

# 克拉玛依减排林区土地开发的效应

左成华<sup>1</sup> 王让会<sup>1</sup> 宁虎森<sup>2</sup> 吉小敏<sup>2</sup> 闵首军<sup>3</sup> 赵福森<sup>3</sup>

## 摘要

基于克拉玛依减排林区的土壤和地下水取样分析结果,应用生态系统服务价值的原理与方法,分析了克拉玛依减排林区的土地开发效应。结果表明土地开发已取得一定的正效应:已开发用地土壤有机质、有效N和速效K的质量分数均高于未开发用地,土地开发生态明显改善土壤的养分状况;土壤浅层总盐量降低67.5%,土壤盐渍化现象得到有效控制;林地生态系统服务价值高达 $1.5417 \times 10^9$ 元/a。同时,土地开发也产生了一些负效应:地下水pH值、电导率、矿化度和全盐量均高于未开发用地,减排林区地下水化学特征不利于区域减排林效应的持续发挥;土壤有效P质量分数偏低,也不利于林区植被的生长。

## 关键词

地下水化学效应;土壤效应;生态系统服务价值

中图分类号 F301.24

文献标志码 A

收稿日期 2010-11-26

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB705809);中国科学院知识创新重大项目(KSCX-YW-09);国家林业行业公益性专项(201104093);中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室科研基金(IAM201001)

## 作者简介

左成华,女,硕士生。chhzu@sina.com

王让会(通信作者),男,教授,博士生导师,主要研究方向为景观生态、环境风险评价、3S应用等。rhwang@nuist.edu.cn

## 0 引言

在天然林不断减少、全球气候不断变化的背景下,大规模的人工植树造林已经成为实现森林资源永续经营、减少CO<sub>2</sub>排放量的重要措施。新疆克拉玛依市减排林区就是为适应节能减排、建设低碳经济目标的需要建立起来的人工林区。该林区毗邻克拉玛依农业开发区,面积6000多公顷,位于准噶尔盆地西北边缘的湖积平原(84°57'1.8"~85°5'19.5"E,45°23'15.24"~45°30'38.7"N)。该地区属典型的温带大陆性干旱荒漠气候,干旱少雨、春秋多风、冬季寒冷、夏季炎热、春秋季节短、冬夏温差大、降水稀少而蒸发强烈,年降水量多年平均为105.3mm,潜在蒸发量多年平均为3545mm。减排林区主要乔木以新疆杨(*Populus alba* linn. Var. *pyramidalis* Bge)、俄罗斯杨(*Populus. Russkii* Jabl.)、白蜡(*Fraxinus chinensis* Roxb)等树种为主。

不同土地利用方式对区域水、土等生态环境要素的影响不同。目前,我国干旱半干旱区人工林的水、土、气及生物效应研究主要集中在黄土丘陵区、辽西半干旱区等区域<sup>[1-2]</sup>。其中:人工林土壤水的研究主要包括土壤水文物理性状、土壤持水能力、导水能力、入渗能力等<sup>[3]</sup>。人工林土壤养分及盐分的研究主要集中在各种成分的剖面变化<sup>[1]</sup>;人工林地下水的研究主要集中在地下水埋深的时间变化<sup>[4]</sup>及地下水盐分状况<sup>[5]</sup>等方面。土地利用的变化,使得生态系统服务功能也产生变化。目前对生态系统服务价值的研究在国外主要集中在生态系统服务分类、形成及其变化机制和价值评估方法等方面,不同研究者从不同的角度对相关问题进行了探讨<sup>[6-7]</sup>;国内则主要集中在不同尺度下的生态系统服务功能及其价值的评估理论与方法等方面,如欧阳志云等<sup>[8]</sup>对陆地生态系统服务价值的研究。生态系统服务价值理论在土地利用方面的应用较多,主要集中在土地利用方式变化对生态系统服务价值产生的影响<sup>[9-10]</sup>,尺度较大,而在较小尺度上(如某片草地、林地)的研究却较少。

本文选取克拉玛依人工减排林区为研究区域,主要研究其土地开发特别是荒地造林产生的水、土效应,评估其生态系统服务价值,多角度地分析克拉玛依在该区的土地开发效应,以期对低碳环保及林区的建设和管理提供理论依据。

1 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 南京,210044  
2 中国林业科学研究院新疆分院 园林绿化研究所,乌鲁木齐,830000  
3 新疆油田公司,克拉玛依,834000

## 1 研究方法

### 1.1 样品采集

2009年8月,在克拉玛依减排林区进行了实地调查.依据宏观自然地理特征及景观格局状况,应用便携式GPS进行定位,结合地下水监测井空间位置、林分类型及生长状况等确定典型区域监测井18个,采集水样;同时,设定取样地,挖掘10个标准土壤剖面,用环刀和自封袋在不同剖面深度(0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm)取土样.

