

塔里木河干流景观地球化学特征及影响因素研究^{*}

黄 青^{1,2}, 李丹丹¹

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 首先概述了景观地球化学在国内外的研究现状, 然后以干旱区内陆河的典型代表——塔里木河干流为例, 对地表水系统的水文地球化学特征、土壤元素的地球化学特征及不同植被类型的生物地球化学特征分别进行了系统分析。最后对影响塔里木河干流景观地球化学环境演变的自然及人为因素进行了分析。自然因素包括气候、地质、地形地貌及水文地质地球化学环境因素等, 而在塔里木河流域开展的大规模水利工程及人类的农业生产活动是该区景观地球化学环境演变的重要动力因素。

关键词: 景观地球化学; 水文过程; 干旱区; 塔里木河; 驱动因素

中图分类号: P596 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2008)05-0088-05

Characteristics of Landscape Geochemistry and Influential Factors in Tarim River Basin

HUANG Qing^{1,2}, LI Dandan¹

(1. Key Laboratory of Resource Remote Sensing and Digital Agriculture, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: This article has first outlined the current situation in the study of landscape geochemistry both at home and abroad, and then took the Tarim River, a typical representative of Inland River in arid zone as the case study. The hydrological geochemistry characteristic of surface water, the soil element geochemistry characteristic and the different vegetation type biogeochemistry characteristic were analyzed separately. Finally, the natural and human factors which affected the evolvement of landscape geochemistry environment were analyzed. Natural factors includes climate, geological, terrain landform and hydrology geochemistry environmental factor and so on, and large scale hydraulic engineering and humanity's agricultural production activity are important power factor in the evolvement of landscape geochemistry environment in the Tarim River basin.

Key words: landscape geochemistry; hydrology process; arid zone; Tarim River; driving factors

1 引 言

景观地球化学主要研究地表景观中的化学元素在岩石、土壤、植被及水分等景观中的分布、分配、迁移、富集的过程和机制^[1]。近年来,国外尤其是俄罗斯景观地球化学研究发展迅速,主要集中在地球化学、土壤科学、生物地球化学、医学地理、辐射生态学等方面。我国的景观地球化学系统研究工作始于 20 世纪 70 年代末,研究主要集中在特定区域矿床的地球物理、地球化学分异及痕量元素在土壤、植被、水等介质中的分布、迁移等方面。景观地球化学的兴起为研究生态系统生态过程提供了重要的理论支持。景观地球化学给生

态学、地质学和地理学都带来了新的思想和新的方法,已成为生态学、地质学和地理学的前沿交叉学科之一^[2]。

生态水文过程与景观地球化学元素之间有密切的关系。许多学者对生态系统中的生态水文过程与生物地球化学过程的耦合关系进行了研究。如 Carlos J O (2006) 等研究了澳大利亚西部农田积水区径流产生与生物地球化学耦合机制^[3]; Bernard R (2005) 等研究了生态水文过程与 Al、Fe 等痕量元素动态变化的关系^[4]; Chapin F S (2002) 在陆地生态系统生态学原理一书中对生态系统中水循环、生物地球化学循环等进行了详细的分析^[5]; 张佳华 (2002) 等研究了陆面过程的发展历程与植物生态过程的耦合状况等^[6]; 潘爱芳等人

^{*} 收稿日期: 2007-11-07
基金项目: 由国家 973 项目 (2007CB106806); 863 项目 (2006AA10Z241); 国家科技支撑计划 (2006BAD16B05 2); 中央级公益性科研院所专项资金 (2008IARRP03); 中科院知识创新方向性项目 (KZCX3-SW-327) 共同资助
作者简介: 黄青 (1978-), 女, 新疆昌吉人, 助理研究员, 主要从事农业资源环境方面的研究。E-mail: hqjing@caas.net.cn

认为鄂尔多斯盆地的地基底断裂控制了盆地的环境地球化学景观和元素分布特征,并对此进行了研究^[7]。这些研究对深入理解生态系统的生态过程及区域生态环境自然要素的景观地球化学特征具有重要意义。

塔里木河干流由于自然条件和人类活动的影响,生态环境十分脆弱,主要的景观地球化学问题是土壤盐渍化。研究塔里木河干流生态水文过程影响下景观地球化学特征及其发生演化的影响因素,对认识区域土壤中盐分的分异规律,对指导人们进行科学灌溉和排水,防治土壤盐渍化、保持土地质量,提高农田系统生产力都具有重要意义。

