

土壤和地下水化学类型和垂向 主组分的动态

——以河北曲周盐渍土区为例

李韵珠 石元春

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘 要 以河北曲周县北部盐渍土区为基地, 重点研究了土壤和地下水以阴离子组分为基础的化学类型的动态, 以及主要化学组分的垂向变化和动态。根据土壤-地下水典型点的研究, 在 4 年研究时段内, 该区土壤化学类型的动态以季节变化类较多, 相对稳定类其次。地下水的化学类型则以相对稳定类较多, 转化类其次。相对于土壤而言, 地下水的化学类型较为稳定。从土壤-地下水主组分的垂向变化及其动态分析, 它们反映了所处的河流微地貌部位、气候和人为措施等的影响, 并遵循着地球化学组分的迁移规律。文中还提出了盐渍土化学类型的动态分类标准、确定主组分的简化指标和与其它学科统一的盐渍土化学分类指标和命名方法的初步意见。

关键词 盐渍土, 地下水, 化学类型, 动态类别, 主要化学组分

中图分类号 S156.41, P641.13

对盐渍土地区, 人们主要关注的是与农业生产密切相关的土壤和地下水含盐量的变化, 或与分类有关的土壤和地下水化学类型的确定^[1-5], 很少注意它们的主要化学组分和类型的动态。而这些变化恰好反映了自然和人为条件对土壤盐渍化的影响, 可用于了解该区盐渍土的演化方向, 从而采取对策。

本文重点讨论的是河北冲积平原曲周盐渍土区土壤和地下水化学类型的动态及土壤-地下水主要化学组分(简称主组分)的垂直分布和动态, 以及它们与气候和人为影响下的脱盐和积盐过程的关联。

1 条件与方法

研究地点选择在河北省曲周县北部盐渍土区, 面积约 253 km²。该区属漳河冲积平原, 土壤为盐化潮土和潮土相间, 地下水为浅层咸水区, 间有淡水^[6]。

研究方法是在冲积平原各微地貌部位选择 10 个土壤点, 对土壤含盐量和主要化学组分 CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 Na⁺ (和 K⁺) 每月进行采样和化验; 取样深度: 3、6、9、12 月为 0 至 2 m, 4、5、7、8、10、11 月为 0 至 1 m; 取样层次为 0~10 cm、10~20 cm, 20 cm 深度以下为每 20 cm 一层; 定位监测时段为 1987 年 3 月至 1990 年 12 月。10 个点中 154 点只有某些时段资料。

地下水监测点较多, 时段较长, 本文只选择与土壤点相对应的地下水点, 采用时段为 1985 年 3 月至 1990 年 12 月。水质取样和分析每季度一次(3、6、9、12 月)。点 160 无地下水观测资料。

以上土壤和地下水样品均用常规化学分析方法分析^[7]。

2 工作原则

在分析土壤和地下水的化学类型及其动态时, 为了便于分析问题和相互对应, 必须统一土壤学和水文地质学两个学科的一些传统分类、命名方法和划分的标准, 并且对土壤和地下水化学类型动态分类的划分标准作出规定。为此, 提出以下几点工作原则。

2.1 化学类型的划分与命名

本文以阴离子作为划分化学类型的依据,不论土壤或地下水,某阴离子(-)¹占阴离子总量(-)的百分数大于 25%²者列入命名和依相对含量的大小排序,将主要组分放在前面,与舒卡列夫地下水化学分类法^[8]相同。

土壤化学类型命名以传统的 0~20 cm 的单位土壤质量所含化学组分的 mmol(-)³数为基础,以 mmol kg⁻¹表示。地下水则以单位体积水体所含化学组分的 mmol(-)数为基础,以 mmol L⁻¹表示。由此再计算某一阴离子组分的相对含量。

2.2 确定主组分的简化指标

为简化起见,可用阴离子的两个比值作为确定地下水和土壤主组分的依据^[9]。即以 HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值来确定是否以 HCO₃⁻ 为主。然后,对非 HCO₃⁻ 为主者,用 SO₄/Cl 比值来确定以 SO₄²⁻ 为主,还是以 Cl⁻ 为主。

比值的界定依据:

(1) HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值的界定指标是 0.6。这是根据土壤和地下水的 HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值与土壤含盐量(SC, g kg⁻¹)或地下水矿化度(M, g L⁻¹)的统计得到的。两者均呈幂函数关系。

$$\text{土壤: } \text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4 + \text{Cl}) = 0.5391(\text{SC})^{-1.5917}, n = 3052, R^2 = 0.9115 \quad (1)$$

$$\text{地下水: } \text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4 + \text{Cl}) = 0.5509\text{M}^{-1.2155}, n = 211, R^2 = 0.7667 \quad (2)$$

$$\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4 + \text{Cl}) = 0.6361\text{M}^{-1.1978}, n = 109, R^2 = 0.6271 \quad (3)$$

式(2)的统计资料取自与上述土壤点相应的,由 1985 年至 1990 年的地下水资料。而式(3)的统计资料则取自 1989 年 3 月整个曲周盐渍土区 109 个观测井的地下水资料。

根据以上函数式可以得到,土壤含盐量为 1 g kg⁻¹时的土壤 HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值为 0.54。地下水矿化度为 1 g L⁻¹时的 HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值为 0.55 和 0.64。土壤和地下水的比值比较接近,取值 0.6,定为以 HCO₃⁻ 为主与以其它组分为主的临界比值,也是盐渍土与非盐渍土和咸水与淡水的临界比值。

(2) SO₄/Cl 比值以 1 为界定指标。凡 HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值 < 0.6,而 SO₄/Cl 比值 > 1 者,主组分为 SO₄²⁻。凡 HCO₃⁻/(SO₄+Cl) 比值 < 0.6,而 SO₄/Cl 比值 < 1 者,主组分为 Cl⁻。

综上所述,本文所用确定主组分的简化指标如表 1。

表 1 土壤和地下水确定主组分的简化指标

Table 1 The simple indexes for determining main chemical component of soil and groundwater

土壤含盐量或地下水矿化度 SC or M ¹⁾	比值 Ratio HCO ₃ ⁻ / (SO ₄ +Cl)	比值 Ratio SO ₄ / Cl	主组分 Main component
土壤含盐量 SC < 1 g kg ⁻¹	≥ 0.6		HCO ₃ ⁻
地下水矿化度 M < 1 g L ⁻¹	≥ 0.6		HCO ₃ ⁻
土壤含盐量 SC ≥ 1 g kg ⁻¹	< 0.6	< 1	Cl ⁻
地下水矿化度 M ≥ 1 g L ⁻¹	< 0.6	< 1	Cl ⁻
土壤含盐量 SC ≥ 1 g kg ⁻¹	< 0.6	≥ 1	SO ₄ ²⁻
地下水矿化度 M ≥ 1 g L ⁻¹	< 0.6	≥ 1	SO ₄ ²⁻

1) SG-土壤含盐量 Salt content of soil; M-地下水矿化度 Mineralization of groundwater

注: 1) (-) 是指以负电荷为单位; 2) 如按文献[3][5]中盐土土属的标准,主组分相对含量在 50% 以上者为主,则盐化土壤的主组分相对含量有时在 50% 以下时,将无法确定其化学类型; 3) mmol(-) 是指以负电荷为单位的 mmol

2.3 土壤和地下水化学类型动态的分类原则

土壤和地下水化学类型动态按以下标准划分为 3 类。(1) 相对稳定类: 主组分的优势地位在所研究时段内相对稳定。(2) 季节变化类: 主组分的优势地位受季节影响而变化。(3) 转化类: 主组分的优势地位在所研究时段内发生转化, 由另一组分所替代。