### 1.2 实验室分析

#### 1.2.1 地下水盐分分析

pH值采用电位测定法;电导率用电导率仪测定;矿化度的测定采用质量法.

#### 1.2.2 土壤养分分析

应用重铬酸钾容量法(外加热法)测定土壤有机质质量分数;碱解蒸馏法测定土壤有效N质量分数; $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提钼锑抗比色法测定土壤有效P质量分数; $\text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提(火焰光度法)测定土壤速效K.

#### 1.2.3 土壤水溶性盐分分析

应用残渣烘干(质量法)测定总盐的质量分数;电导率用电导率仪测定.

### 1.3 生态系统服务价值评估方法

根据减排林区的特点,主要分析和评价减排林区5种生态系统服务价值,即涵养水源、维持生物多样性、调节大气、净化空气、减少土壤养分流失及减少土壤侵蚀功能的价值.生态系统服务功能效益不同,其评价方法也不尽相同<sup>[11]</sup>.目前主要的评价方法有市场价值法、影子工程法、替代成本法、生态价值法等.不同的生态系统服务类型适用的评估方法可能不同,同种评估方法可能适用多种生态系统服务类型.本研究主要数据是通过野外取样及室内分析方法获取,因此,涵养水源功能采用影子工程法、维持生物多样性功能采用机会成本法、调节大气及减少土壤侵蚀功能采用市场价值法、净化空气功能(主要包括吸收 $\text{SO}_2$ 功能和阻滞粉尘功能)采用生产成本法及替代花费法、减少土壤养分流失功能(包括减少土壤有效N、K、P和土壤有机质流失功能价值)采用的是市场价值法<sup>[12]</sup>.

## 2 研究结果

### 2.1 减排林区地下水化学效应

土地利用程度反映了人类活动的强弱,它是荒

漠区生态变化最敏感的指针<sup>[13]</sup>.林地建设可能增加溶解氧化剂和主要离子引起土壤和含水层中水-岩反应的变化,导致地下水许多无机离子浓度的增加<sup>[14]</sup>.18个地下水水样中有5个是取于未开发的荒地监测井,与已开发的13个水样作对比,结果表明减排林区土地开发使地下水pH、电导率、矿化度和全盐量都有所增加,地下水盐化现象明显(表1),这可能是由于灌溉和化肥的使用所致.已开发土地即减排林地的地下水pH值为7.5,而荒地地为7.4,变化幅度小,这说明该减排林区建设对地下水pH的影响很小.GB/T14848—93中将pH值为6.5~8.5的地下水定为适用于各种用途或主要用于集中式生活饮用水水源及工农业用水.由此可见减排林区地下水酸碱性状况较好.林地地下水电导率为 $16.2 \text{ ms/cm}$ ,荒地地为 $12.6 \text{ ms/cm}$ ,增加了28.6%.林地矿化度为 $15.5 \text{ g/L}$ ,荒地地为 $12.5 \text{ g/L}$ ,增加了约24%.人们习惯把矿化度小于 $2 \text{ g/L}$ 的水称为淡水,而大于 $2 \text{ g/L}$ 的水则称为咸(苦)水<sup>[15]</sup>,因此研究区属咸水区域,且矿化度水平很高.

表1 林地和荒地地下水理化指标比较

Table 1 Comparisons of physical and chemical indexes between forest land and wasteland

土地开发状态	pH	电导率/ ( $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	矿化度/ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	全盐/ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )
林地	7.5	16.2	15.5	15.0
荒地	7.4	12.6	12.5	12.0

### 2.2 减排林区土壤效应

#### 2.2.1 土壤养分效应

土壤一经开垦,并连续耕作之后,有机质逐渐被分解,如得不到足够量的补充,会因养分循环中断而失去平衡,致使有机质质量分数迅速下降<sup>[16]</sup>.土壤有机质是土壤肥力的重要组成部分,可以分为腐殖物质和非腐殖物质.人工林的建设使大量的枯枝落叶归还土壤,并分解转化为有机质,从而短期内大幅提高其质量分数,因此,一般情况下,林地有机质质量分数要高于荒地,表2中林地和荒地的土壤有机质质量分数对照正符合此规律.林地各层土壤有机质质量分数都有不同程度的增幅,0~20 cm层为53.12%,20~40 cm层为104.81%,40~60 cm层为25.19%,60~80 cm层为4.93%,80~100 cm层为236.5%.由于人工林的建设,通过施肥等方式,除60~80 cm层外,已开发的林地土壤有效N质量分数均高于未开发的荒地,荒地含量最多的仅为

