

寿光县滨海区土壤盐渍化学及水化学特性

陈介福 冯永军

史立本

(山东农业大学)

(山东省农科院)

山东省寿光县北部的滨海区系浅平洼地,海拔高程仅4~6米。历史上曾屡遭海潮侵袭。区内土壤剖面的下部土层普遍发育着一层沼泽性细土淤泥(内含有机残余物和贝壳),下接海相细沙,均属海相泻湖型沉积物。上部为河相泛滥沉淀物所覆盖。

本区土壤均发育在河相和海相双层结构的母质上,底土的盐分组成与海水一致。上部土层发育在河相沉积物上。据海洋地质资料载,莱州湾滨海区近10万年的地质史上,曾发生过3次大海侵,最后一次约1万年内^①。在海侵的影响下,土壤严重受渍,底土强烈盐化。由于滨海区浅层地下水均为海水型高矿化水,矿化度约30~80克/升。在多种因素影响下,引起高矿化地下水的上升,毛管水蒸发积盐。因为滨海地区海拔高程小,地表和地下径流极微弱,排水不良,水分垂直蒸发为主要的排泄方式,这是盐渍化的主要特点,在有灌无排的情况下,这种作用更为强烈。总之,本区土壤既受母质阶段的盐渍过程,又受成土阶段的现代盐渍过程的双重影响,土壤盐渍加重,底土积盐重于心土,但受季节蒸发作用的影响,表层0~5厘米或0~25厘米积盐更严重。土壤盐分组成和水化学成分与海水盐分组成相一致,这是本区土壤盐渍化学与水化学的主要特性。

一、土壤盐渍化学特性

(一)土壤盐渍化状况

据测定,本区土壤盐渍化程度差异十分显著。0—5厘米表土含盐量从0.5至70克/千克,多点平均含盐量为11.5/千克,0~20厘米平均含盐量为8.2克/千克,经统计,大约有30%左右的土壤剖面,属表层积盐严重而形成大面积盐渍荒地。

经对全区的多点统计,1米土体平均含盐量约为3.6克/千克。各个剖面点含盐量大体可分为5个等级(表1)。可以看出,含盐量大于7.0克/千克占总数的18.4%,而小于4.0克/千克的占的71.7%,其中小于2.0克/千克能适合粮棉等作物生长的占总数的47.1%。但由于作物苗期的耐盐力较差,因而不易出苗和保苗。因此,采取相应的播种技术和耕作管理措施是十分必要的。

(二)不同土层的盐渍化状况

表2表明,0~300厘米土层剖面中,每100厘米厚度的土体平均含盐量差异并不大,其中0~100厘米和100~200厘米土体平均含盐量更为接近;底土层200~300厘米土体含盐量稍

本文系国家“六五”、“七五”重点攻关项目研究论文之一。山东农业大学土化系1981、1982届部分毕业生参加此工作,谨表谢意。

① 山东盐务局,莱州湾和渤海湾滨海区海侵为害状况史料汇集,内部资料。

表 1 试区1米土体平均含盐量

含盐量 克/千克	<2.0	2.0~4.0	4.0~7.0	7.0~15	>15	合计
土壤剖面数	36	18	8	13	1	76
占总数%	47.4	23.7	10.5	17.1	1.3	100

表 2 不同土层的含盐量

层次深度(厘米)	0~5	0~20	0~100	100~200	200~300
加权平均含盐量(克/千克)	11.50	8.17	3.58	3.52	3.99
以最低量为1 各层比值	3.27	2.32	1.02	1	1.13

大于上、中部土层；0~5，0~20厘米表土层盐分积累最重，约为下部的2~3倍。

(三)土壤全盐量与离子组成的关系

滨海盐渍土的盐分以 NaCl 为主，但随着含盐量的变化，其离子组成及比例也发生相应的变化(表3)。滨海盐渍土盐分离子随含盐量变化的特点是：(1)随着含盐量的递减， Cl^- 占阴离子总量的百分数，从95%降至23%左右，其与 SO_4^{2-} 含量百分数的相对比值从21降为10，再降为2；而与 HCO_3^- 的相对比值从105降为14，再降为0.4。表明土壤含盐量高时， Cl^- 占绝对优势，含盐量减少时， Cl^- 含量相对降低，其与 HCO_3^- 含量相对比值降低幅度明显大于