3 结果与分析

3.1 土壤的化学类型及其动态

将几个代表性土壤点的含盐量和各阴离子组分相对含量的动态表示于图 1。并将各点情况及其化学类型动态分类归纳于表 2。

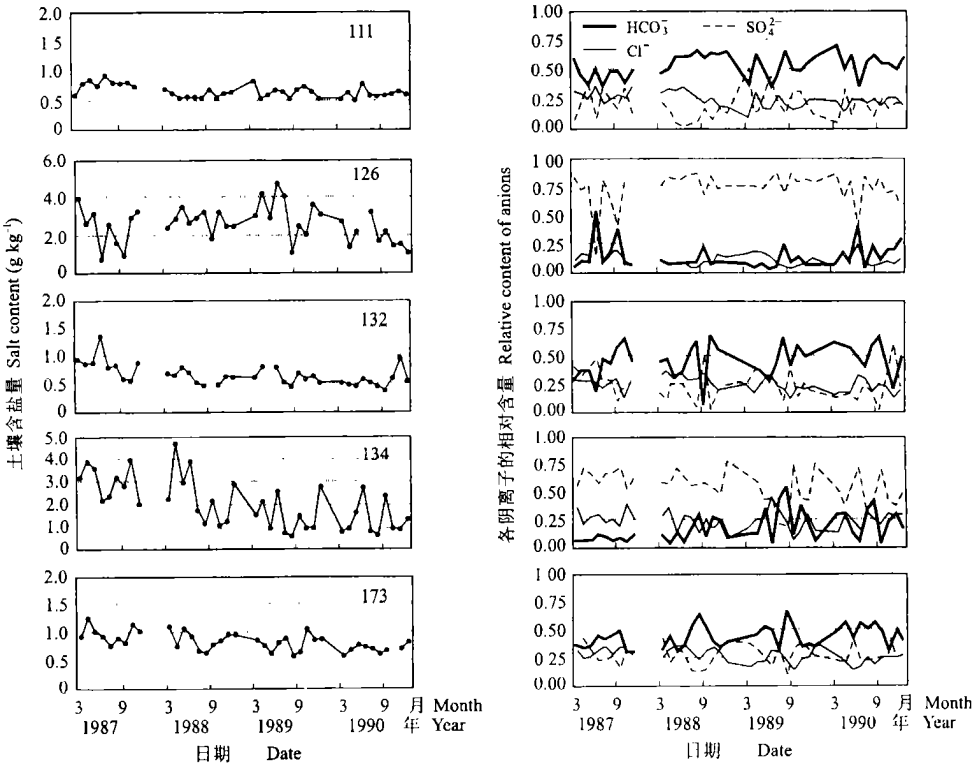


图 1 盐渍土区土壤(0~20 cm)含盐量和阴离子组分相对含量的动态

Fig. 1 Dynamics of salt content and relative content of anion components for soils in salt-affected soil area

由图 1 中各组分的相对含量变化可以了解各土壤点的化学类型及其动态。

从化学类型分析: 属 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}$ (S) 或 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{S}$ (Cl) 型的有点 102、111、132、160、173 和 175, 都属于非盐渍化土壤, 大部分点都有季节性轻微积盐; 属 SO_4^{2-} 型的有点 126, 为中盐化土壤; 属 $\text{S} \cdot \text{Cl}$ (H) 型的有点 134 和 144, 为轻-中盐化土壤。

土壤的化学类型动态有以下特点: (1) 季节变化类较多。由于土壤 0~20 cm 直接受外界条件, 尤其是季风气候的干湿季节影响, 使有的以 HCO_3^- 为主的土壤在旱季时短暂出现以 SO_4^{2-} 或 Cl^- 为主的现象, 如点 132 和 173 等; 或有的以 SO_4^{2-} 为主的土壤, 在雨季时出现以 HCO_3^- 为主的现象, 如点 144。这种情况大多出现在主组分平均相对含量在 50% 以下的土壤。(2) 相对稳定类其次。当某一组分含量较高 (一般在 50% 以上) 时, 虽也受外界条件的影响而相对含量有所波动, 但主组分仍处于优势地位, 如点 111 和 126。(3) 在所研究的几个土壤点在 4 年中未出现转化类。但可以肯定如在持续改良或条件持久恶化, 而研究时段较长情况下, 转化类的出现是必然的。

表2 盐渍土区土壤点的化学类型及其动态分类

Table 2 The chemical types and its dynamics classes of soils in salt-affected soil area