2 研究区概况

塔里木河是我国最大的内流河,位于天山南麓的塔里木盆地中,自西向东沿着塔克拉玛干沙漠北部边缘蜿蜒穿行,到达 87°E 的地方再折向东南。塔里木河具有明显的大陆性气候特征。干旱少雨,多年平均降雨量 17.4~ 42.8 mm,且降水变率很

大。蒸发强烈,年蒸发量达 2 300~ 3 000 mm。四季气候悬殊,温差大,日照时间长,光热资源丰富,多风沙、浮尘天气等。塔里木河流域土壤比较简单,主要土类有胡杨林土、草甸土、沼泽土、盐土、残余沼泽土、残余盐土、龟裂土、风沙土和绿洲潮土等。天然植被类型少,植物群落结构简单,分为胡杨林、灌木和草本 3 种类型,是我国植物种类最贫乏的地区之一^{〔8-10〕}。

3 塔里木河干流的景观地球化学特征

3.1 地表水系统的水文地球化学特征

地表水系统的水文地球化学特征受流域地球化学环境、土壤环境、水的补给方式、径流条件、排泄方式及气候和植被等因素的综合影响,水的化学组成及含量特征都具有地域性的差异。就整个流域来说,河流携带的沉积物沿程不断沉积,河床来回摆动,加上气候干燥,蒸发强烈,并受人类活动的严重干扰,河流下游盐类聚积,水体盐度不断上升,导致下游低平原区的水体含盐量大。

表 1 塔里木河干流地表水系统的水文地球化学特征 g/L

地 点	经纬度	矿化度	全盐	pH	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
英巴扎	N41° 16' 41" E83° 13' 72"	0.96	0.949	7.82		0.118	0.269	0.265	0.057	0.044	0.196
喀尔曲尕	N40° 58' 38" E85° 28' 44"	0.83	0.848	8.71	0.006	0.073	0.233	0.265	0.052	0.035	0.184
卡 拉	N40° 58' 05" E86° 42' 36"	1.125	1.233	8.42	0.006	0.118	0.327	0.412	0.068	0.089	0.213
台特玛湖	N39° 30' 42" E88° 13' 28"	397.5	372.01	6.64		0.078	169.20	87.478	7.811	39.703	67.733

表 1 是干流几个典型断面 2005 年采样的地表水系统的水文地球化学特征,可以看出,干流从上到下,地表水的矿化度、pH 值都呈逐渐增加的趋势。中游英巴扎和喀尔曲尕的全盐含量都不到 1.0 g/L,而台特玛湖高达 372.01 g/L。下游 Mg²⁺, Na⁺ + K⁺ 等离子含量也远高于上中游地区。塔里木河上游阿克苏西大桥水化学类型为 HCO₃ - SO₄ - Ca - Mg - Na,阿拉尔大桥水化学类型为 Cl - SO₄ - Na^{〔11〕},中游英巴扎的水化学类型为 Cl - SO₄ - HCO₃ - Na - Ca - Mg,下游台特玛湖的水化学类型为 Cl - SO₄ - HCO₃ - Na - Mg - Ca。可见,河流水盐分在迁移过程中,发生着地球化学分异:水化学分带类型由重碳酸盐水-硫酸盐水-氯化物水的变化比较明显。小范围而言,水化学分异也较为明显,如河流或渠系两岸,受地表径流的经常补给也出现水化学的分异,近河岸带潜水特性接近河水,沿河出现不同程度的淡化带,远离河岸,矿化度逐渐提高。

3.2 土壤元素的地球化学特征

图 1 和图 2 是塔里木河两岸不同土壤类型元素平均含量及不同质地土壤元素平均含量(部分数据来源:塔克拉玛干沙漠地区土壤和土地资源)^{〔12〕}。可以看出,多数土壤的变异系数都小于 5%,说明整个沙漠地区土壤物质化学组成基本相同,成土母质比较均匀单一。Na 元素表层变异系数较大,几种易溶盐元素表层变异系数大于下层变异系数,这与