2.22 mg/kg, N 养分严重匮乏. 林地速效 K 质量分数中除在 40 ~ 60 层较低外, 其他层均有明显优势, 60 ~ 80 cm 层增加幅度高达 113%. 这说明人工林的建设有效促进了土壤有机质、有效 N 和速效 K 的积累. 但是林地各层有效 P 质量分数却均低于荒地, 这可能是由于林区植被从土壤中吸收 P 元素造成的<sup>[17]</sup>. 在土壤各种养分中, 土壤有机质所占的地位尤其突出, 它可以直接影响土壤中 N、P、K 的质量分数. 通过 2 个变量间的相关分析, 土壤有机质与有效 N 的相关系数为 0.82, 与有效 P 的相关系数为 0.66, 而与速效 K 的相关系数仅有 -0.31, 相关性不明显. 将有机质与有效 N、有效 P 和速效 K 作偏相关分析, 得出的结果显示有机质与有效氮的相关性为 0.98, 与有效 P 的相关性为 0.97, 与速效 K 的相关性为 0.78, 相关性水平明显提高. 这就说明土壤各种养分之间相互影响, 从而进一步说明了合理施肥、科学搭配的重要性.

### 2.2.2 土壤水溶性盐分效应

土壤水溶性盐分分析结果(表 3)表明, 自然地貌土壤 80 ~ 100 cm 层剖面含盐量低, 而林区则可能由于灌溉等原因使盐分有所增加<sup>[18]</sup>. 林地与荒地的土壤盐分在 0 ~ 80 cm 土壤剖面对比结果相同, 林地土壤 pH 值上升, 水平在 7 ~ 8 之间, 这说明减排林区上层土壤存在碱化现象但尚不严重. 电导率、总盐量

和全盐量下降, 林地土壤 0 ~ 20 cm 层剖面总盐量降低 67.5%, 20 ~ 40 cm 层剖面降低 10.1%, 40 ~ 60 cm 层剖面降低 87.1%, 60 ~ 80 cm 层剖面降低 94.6%, 这说明减排林区土壤盐渍化现象有所改善. 林区 5 个土壤剖面测定的  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  离子中,  $\text{SO}_4^{2-}$  分别占全盐量的 41.74%、53.79%、46.88%、51.08% 和 50.11%, 所以  $\text{SO}_4^{2-}$  是减排林区土壤盐渍化最主要的化学成分,  $\text{CO}_3^{2-}$  基本没有; 阳离子主要是  $\text{Na}^+$ , 在各层土壤全盐量中分别占 20.52%、12.33%、18.03%、16.20% 和 17.98%, 其次是  $\text{Ca}^{2+}$ . 而在荒漠区内最主要的离子为  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Ca}^{2+}$ . 林区土壤电导率与总盐量的相关性达 0.934, 其显著性水平为 0.05; 荒漠自然地貌土壤电导率与总盐量的相关性达 0.97, 其显著性水平为 0.01. 所以电导率和总盐量之间存在很好的正相关性, 在土壤中的质量分数趋势一致.  $\text{SO}_4^{2-}$  是减排林区土壤中主要盐分组成成分, 因此表 3 中显示林地和荒地的土壤电导率、总盐量及  $\text{SO}_4^{2-}$  质量分数对比结果一致.

### 2.3 减排林区土地开发生态系统服务功能效应

对减排林区生态系统服务价值进行估算可以比较全面系统的认识这片人工林的生态效益, 估算结果如下.

表 2 林地和荒地土壤养分比较

Table 2 Comparisons of soil nutrients between forest land and wasteland

深度/cm	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )		有效 N/(mg·kg <sup>-1</sup> )		有效 P/(mg·kg <sup>-1</sup> )		速效 K/(mg·kg <sup>-1</sup> )	
	林地	荒地	林地	荒地	林地	荒地	林地	荒地
0 ~ 20	5.65	3.69	11.06	1.05	1.58	2.62	153.78	131
20 ~ 40	5.53	2.70	8.39	2.09	1.99	3.01	137.33	99
40 ~ 60	4.26	3.40	8.39	2.22	1.16	4.80	101.89	109
60 ~ 80	3.83	3.65	5.02	9.27	1.39	5.27	232.44	109
80 ~ 100	4.61	1.37	7.54	1.07	1.75	1.84	104.67	44

表 3 林地和荒地土壤水溶性盐分比较

Table 3 Comparisons of soil water-soluble salts between forest land and wasteland

深度/cm	pH		电导率/(ms·cm <sup>-1</sup> )		总盐/(g·kg <sup>-1</sup> )		$\text{SO}_4^{2-}$ /(g·kg <sup>-1</sup> )	
	林地	荒地	林地	荒地	林地	荒地	林地	荒地
0 ~ 20	7.93	7.36	0.57	1.29	2.47	7.61	0.42	4.68
20 ~ 40	7.98	7.42	0.56	0.72	2.75	3.06	0.54	1.49
40 ~ 60	7.84	7.17	0.38	1.57	1.58	12.22	0.47	7.45
60 ~ 80	7.78	7.19	0.40	1.59	1.68	12.50	0.51	7.88
80 ~ 100	7.89	8.18	0.30	0.11	1.61	0.53	0.50	0.13