土壤点 No. of soils	平均含盐量 ¹⁾ Mean salt content (g kg ⁻¹)	平均相对含量 Mean relative content (%)			平均比值 Mean ratio		化学类型 Chemical types	动态类别 Dynamics classes
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H/(S+Cl)	S/Cl		
102	0.78	47	28	25	1.00	0.98	H•Cl(S) ²⁾ 为主, 间有S•H	季节变化类
111	0.65	54	25	21	1.26	0.98	H•Cl(S)和H	相对稳定类
126	2.57	14	12	74	0.19	8.33	SO ₄	相对稳定类
132	0.67	48	26	26	1.05	1.10	H•S(Cl)和H为主 间有Cl(S)•H	季节变化类
134	2.01	19	25	56	0.27	2.70	S•Cl(H)和S, 转化为 与H•Cl相间	相对稳定类 季节变化类
144	1.98	20	35	45	0.28	1.39	S•Cl(H)为主, 间有 Cl•S(H)和H•S	季节变化类
160	0.75	47	27	26	0.97	1.08	H•Cl(S)和H为主, 间有S•Cl(H)	季节变化类
173	0.85	44	27	29	0.85	1.16	H•Cl(S)和H为主, 间有S•H	季节变化类
175	0.63	50	28	22	1.08	0.91	H•Cl(S)和H为主, 间有S•H	季节变化类

1) 平均含盐量是指4年研究时段内对0~20 cm土层近40次测定值的平均, 平均相对含量和比值同义; 2) 用H代表HCO₃, 用S代表SO₄, H•Cl(S)表示除HCO₃•Cl型外, 还有少量的HCO₃•SO₄型, 下同

3.2 地下水的化学类型及其动态

将几个代表性地下水点的含盐量和各阴离子组分相对含量的动态表示于图2, 并将各点情况及其化学类型动态分类归纳于表3。

据以上资料可以了解该区地下水点的化学类型有: HCO₃•Cl型, 如点111、175等, 矿化度在1~2 g L⁻¹; SO₄•Cl型, 如点102和132, 矿化度在2~3 g L⁻¹; Cl•SO₄型, 如点134、144和154, 矿化度在8 g L⁻¹以上。

分析地下水化学类型的动态类别, 有以下特点: (1) 地下水和土壤相比, 地下水的化学类型变化较后者稳定, 表2中有6个属相对稳定类。(2) 属转化类的有点126、173和175。有的是由Cl⁻为主转化为以SO₄²⁻为主, 如点126; 有的是由HCO₃⁻为主转化为以Cl⁻或SO₄²⁻为主, 如点173和175。(3) 地下水主组分的相对含量有季节性的变动起伏, 但幅度较小, 所以表2中无一属季节变化类。(4) 对应的土壤和地下水点, 只有点111土壤和地下水两者的化学类型相同, 动态类别也一致。其它点两者的化学类型或动态类别并不一定相同, 如点102和132的土壤是以HCO₃⁻为主的季节变动类, 而地下水是以SO₄²⁻为主的相对稳定类; 点134土壤为以SO₄²⁻为主, 而地下水以Cl⁻为主。这种情况将在下一节中作详细讨论。