部分土壤由于气候极端干旱,易溶盐石灰等表聚作用强烈以至形成盐壳有关,易溶盐含量相对较高。本地区土壤元素含量除 Na, Ca, Mg 等易溶盐分组成元素外,其他各种元素含量在土壤表层和土壤下层中基本一致,说明沙漠地区受成土因素限制,特别是土壤水分条件的限制,化学风化作用,成土过程和剖面发育均很微弱,大部分元素在土壤剖面中的上下迁移和分异程度也很小,各种土壤元素含量主要取决于成土母质因素^{〔12-13〕}。

塔里木河干流区的土壤盐渍化是土壤地球化学的重要表现。土壤盐渍化地球化学过程的核心是土壤中盐分离子的迁移、积累和转化、土壤盐渍化过程实质上就是水 - 土交互作用过程中溶质的迁移、转化、沉积吸附的地球化学作用过程^{〔13〕}。从水文地球化学的角度看,盐分的积累过程常常与该区临时或永久的高潜水位有关,在降雨量少或缺少降水的情况下,盐分的积累常常占优势。土壤盐渍化发生时,盐化过程和周期性脱盐过程常交替发生,即盐渍化的发生是一个盐分动态过程,区内盐分季节性动态过程表现为蒸发 - 积盐、淋溶 - 脱盐和弱积盐 3 种形式,规律性地出现于一年的 4 个阶段,包括春季强烈蒸发 - 积盐阶段(4 - 5 月),夏季淋溶脱盐阶段(6 - 8 月),秋季蒸发 - 积盐阶段(9 - 11 月)和冬季冻融弱积盐阶段(12 月 - 翌年 3 月),在此过程中,潜水对 3 种形式的水盐运动都有着直接和间接的影响^{〔13-15〕}。