表 3 土壤全盐量与离子组成关系

土壤含盐量 (克/千克)	阴离子含量(%)			$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	以 HCO_3^- 含量百分数为 1		
	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-		Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
大于10	94.7	4.4	0.9	21.5	105.2	4.9	1
7~1	88.9	7.9	3.2	11.3	27.8	2.5	1
4~7	85.2	8.8	6.0	9.7	14.2	1.5	1
2~4	69.7	12.8	17.5	5.5	4	0.7	1
1~2	43.3	12.3	44.4	3.5	/	0.3	1
小于1	23.6	13.3	63.1	1.8	0.4	0.2	1

据61个土壤剖面，300余层次盐分统计。山东农业大学土化系，1986。

SO_4^{2-} 。可以认为， HCO_3^- 在含盐量的组成中也占重要位置，因此 Cl^- 与 HCO_3^- 比值应是离子含量变化的重要标志；(2) SO_4^{2-} 随含盐量的变化不及 Cl^- 明显，大致有 2 个转变点，即当含盐量为 10 和 4 克/千克时， SO_4^{2-} 含量百分数，从 4.4% 提高到 7.9%，和从 8.8% 提高到 12.8%；(3) HCO_3^- 在不同含盐量时，变化极为显著，相差达 70 倍，其中较为明显的转变点为 4.2 和 1 克/千克；(4) 从不同含盐量的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 含量百分数的相对比值来看， $\text{Cl}^-:\text{HCO}_3^-$ 最显著，含盐量的转变应为 10 和 4 克/千克。

综上所述，可以看出：(1)滨海盐渍土的盐分组成不是稳定不变的，各离子的绝对含量与相对含量均随含盐量的增减而变化。 Cl^- 、 HCO_3^- 变化较显著，而 SO_4^{2-} 相对变化较小；(2)影响滨海盐渍土盐分组成变化较大的含盐量值为 10、7、4、2 和 1 克/千克。因此，10 克/千克可为滨海盐土的标准含盐量指标；7 克/千克可定为滨海盐土与滨海盐化土的界限；而 1 克/千克可作为盐化土和非盐化土的界限。据莱州湾滨海地区的盐分资料统计，亦有同样的趋势；(3)研究认为：莱州湾滨海盐渍土的离子组成中，具有指示性的阴离子为 Cl^- 和 HCO_3^- ， $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ 的比值变化较 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 为明显。而且， SO_4^{2-} 的含量即使在含盐量小于 1 克/千克，也不会超过 Cl^- 含量，而 HCO_3^- 含量则不然(表 3)。由此提出了值得进一步探讨的 3 个实际问题：①、在整个渤海湾、莱州湾地区，甚至其他滨海地区，是否均如此；②、鲁西北内陆地区，甚至黄淮海地区有何不同？③、能否用 $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ 代替 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ (至少在莱州湾地区)？(4)随着土壤含盐量和 Cl^- 含量的降低，则 HCO_3^- 增大，土壤 pH 也增大。因此，

滨海地区是否也存在着土壤脱盐碱化问题,值得深入研究;(5)莱州湾滨海盐渍土的 Cl^- 及 Na^+ 与含盐量成正相关,经统计,得出下列回归方程:

$$\hat{y} = 0.10024 + 0.058x_1 \quad r = 0.9995$$

$$\hat{y} = 0.004346 + 0.0926x_2 \quad r = 0.9979$$

式中: $\hat{y}$ 为土壤含盐量(克/千克); x_1 为 Cl^- 含量(cmol/kg); x_2 为 Na^+ 含量(cmol/kg); r 为相关系数。