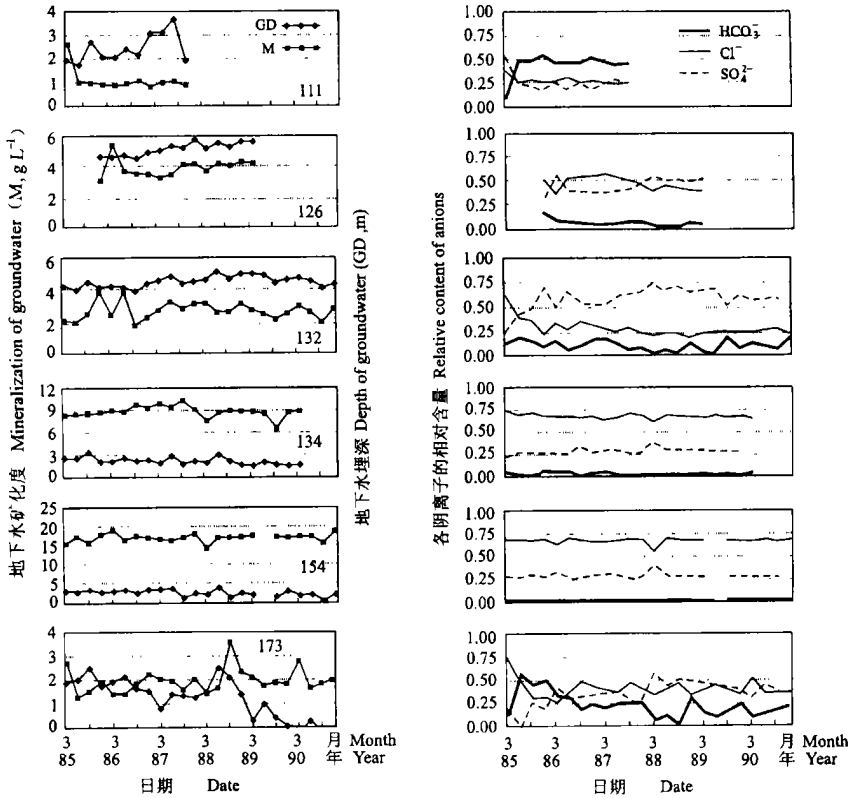


图2 盐渍土区地下水矿化度和阴离子组分相对含量的动态

Fig. 2 Dynamics of mineralization and relative content of anion components for groundwater in salt-affected soil area

表3 盐渍土区几个地下水点的化学类型及其动态分类

Table 3 The chemical types and its dynamics classes of groundwater in salt-affected soil area

地下水点 No. of GW ¹⁾	平均矿化度 Mean of M ²⁾ (g L ⁻¹)	平均相对含量 Mean relative content (%)			平均比值 Mean ratio		化学类型 Chemical types	动态类别 Dynamics classes
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H/(S+Cl)	S/Cl		
102	2.68	20	29	51	0.28	1.88	S•Cl(H)和S	相对稳定类
111	1.08	45	28	27	0.87	0.94	H•Cl	相对稳定类
126	3.82	6	48	46	0.07	1.01	Cl•S [→] S•Cl	转化类
132	2.70	12	29	59	0.14	2.19	S•Cl和S	相对稳定类
134	8.81	3	68	29	0.04	0.43	Cl•S	相对稳定类
144	10.43	5	70	25	0.06	0.37	Cl和Cl•S	相对稳定类
154	16.94	2	68	30	0.02	0.44	Cl•S	相对稳定类
173	1.95	23	41	36	0.34	0.91	H•Cl [→] Cl•S或S•Cl	转化类
175	1.45	32	46	22	0.52	0.56	H•Cl(S) [→] Cl•H或Cl	转化类