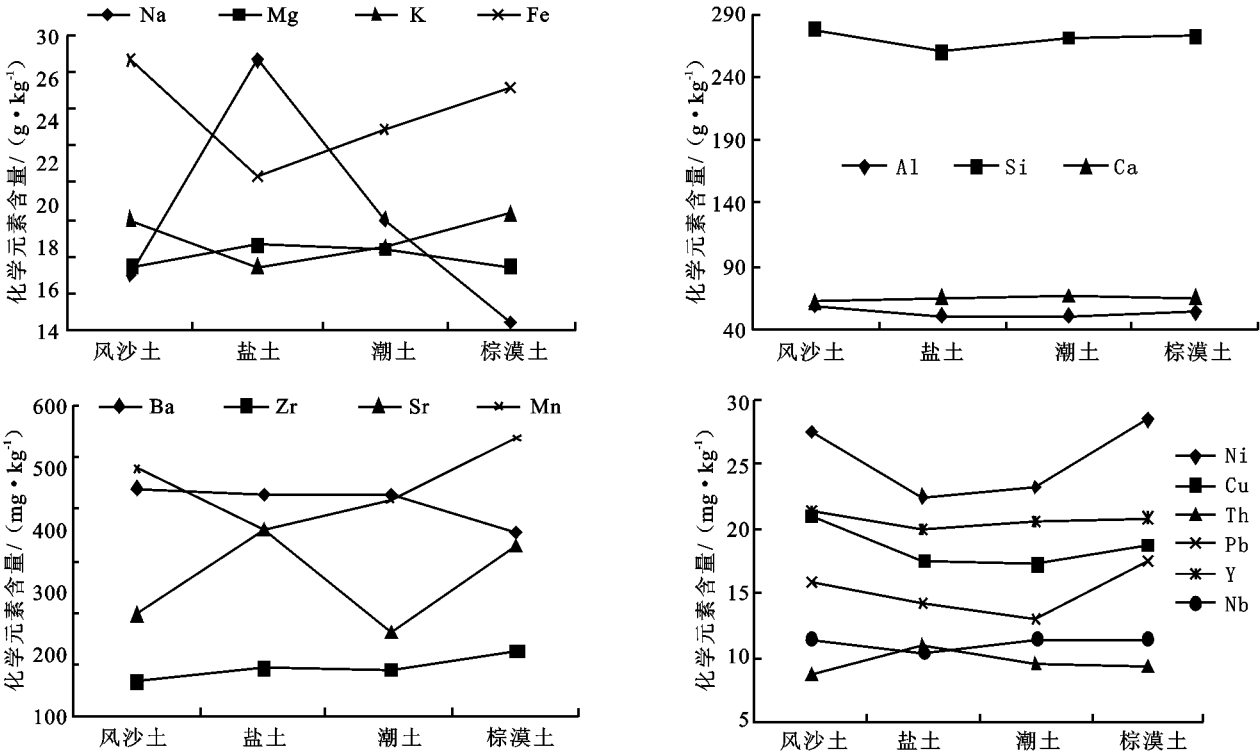


图 1 塔里木河两岸不同土壤类型元素平均含量

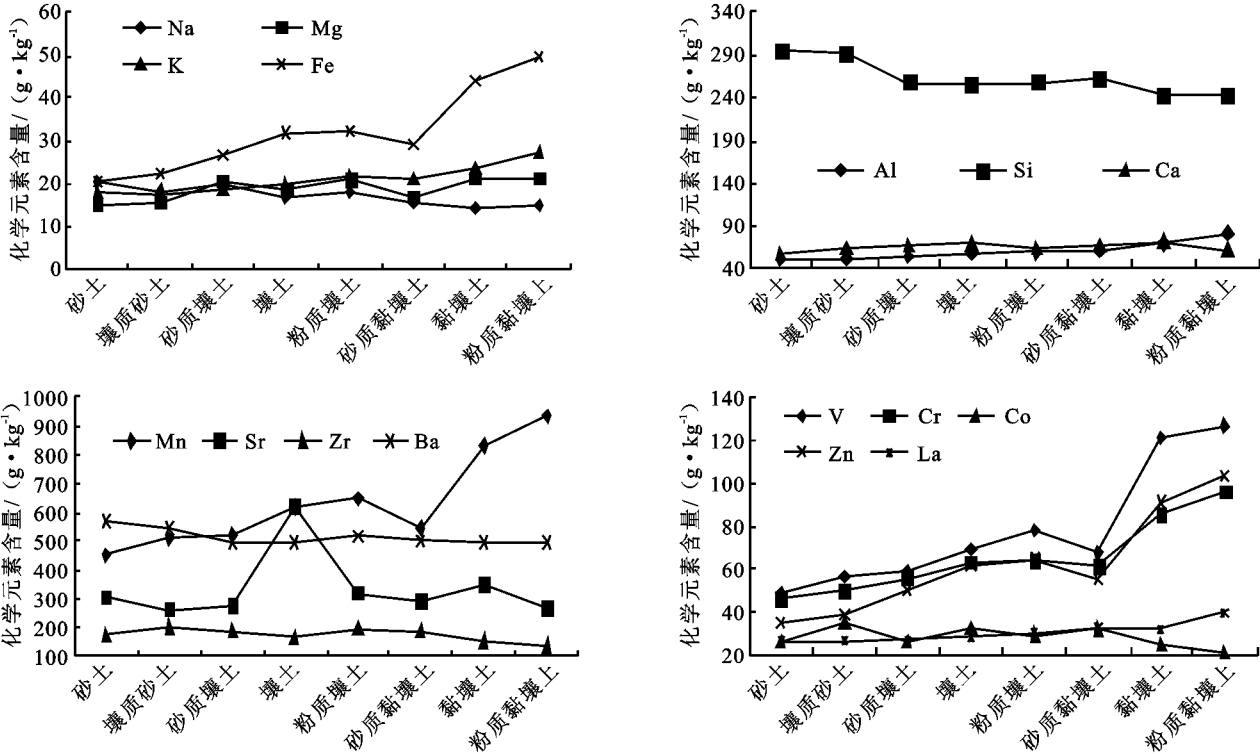


图 2 塔里木河两岸不同质地土壤元素平均含量

3.3 不同植被类型的生物地球化学特征

植物体中的化学元素是植物从土壤中吸收或积累的矿物养分。因此由优势植物种类所组成的植物群落与生境总是相一致的,群落中优势植物的化学元素成分能够很好地反映一定的生境特征。塔里木河干流主要有荒漠河岸林、盐化

灌丛、盐化草甸和荒漠 4 个群落类型,其中荒漠河岸林、盐化灌丛和盐化草甸在本区的植被组成中占有重要的地位。

表 2 反映了塔克拉玛干沙漠优势植物的化学元素特征。由于这里植物区系组成贫乏,这些优势植物的化学元素特征能够代表群落的化学元素特征^[19]。

表 2 塔克拉玛干沙漠优势植物的化学元素特征^[4]