Ca^{2+} , Mg^{2+} 含量虽也随含盐量增加而增多,但相关性差,幅度小。

二、水化学特性

(一)地下水的矿化度

本区地下水的矿化度受许多因素的影响。浅层地下水(潜水)均为高矿化的咸水和卤水,潜水表层由于长期受季节性雨水入渗淡化的影响,有1—1.5米薄层的低矿化水分布(矿化度2—3克/升),因受地形起伏的影响,呈不连续的层状;深层地下水均为低矿化的碱性水,矿化度约1.5—3克/升, pH 8.5左右。本区水的矿化度深受海水的影响。由于莱州湾滨海地区在地质构造上为缓慢的沉降区,黄河三角洲入海口大量泥沙南移堆积,因而,发育成平坦宽广的海涂多处,宽度达10余公里。这里埋藏着由长年累月海水浸没和蒸发浓缩作用形成的丰富的海水型高矿化地下水(即可供晒盐的卤水),据测定,有的可高达200克/升,一般也在100克/升左右。再者,由于陆地的缓慢上升,滩涂扩展,海水后退和河流的沉积覆盖作用,造成试区下部为海相沉积物(即昔日之海涂),而上部为河相沉积物。因而,在莱州湾沿岸的平坦地面下部普遍分布着高矿化地下水。为现今莱州湾地区卤水资源开发,提供了丰富的资源。据测定,此高矿化地下水的矿化度因受离子浓度和重力分异的影响,有随深度加深而增大的趋势,平均水深度增加1米,矿化度增加4克/升,直至水深达16—18米时,矿化度才渐趋稳定,约为90克/升左右。总之。水化学形成作用,大致可归纳为3方面:埋藏型海水及其浓缩作用的影响;雨水入渗淡化及季节性蒸发浓缩影响;人工灌溉及排水作用的影响。

(二)浅层地下水的矿化度与水化学类型

据分析,本区浅层地下水的矿化度,平均为15.2克/升,其中有明显淡化趋势的占36.2%,大于30克/升的占12.9%,居于二者之间的占51%(表4)。我们认为,只要区内抽卤(咸)井布局合理,不断抽取咸水,降低地下水位,增加淡水入渗,把地下水上升蒸发积盐过程变为下降淋盐和淡化表层潜水过程,就能使滨海地区自然排水不良的状况明显改善。

表4 全区浅层地下水的矿化度

矿化度 (克/升)	< 5	5~10	10~20	20~30	> 30	全区平均15.2
水样分析点数	8	29	39	13	13	102
占总数%	7.8	28.4	38.2	12.8	12.8	100

全区水化学类型较为单一,大多属 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型。在高矿化水中, Mg^{2+} 绝对量和相对量均有明显增加,出现 $\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型。随着地下水的淡化,水化学类型逐渐过渡为 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型和 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3-\text{Mg}(\text{Ca})$ 型。在低矿化度的情况下,可出现 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ (或 Mg) 型。

(三) 浅层地下水矿化度与离子含量的系关

表 5 资料表明：(1) 随着矿化度的增减，各阴阳离子的含量也发生相应变化。通常，阴离子比阳离子变化明显，尤以 Cl^- 和 HClO_3^- 变化显著，而阴离子的组成比例相对较稳定；(2) 无论矿化度大小，其阴离子组成始终以 Cl^- 占优势，平均占 80% 左右。从统计资料看，矿化度在 10 克/升和 5 克/升是 Cl^- 含量的两个明显变化点， HCO_3^- 含量也是如此；(3) HCO_3^- 在阴离子组成中虽属次要离子，但其含量的增加对水质的影响较大，并与 pH 值增大有直接关系；(4) 阳离子均以 Na^+ 为主，含量百分数稳定， Mg^{2+} 次之， Ca^{2+} 最少。 $\text{Na}^+:\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ 的百分含量比值，约为 7:2:1。由上述几点，可以认为：(1) 滨海盐渍土区浅层地下水的化学组成以 Cl^- 和 Na^+ 为主， NaCl 约占含盐量的 70~80%。同时，随矿化度增大，出现一定量的 MgCl_2 ，这是高矿化地下水的重要标志；(2) 随着矿化度减小， Na^+ 相对百分含量并不减少但 HCO_3^- 百分含量相对增多，因而，出现 NaHCO_3 的碱性水质，对此应予重视；(3) 滨海地区浅层地下水矿化度在 10 克/升左右时，可视为矿化水与高矿化水的分界标志；(4) 由于滨海地区地下水中 Ca^{2+} 含量仅占 8~10%，所以，要防止碱性水的形成及其所产生的不良影响，应设法提高水中 Ca^{2+} 的含量，以改良水质。

表 5 浅层地下水矿化度与离子组成关系

矿化度 (克/升)	阴离子			阳离子			$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$
	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca^{++}	Mg^{++}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$		
	(平均含量百分数)							
大于 30	91.7	7.1	1.2	8.9	18.6	72.2	12.9	76.4
20~30	90.7	7.5	1.8	10.6	17.6	71.8	12.1	50.4
10~20	90.0	6.6	3.4	9.5	19.4	71.1	13.6	26.5
5~10	78.7	12.3	9.0	10.3	15.4	74.3	6.4	8.7
小于 5	58.9	16.7	24.4	8.1	14.4	77.5	3.5	2.4