1) GW-地下水 Groundwater; 2) M-地下水矿化度 Mineralization of groundwater

3.3 土壤-地下水主组分的垂向变化和动态

3.3.1 主组分的垂向变化 研究区属河流冲积平原地貌类型,土壤-地下水主组分的垂向变化与其所处微地貌部位有着密切联系。将它们之间的联系表示于图3。

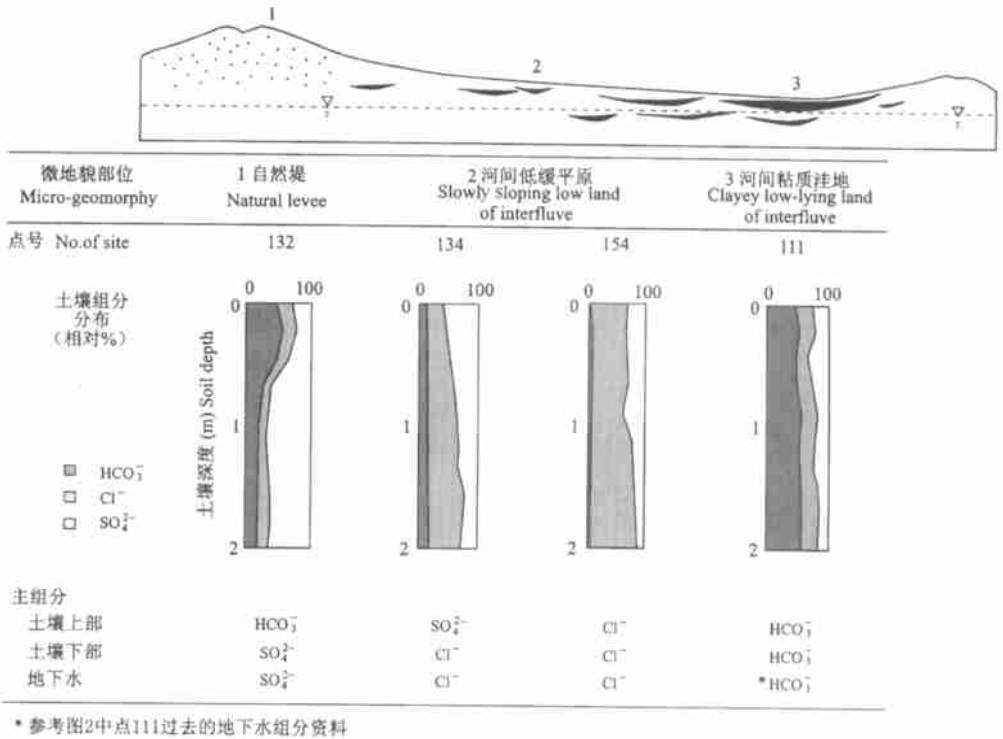


图3 微地貌类型与土壤-地下水组分的垂向相对含量

Fig. 3 The vertical profiles for relative contents of components in soil-groundwater on various micro geomorphologic elements

图3表示了本区河流冲积平原的微地貌单元上,土壤-地下水点132、134、154和111在3月的垂向组分相对含量。可以清晰地看到:

处于古河道自然堤部位的点132,其地下水埋深为4~5 m,矿化度在 3 g L^{-1} 左右(见图2)。由于地下水埋深较大,土壤盐分以淋洗为主,或有季节性积盐。因此,在化学组分方面,上部以 HCO_3^- 为主组分,而土体下部和地下水则转为以 SO_4^{2-} 为主组分。

河间低缓平原是土壤积盐较重地貌部位。以点134为例,地下水埋深在2 m左右,矿化度较高,平均 8.8 g L^{-1} 。由于已开垦为农田,有灌溉条件,在雨季和灌溉期间,土壤盐分有淋洗过程。因此,土壤上部以 SO_4^{2-} 为主,而土壤下部和地下水中则以 Cl^- 为主组分。点154也处于河间低缓平原,此点在所研究时段为荒地,无灌溉和其它改良措施,地下水埋深在2~3 m,其含盐量甚高,平均在 16 g L^{-1} 左右。土壤积盐过程强烈,因此土壤与地下水中都是以 Cl^- 为主组分。

处于河间粘质洼地的点111,地下水位较高,埋深在1 m左右,但属局部淡水区,土壤无积盐过程。其土壤和地下水均以 HCO_3^- 为主组分。

图3中还用简单的方法表示了各河流微地貌部位上的土壤-地下水主组分的垂向和水平的分布规律。

3.3.2 垂向主组分的动态 图4主要是用组分比值的等值线图表示土壤和地下水主组分的垂向变化的动态,也就是主组分在土壤-地下水中的时空变化。图4中a为含盐量等值线图;b为 $\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$