植物名称	化学特征型	植物名称	化学特征型
叉枝鸦葱	Cl> SO ₄ > Mg> Ca	灰 杨	Na> K > SO ₄ > Cl
紫杆怪柳	Ca> Cl> SO ₄ > N	盐 节 木	Cl> Na> SiO ₂ > K
刚毛怪柳	SiO ₂ > SO ₄ > Cl> Na	疏叶骆驼刺	Cl> Na> Ca> SO ₄
花 花 柴	Cl> Na> Ca> N	张果甘草	SiO ₂ > N> Ca> K
塔干怪柳	SiO ₂ > SO ₄ > Cl> Na	盐 穗 木	Na> Cl> N> K
多枝怪柳	Cl> Na> SiO ₂ > Ca	大花罗布麻	Cl> Na> SO ₄ > Ca
长穗怪柳	Cl> SiO ₂ > Na> Ca	芦 苇	SiO ₂ > N> Cl> Ca
喀什牛皮消	Cl> K> Mg> Na	海 蓬 子	Cl> Na> N> K
胡 杨	Ca> SO ₄ > N> K	小 獐 毛	SiO ₂ > Cl> N> K

4 景观地球化学演变的影响因素分析

塔里木河景观地球化学环境的演变受多种物质体系、能量系统、结构体系和功能体系的共同作用与控制, 概括起来主要有自然因素及人类活动的影响, 各种因素共同作用下的景观地球化学演变过程造成了塔里木流域以土壤盐渍化和沙漠化为主要表征的脆弱的生态景观特征。

4.1 自然条件是景观地球化学环境演变的决定因素

4.1.1 气候因素

塔里木河的年蒸发量为降水量的 40~ 100 倍。在蒸发量远大于降水量的气候背景下, 盐分的向上迁移聚集量大于淋溶量, 长久积累导致土壤盐渍化的形成和发展。受气候条件的影响, 本区表生地球化学元素的年内运移规律是: 夏季降水有轻微的脱盐过程, 秋季积盐过程, 冬季弱积盐和春季强烈积盐过程。同时干流区不同地方的年降水量有差异, 从而影响了不同地区表生地球化学元素的分异, 并形成不同的土壤类型和不同的景观类型。

4.1.2 地质地球化学环境因素

地质构造作用奠定了塔里木盆地基本的地貌格局。塔里木盆地是一个大型的内陆封闭性盆地, 属于地球化学的闭流区。闭流区内只进行内部的水分和物质循环, 各种风化、成土和生物成因的产物全部保留在本地区内而不会带到闭流区以外。同时地表水和地下水从盆地四周和山区带来大量的可溶性物质在盆地中心聚积, 使土壤中大量的可溶性物质元素组成如 Na, K, Ca, Mg 等地球化学活性很强的碱金属和碱土金属元素含量明显高于非闭流区的或受淋溶的土壤^[12]。同时盆地内部沉积着巨厚的第四纪洪积冲积物和风积物, 这种疏松的第四纪沉积物质本身十分均匀, 因此塔克拉玛干沙漠地区各类土壤中各种元素组成和含量比较接近 (见图 1, 2)。

4.1.3 地形地貌因素

在对表生地球化学特征产生影响的许多因素中, 地形地貌起着控制性作用。大中地形往往控制着区域河流和湖泊的分布, 而河流往往是表生地球化学元素迁移的通道, 低洼处的湖泊则成为表生地球化学元素的汇。与大中地形控制元素的宏观迁移相比, 微域地貌则在局部地段控制表生地球化学元素的迁移和积累, 并导致局部的景观地球化学分异, 如平坦的

河流低阶地是盐分的汇积中心^[14]。地貌景观控制着地下潜水埋深、降水再分配、地下径流及排泄方式, 从而影响土壤中元素地球化学迁移富集的程度。塔里木盆地在构造上为地台, 天山与昆仑山为地槽, 在总的地形特征控制下, 周围岩石风化后所形成的盐类, 以水为载体, 顺地表径流或地下潜水径流从山麓到平原到闭流盆地内汇集, 并按盐类溶解度的大小在迁移过程中依次沉积下来, 形成不同的景观地球化学分异。不同的地貌类型引起地表水的重新分配, 并影响水文地质条件的差异, 从而影响到表生地球化学元素的迁移积累。