三、土壤盐分状况与水化学条件的相关性

(一) 土壤含盐量与地下水矿化度的关系

表 6 资料表明，土壤含盐与地下水矿化度有一定的相关性，当 1 米土体平均含盐量小于 4 克/千克时，地下水矿化度增大不甚明显；但当含盐量大于 4 克/千克时，地下水矿化度递增明显，从 12.6 增加到 22.8 克/升，递增 81%。表明地下水矿化度超过 10 克/升，土壤积盐过程十分强烈。

(二) 土壤盐分组成与水化学类型的关系

由表 6 的相关统计中可以看出，地下水的化学类型均以 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型为主，而土壤盐分组成则有所不同。轻盐化的土壤盐分组成以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型为主（主次位置同地下水型，以下同）， $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4(\text{Cl})-\text{Na}$ 型和 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$ 型次之；而中盐化土壤的盐分组成以 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$ 为主， $\text{Cl}-\text{Na}$ 和 $\text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 次之；至于重盐化土壤则以 $\text{Cl}-\text{Na}$ 为主， $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Na}$ 次之。由此看出，滨海盐渍土盐分组成与水化学类型，在不同盐化、矿化阶段，阳离子组成具有较好的一致性关系，而阴离子组成有明显的差异，这与内陆盐土区（山东德州、平原、夏津、禹城）的情况恰好相反。滨海盐渍土的这种特性，在表 3 和表 5 的统计资料中得

表 6

土 壤 盐 分 状 况 与 水 化 学 条 件*

盐渍化程度	1米土体含盐量(克/千克)	地下水矿化度** (克/升)	1米土体土壤盐分组成类型	地下水化学类型
非盐化 (脱盐化)	<1	9.3	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Ca}$	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主), $\text{Cl} \sim \text{Na} \begin{cases} \text{Ca} \\ \text{Mg} \end{cases}$ (为副)
轻盐渍化	1~2	10.5	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Ca}$ (为主) $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \sim \text{Na}$ (为副) $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \sim \text{Na}$	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主), $\text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Mg}$ (为副)
中盐渍化	2~4	12.6	$\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \sim \text{Na}$ (为主) $\text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Mg}$ (为副)	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主), $\text{Cl} \sim \text{Na} \begin{cases} \text{Mg} \\ \text{Ca} \end{cases}$ (为副)
重盐渍化	4~1	22.8	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主) $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \sim \text{Na}$ (为副)	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主), $\text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Mg}$ (为副)
盐 土	>1	23.7	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主) $\text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Mg}$ (为副)	$\text{Cl} \sim \text{Na}$ (为主), $\text{Cl} \sim \text{Na} \cdot \text{Mg}$ (为副)

* 按个别离子含量超过25%列入分类, 土壤、地下水的主要离子在前。

** 系多点平均值

到同样的结果。

综上所述, 本区的水化学条件受海水影响明显, 但土壤盐分组成主要不是受水化学和海水的影响, 而是取决于可溶性盐分的迁移和积累的盐渍地球化学规律。因此, 在改良盐渍土壤时, 要控制咸水中盐分通过毛管上升运动而在土壤上部的积累。为此, 采取农业和盐业相结合的农田工程体系布设抽咸井群, 调控咸水位, 对农业和盐业的发展都是十分有利的。

四、结 语

1. 寿光滨海盐渍土改良试区的土壤盐渍化既受沉积母质的盐渍过程, 又受成土阶段的现代盐渍过程的双重影响, 从而形成底土和表土盐分积累, 而心土层盐分相对较轻的特点。

2. 全区1米土体的平均含盐量达到中盐化程度, 由于盐化程度分布的不均匀性, 部分为非盐化土壤, 另一部份为重盐化盐斑地或盐荒地。在改良利用上, 要区别对待。

3. 滨海盐土的盐分组成中, 阴离子递变十分明显, Cl^- 与 HCO_3^- 相互消长, 直接影响土壤盐分组成类型与盐分特性, 而浅层地下水化学条件相对变化较小, 均为海水型。

4. 滨海盐渍土中 $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ 比值变化较 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 明显。

5. 在滨海高矿化地下水分布区, 可因地制宜开发利用或利用井群调控地下咸水位。采用农(业)盐(业)结合农田工程系统, 对开发滨海地区农业和盐业十分有利。