+ Cl) 比值(以下简称比值 1) 等值线图; c 为 SO_4/Cl 比值(以下简称比值 2) 等值线图; d 为地下水的比值动态图。

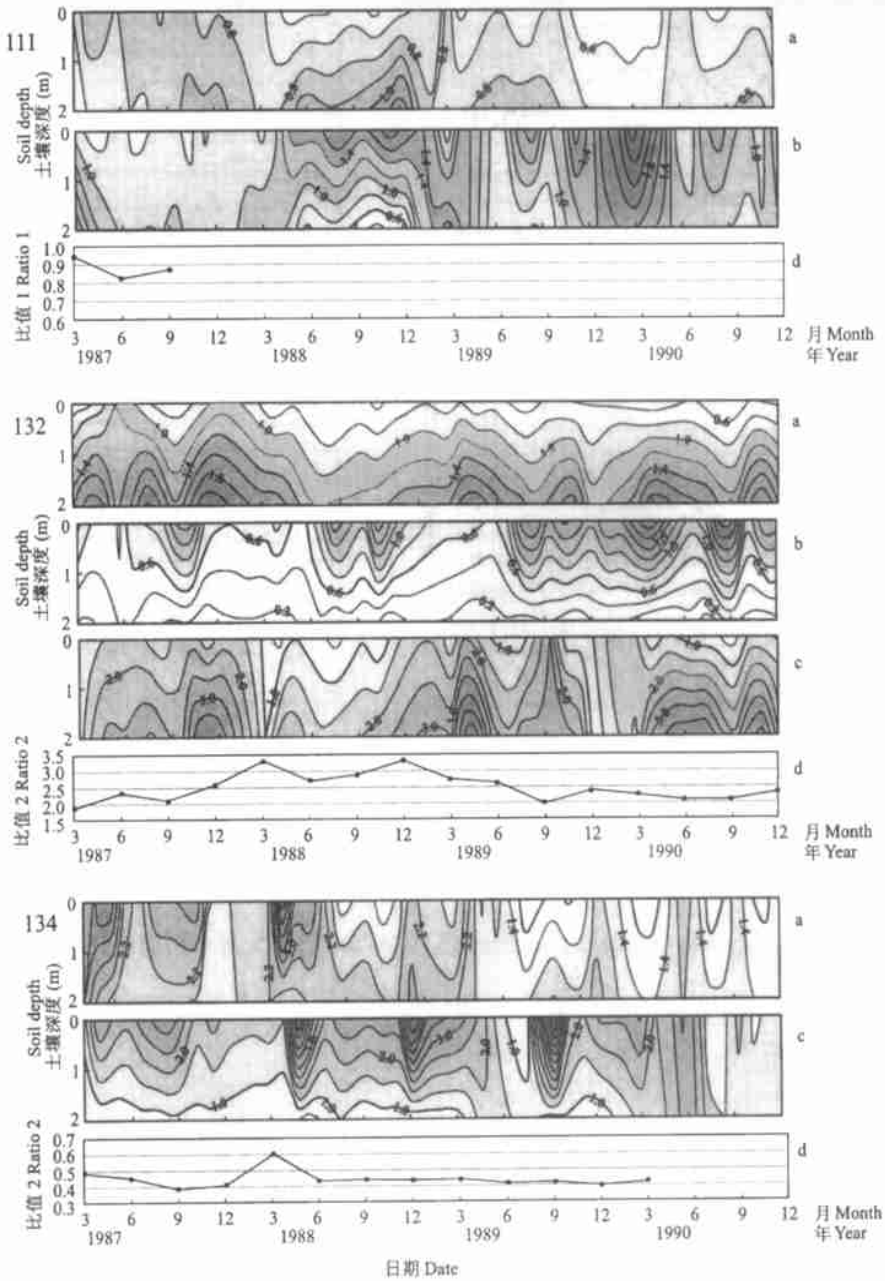


图 4 土壤和地下水的组分比值和土壤含盐量(g kg^{-1}) 等值线图

Fig. 4 The contour maps of salt content (g kg^{-1}) and the ratio of components for soil and groundwater

图 4 中, 处于河间粘土洼地的点 111 在 4 年中土壤和地下水的比值 1 都大于 0.6, 2 m 土体的含盐量都在 1 g kg^{-1} 以下。这种以 HCO_3^- 为主组分的垂直分布状况, 在 4 年中一直如此, 相对稳定。但含盐量和比值 1 都随时间有起伏变化, 主要与降雨量的季节变化和灌溉有关。

处于自然堤部位的点 132 在 4 年中 2 m 土体的表层或上部比值 1 大于 0.6, 以 HCO_3^- 为主组分, 含盐量都在 1 g kg^{-1} 以下。土体下部比值 1 小于 0.6, 比值 2 大于 1, 在 2~3 之间, 含盐量在 1 g kg^{-1} 以上。地下水比值 2 也大于 1, 即以 SO_4^{2-} 为主组分。4 年中这种格局基本不变, 但是可以看到, 一是有季节波动, 即有时旱季表层比值 1 可以降到 0.6 以下, 土壤含盐量可达到 1 g kg^{-1} 以上; 二是含盐量和比值 1 的临界值 (1 g kg^{-1} 和 0.6) 线条 (深色黑线) 随时间而逐步下移, 说明在研究时段内, 脱盐过程逐步加强。可能与该区排水条件的改善, 地下水埋深有所加大有关 (见图 2)。