4.1.4 水文地质地球化学环境因素

地表水化学径流的不同输送方式使得不同径流区土壤化学组成差别很大, 地表水的不同补给与排泄方式对土壤表生地球化学元素含量的影响表明, 不同径流区表生地球化学元素迁移和积累的物理化学条件不同。塔里木河流域的地下水主要分为基岩裂隙水、碎屑岩类裂隙孔隙水和松散岩类孔隙水 3 大类^[9]。地下水环境对景观生态的形成与演化具有更直接的作用, 特别是松散岩类孔隙潜水, 从补给区到汇水区的过程中, 地下潜水位和水化学特征有明显的分异。不同潜水径流区, 形成不同的地球化学分异带, 从补给区、径流区和汇水区依次形成淋溶区, 钙镁富集区和盐分积累区。不同的潜水埋藏条件及由此形成的不同水文地球化学特征直接影响到土壤中易溶元素的景观地球化学特征, 在大的区域分异上, 土壤中易溶元素的变化规律与潜水文地球化学特征基本一致, 即 K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ 等含量在低平原土壤中明显偏高, 特别是在土壤盐渍化地区, 潜水埋深和其水化学特征对土壤性质影响更大。

4.2 人为因素是景观地球化学环境演变的重要动力因素

4.2.1 水利工程影响水文地球化学环境

水系变迁对区域景观地球化学环境变迁还有着重要的意义^[14]。水利工程在调控河流湖泊自然水量的同时, 也从根本上改变了河流、湖泊一体的环境结构, 从而影响到水域景观中景观地球化学流, 使景观内水文地球化学环境发生改变。由于洪泛湿地一般位于河流两岸相对低洼地段, 所以由汇水径流补给表生地球化学元素流, 而由洪泛补给后湿地因维持相对高水位而排入河道即潜水, 当水利工程修建后, 阻断了洪泛湿地生态系统与河流的水力联系, 这时就破坏了景观单元中表生地球化学元素的输入输出平衡, 从而引起了盐分的相对积累。根据陈永金等人对干流输水堤防修建后典型断面的监测分析^[17], 输水堤防修建后, 地下水化学的时空变化特征非常明显。如沙子河口断面地下水化学的空间变化表现为地下水矿化度和其它地下水化学特征不再随河道距离的增加而升高, 而是进一步降低, 整个沙子河口断面地下水的矿化度都基本在 15~ 30 g/L。同时丰枯期地下水矿化度及 Cl⁻, Na⁺ 含量变化的正常规律, 由于输水堤防的修建而被打乱。

4.2.2 农业生产活动对景观地球化学环境的影响

塔里木河上中游农业生产活动对土壤的盐渍化影响非常严重。大水漫灌\渠道渗漏等造成潜水位上升, 使原来土壤中盐分淋溶下渗转化为潜水水盐随毛管上升至土壤中, 土壤中盐分浓度上升, 造成土壤次生盐渍化^[13]。同时由于农

区盐渍化治理的方式之一是通过挖排水渠降低地下水位, 同时把盐分排出灌区外, 这种措施虽然对灌区内的盐渍化治理起到了促进作用, 但由于天然河流往往是地势最低处, 是排水的出口, 因而它造成了河流的水质盐化。土壤的盐渍化、河流水质的盐化都影响着区域景观地球化学的特征。

另外, 过度放牧、割草、过樵等在破坏地表植被的同时, 也导致土壤中景观地球化学流在不同方向上强度的改变, 从

而导致易迁移的表生地球化学元素如 Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} 等在土壤中输入输出平衡的破坏, 使它们在景观内原始积累状况发生改变。当然采取合理的开发措施, 亦能降低土壤重点盐分含量, 例如避免大水漫灌, 用盐碱沼泽蓄水养苇, 在以淡压咸的同时, 因芦苇能吸收较多盐分, 并随收割而带出系统之外, 使区域景观内产生一种负外景观地球化学流^[14], 从而降低了土壤中盐分。

