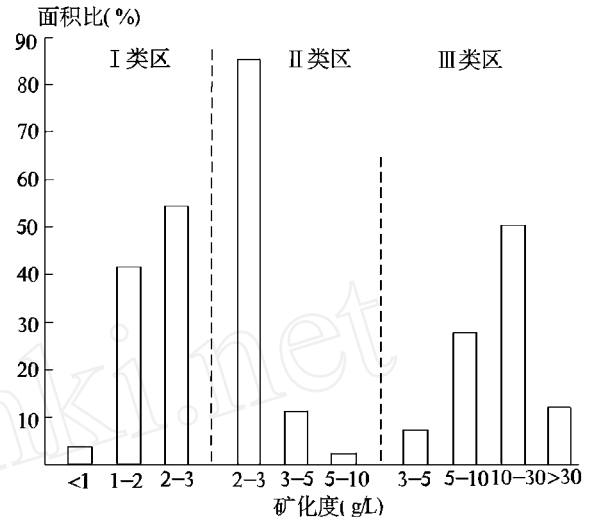


图 3 山东省黄河下游地区浅层地下水矿化度对比直方图

4 浅层地下水水化学类型

黄河下游浅层地下水水化学类型差异十分显著,它们随所处地理位置的不同呈规律性变化。不管是从历年来有关资料还是从浅层地下水地球化学图上均能看出,黄河下游地区浅层地下水出现碱性、中性和盐性水质,这种有规律性分布的浅层地下水水质,完全可以按照盐渍土地球化学分区原则进行划分,可将本区分成 3 种类型,这 3 种类型水质的酸碱度有很大差别。

I 类区:则以 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}(\text{Na} \cdot \text{Mg})$ 的碱性水质型为主,偶尔在个别地带出现 $\text{HCO}_3^- \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水质现象。

II 类区:以 $\text{HCO}_3^- \text{Na} \cdot \text{Ca}(\text{Mg})$ 或 Na 的低矿化碱性水质为主,并出现一定的 $\text{SO}_4^- \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 水质类型。

III 类区:以高矿化度的 $\text{Cl}^- \text{Na}$ 型和 $\text{Cl}^- \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水质为主,在个别内陆地带也会出现一定量的碱性水质 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$, $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \text{Na}$ 型存在,但 Ca 元素基本被 Na 元素替代。

从浅层地下水水化学类型特征上看,本区总的特点是 I 类区以低矿化度碱性水质为主; II 类区以中偏碱性矿化度水质为主; III 类区则以高矿化度盐性水质为主。而以 SO_4^{2-} 为主的浅层地下水化学类型仅在 III 类区个别地方出现,其他地区分布较少,这与土壤盐分离子的贫富有关,也有可能与 Ca, Na 元

素的硫酸盐溶解性较低、移动能力较弱、活动性不强有极大关系。所以,在浅层地下水中 SO_4^{2-} 赋存相对较少,盐渍土中积累相对较多。总之,山东省黄河下游地区浅层地下水水化学类型是随不同类型地区环境自然条件的差异、潜流特征以及化学作用等的不同,呈明显规律性递变。

经初步分析,和类区(或从徒骇河以南地区)低矿化碱性水的产生,可能与水质中阳离子代换作用和水化学离子交替作用有一定关系。因原始沉积物及浅层地下水中,一般会有典型的 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ 型淡水,这种水质从西往东运移过程中,往往受到入海三角洲和古河道间带矿化地下水的影响,海水的倒灌作用,逐渐使地下水和浅层土壤中水质类型产生相互化学作用,使 Ca^{2+} 逐渐被 Na^+ 或 Cl^- 所替代,地下水水质由低矿化度碱性水或中性水,在盐渍地球化学环境中,逐渐演变成高矿化度盐性水质。

5 盐渍土地球化学元素与浅层地下水水化学元素的关系

根据盐渍土地球化学元素与浅层地下水水化学条件互相因果关系,经初步综合分析,可以看出本区地球化学元素分布的一般特征:

(1) 山东省黄河下游地区所形成的盐渍土与该区的地质历史条件以及现代环境地学条件是密不可分的,土壤来自黄河与其他河流上游,在本区冲积而成,属客体土壤。其盐渍土的地球化学元素分布特征,直接受客体土壤、地质条件、地形地貌、地表水的

流向、地下水循环等差异影响,其中地质、地形地貌和区域水文地质条件起主导作用。

(2) 盐渍土与浅层地下水地球化学元素分布特征,直接受该区环境自然条件综合作用的制约,盐渍土壤与浅层地下水水质条件又存在内在的自然的直接关系,但随地区的不同地球化学元素含量也有所不同,两者呈明显正相关关系。

(3) 盐渍土和浅层地下水水化学成分 Cl^- 和 HCO_3^- 从西南往东北呈有规律的递变特征, HCO_3^- 比 SO_4^{2-} 的变化要明显得多,不同类型盐渍土与浅层地下水中的阳离子组成大多以 Na^+ 为主,而 Ca^{2+} 却从西向东逐渐减少,所以,随 HCO_3^- 的增长过程,会出现规律性碱化现象。

(4) 盐渍土地球化学元素随不同区域呈规律性变化,而植被与生态环境也出现规律性反映,掌握本区盐渍土地球化学元素变化规律,为规范和发展山东省黄河下游地区农业生态提供了信息。

参考文献:

- [1] 徐军祥,康凤新.山东省地下水资源可持续开发利用研究[M].北京:海洋出版社,2001.
- [2] 张俊民.山东省山地丘陵区土壤[M].济南:山东科技出版社,1986.
- [3] 李正积.地质与农业[M].成都:四川科技出版社,1986.
- [4] 武汉地质学院地球化学教研室.地球化学[M].北京:地质出版社,1979.

Geochemical Characteristics of Salted Soil in Lower Course Area of Yellow River in Shandong Province

Ji Shun - le¹, TANG Meng - wu¹, ZHAO Yun - xiang², CUI Yuan - jun¹, WANG Cun - long¹

(1. Shandong Geological Survey Institute, Shandong Jinan 250013, china; 2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, china)

Abstract: Salted soil in lower reach of the Yellow River is controlled by geologic structure, landforms, water resource and climate. The form of salted soil has close relation with geochemical actions of water bodies. According to distribution law of geochemical elements and distribution condition of phytocoenosis, this area can be divided into 3 geochemical and saline divisions with different natural environment types, which can provide information for managing soil salinization and making plan of agricultural arrangement.

Key words: Salted soil; environmental geoscience conditions; geochemical characteristics; divisions; Shandong province; lower course area of Yellow River