处于河间低缓平原的点 134 在 4 年中 2 m 土体含盐量都在 1 g kg^{-1} 以上, 只有后期在降雨季节和灌溉期间, 表层盐分降至 1 g kg^{-1} 以下。比值 2 在 2 m 土体中, 除底部外, 均大于 1, 即以 SO_4^{2-} 为主组分。土壤底部和地下水中比值 2 小于 1, 以 Cl^- 为主组分。4 年中从土壤含盐量的逐步降低, 并出现季节性的 HCO_3^- 型, 以及土壤底部比值 2 的临界值线 (1.0) 的逐步下移, 都说明了在此时段该点也出现了逐步脱盐的过程。但从地下水埋深看 (图 2), 并无大的变化, 主要原因在于该点在灌溉条件方面有所改变, 改为以种植小麦为主, 使土壤盐分的淋洗过程稍有加强。

4 结 论

盐渍土区土壤和地下水化学类型的动态在自然和人为条件影响下, 可分为三种类别, 即相对稳定类、季节变化类和转化类。

该区土壤的化学类型动态受季风气候干湿季节分明的影响较大, 因此季节变化类较多, 而相对稳定类较少。地下水的化学类型动态受环境影响较为滞缓, 因而相对稳定类较多, 转化类其次。有季节变化, 但不如土壤明显。两者在化学类型方面不一定相同。

土壤-地下水主组分的垂向变化的基本特点主要与所处地貌部位有关。而土壤-地下水垂向主组分的动态, 则与季风气候下干湿季节分明和这个时段在人为改良措施, 尤其是排水系统和灌溉条件方面的改善有着密切的联系。

总之, 在盐渍土区各微地貌部位上, 随着自然和人为环境条件的变迁, 土壤-地下水的化学类型、主组分的垂向分布和它们的动态均遵循着地球化学组分的迁移规律, 而呈水平和垂直方向的变异。

最后, 作者认为相关学科之间在化学类型的分类和命名方面, 应趋向统一, 这将有利于学科间的交流和发展。

参考文献

1. 石元春, 李韵珠, 陆锦文. 盐渍土的水盐运动. 北京: 北京农业大学出版社, 1986. 9~21
2. 萨伯尔奇 I. 著. 葛苏译. 盐渍土研究综述. 北京: 北京农业大学出版社, 1987. 39~63
3. 中国土壤学会盐渍土专业委员会编. 中国盐渍土分类分级. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. 1~11
4. 石元春, 李保国, 李韵珠, 等. 区域水盐运动监测预报. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1991. 102~112
5. 王遵亲, 等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. 130~137
6. 石元春, 辛德惠, 等. 黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理. 石家庄: 河北人民出版社, 1983. 1~11, 139~169
7. 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1984. 202~208, 211~213, 219
8. 刘兆昌, 张兰生, 聂永丰, 等. 地下水系统的污染与控制. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 101~102
9. 李韵珠, 陆锦文, 吴金绥. 河北曲周盐渍土区的地下水化学特征. 土壤学报, 2001, 38(3): 341~352

DYNAMICS OF CHEMICAL TYPES AND MAIN COMPONENTS IN VERTICAL PROFILE OF SOIL AND GROUNDWATER SALT-AFFECTED SOIL AREA IN QZHOU, HEBEI

Li Yun-zhu Shi Yuan-chun

(*College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China*)

Summary

The dynamics of chemical types and main components in vertical profile of soil and groundwater in salt-affected soil area are focused in this paper. The results from the typical sites of soil-groundwater during 4 years show that most of the dynamics classes for soil chemical types in this area are seasonal variation class, the next is relative steady class. For the chemical types of groundwater, most of the dynamics classes are relative steady class, the next is transform class and no seasonal variation class. The dynamics of chemical types for groundwater is steadier than that for soil and the chemical type of groundwater is not always coincident with that of soil at same site. The dynamics of the vertical variations for main component in the soil-groundwater reflects the influences of landform, climate, man-made measures and the migration law of geochemical components.

The principles of the classification for the dynamics of chemical types of salt-affected soil and groundwater, the simplified indexes for determining the main components and the unity of the indexes and nomenclature of chemical classification for the salt-affected soils and groundwater with other disciplines are put forward in this paper.

Key Words Salt-affected soils, Groundwater, Chemical types, Dynamics classes, Main chemical component