表 3 农业活动对土壤化学性质的影响

土地类型	深度/cm	矿化度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH	总盐/%	化学组成/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)						
					CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
棉花地旁林地	表层	61.40	8.32	45.615	0.014	0.308	18.90	12.067	3.524	3.726	7.076
	0-20	32.18	8.42	30.524	0.014	0.140	10.734	10.247	1.562	2.605	5.222
	20-40	19.63	8.25	18.635	0.014	0.112	4.294	8.458	1.354	1.048	3.355
	40-60	6.88	8.41	6.576	0.014	0.112	1.274	3.312	0.443	0.603	0.818
	60-80	7.85	8.10	7.439	微	0.140	1.929	3.187	0.469	0.065	1.063
耕种的棉花地	表层	2.53	8.27	2.451		0.168	0.091	0.244	0.130	0.095	0
	0-20	0.75	8.57	0.728		0.154	0.109	0.244	0.078	0.175	0
	20-40	0.78	8.45	0.760		0.140	0.127	0.367	0.104	0.111	0
	40-60	0.88	8.47	0.849		0.224	0.346	0.437	0.130	0.111	0.159
	60-80	1.50	8.31	1.407		0.168	0.091	0.244	0.130	0.095	0

表 3 为 2006 年采集的塔里木河中游英巴扎地区受人类耕作影响的棉花地及棉花地旁未开垦的林地的 pH 值及总盐和化学组成的差异。可以看出, 未受人类耕作影响的土地, 其含盐量较高, 表层的含盐量高达 45.615%, 表层的矿化度也高达 61.4, 表层土壤的化学类型主要是 Cl^- - SO_4^{2-} - Na^+ - Mg^{2+} - Ca^{2+} 型。而耕地经过多年的挖沟排水、平整土地、压盐及其它改良措施, 土壤盐分明显较低, 耕作土壤的表层化学类型为 SO_4^{2-} - HCO_3^- - Ca^{2+} - Mg^{2+} 型。同时耕作土壤的含盐量随着水分上下运移, 表层和 60-80 cm 土层的含盐量明显较高。

参考文献:

[1] Korobova E M , Veldkamp A , Ketner P , et al. Element Partitioning in Sediment, Soil and Vegetation in an Alluvial Terrace Chronosequence, Limagne rift valley, France: a landscape geochemical study[J]. Catena, 1997, 31: 91-117.

[2] 徐德兰, 曾勇. 景观地球化学研究现状与进展[J]. 江苏地质, 2003, 27(3): 159-163.

[3] Carlos J O, Murugesu S, Carolyn E O. Field Exploration of Coupled Hydrological and Biogeochemical Catchment Responses and a Unifying Perceptual Model[J]. Advances in Water Resources, 2006, 29: 161-180.

[4] Bernard R, Daniel C, Pierre, et al. Hydrological and Biogeochemical Dynamics of the Minor and Trace Elements in the St. Lawrence River[J]. Applied Geochemistry, 2005, 20: 1391-1408.

[5] Chapin F S, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer Verlag, 2002.

[6] 张佳华, 陈开喜. 陆地表面复杂过程模式中耦合植物生态过程的研究进展[J]. 气象科学, 2002, 22(1): 119-126.

[7] 潘爱芳, 赫英, 马润勇. 鄂尔多斯盆地基底断裂对环地球化学景观与水土流失的控制作用[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 21-23.

[8] 塔里木河流域管理局. 流域概况[EB/OL]. http://www.tahe.gov.cn/index.asp, 2006-10-15.

[9] 刘培君, 朱峰. 塔里木河两岸的自然地理条件[C]// 梁匡一, 刘培君. 塔里木河两岸资源与环境遥感研究. 北京: 科学技术文献出版社, 1990: 13-27.

[10] 胡安焱. 干旱地区内陆河的水文生态特征及其水资源的合理开发利用研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.

[11] 季方. 塔里木盆地绿洲土壤的水盐动态变化与调控研究[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 1999.

[12] 中国科学院塔克拉玛干沙漠综合科学考察队. 塔克拉玛干沙漠地区土壤和土地资源[M]. 北京: 科学出版社, 1994.

[13] 李天杰, 郑应顺, 王云. 土壤地理学(2 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.

[14] 邓伟. 松嫩平原西部景观地球化学特征及其演化[D]. 北京: 中国科学院地球化学研究所, 2001.

[15] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1978.

[16] 夏阳. 塔克拉玛干沙漠优势植物化学成分特征[J]. 中国沙漠, 1994, 14(2): 30-36.

[17] 陈永金, 李卫红, 刘加珍. 塔里木河中游输水堤防的修建对地下水化学特征的影响[J]. 干旱区地理, 2005, 28(1): 26-32.