1) 涵养水源功能. 森林的水源涵养功能是一个动态、综合的概念, 包括拦蓄降水、调节径流、影响降雨和净化水质等<sup>[19]</sup>. 本研究主要估算减排林区拦蓄降水功能价值. 2001—2008年克拉玛依市年均降水量为135.5 mm<sup>[20]</sup>. 该区水资源主要来源于引额济克的引水工程, 成本较大, 以年降水量的30%作为森林涵养水源量, 20元/m<sup>3</sup>估算, 减排林区涵养水源功能价值为 $5.5854 \times 10^7$ 元/a.

2) 维持生物多样性功能. 文献[21]评估2001年西北地区森林生物多样性价值2.98万元/(hm<sup>2</sup>·a). 由于克拉玛依属于人工建设的荒漠绿洲城市, 生物资源稀缺, 同样的物种类型及数量其保护生物多样性的价值要大于处于环境条件优越区域物种的价值. 因此, 特将该数值增加至1.5倍, 减排林区面积 $6.8701 \times 10^3$  hm<sup>2</sup>, 评估减排林区维持生物多样性功能价值为 $3.0709 \times 10^8$ 元/a.

3) 净化空气类功能. 包括吸收SO<sub>2</sub>和阻滞粉尘功能. 阔叶林对SO<sub>2</sub>的吸收能力值88.65 kg/(hm<sup>2</sup>·a), 工业削减SO<sub>2</sub>成本为600元/t, 所以评估减排林区吸收SO<sub>2</sub>功能价值为 $0.3654 \times 10^6$ 元/a. 阔叶林的滞尘能力为10.11 t/(hm<sup>2</sup>·a), 削减粉尘成本为170元/t, 运用替代花费法估算减排林区的阻滞粉尘功能价值为 $1.18076 \times 10^7$ 元/a. 减排林区净化空气类服务功能价值和为 $1.2173 \times 10^7$ 元/a.

4) 保护土壤类功能. 包括减少土壤侵蚀和减少土壤养分流失2大类. 单位面积保土量设为250 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>·a)或319.8 t/(hm<sup>2</sup>·a), 减排林区保土总量估算为 $1.7175 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/a或 $2.1971 \times 10^6$  t/a. 林业生产单位面积收益300元/hm<sup>2</sup>, 以土壤表土平均厚度0.5 m来评估减排林区减少土壤侵蚀功能价值为 $1.0305 \times 10^9$ 元/a. 质量分数为0.2的(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>市场价格500元/t, 所以纯(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>市场价格约为2500元/t, 有效N折算(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>系数4.81, 根据野外抽样调查, 减排林区表层土壤有效N平均质量分数为11.06 mg/kg, 采用市场价值法估算减排林区降低氮素流失的价值为 $0.2922 \times 10^6$ 元/a. 质量分数为0.12的过磷酸钙市场价格800元/t, 纯过磷酸钙市场价格约为6666.67元/t, 有效P折算成过磷酸钙的系数为5.13, 表层土壤有效P平均质量分数为1.58 mg/kg, 减排林区降低磷素流失的价值为 $0.1187 \times 10^6$ 元/a. 国内氯化钾价格变化幅度较大, 各地区2000~5000元均有报价, 质量

分数0.6的氯化钾价格若定为2500元/t, 折算纯氯化钾价格为4167元/t, 速效K折算成氯化钾的系数为1.82, 实验测得土壤速效钾平均质量分数为153.78 mg/kg, 减排林区降低土壤钾素流失的价值为 $2.5621 \times 10^6$ 元/a. 质量分数为0.7的有机质肥料市场价格一般400元/t左右, 纯有机质市场价格约为571元/t, 减排林区土壤有机质平均质量分数为5.65 g/kg, 降低有机质流失的价值为 $6.9364 \times 10^6$ 元/a. 减排林区减少土壤养分流失的生态价值为 $9.9094 \times 10^6$ 元/a, 保护土壤类生态系统服务价值和约为 $1.0404 \times 10^9$ 元/a.

5) 大气调节类功能. 根据光合作用, 植物生产1 kg干物质能够固定1.63 kg CO<sub>2</sub>, 释放1.2 kg O<sub>2</sub>. 减排林区蓄积量为 $3.92406 \times 10^5$  m<sup>3</sup>, 林木干物质密度平均为0.45 t/m<sup>3</sup>. 将减排林区造林成本定位300元/t, 工业O<sub>2</sub>的市场价格定为500元/t, 大气调节类生态系统服务功能价值可估算为 $1.2623 \times 10^8$ 元/a.

上述5种生态系统服务价值的总和为 $1.5417 \times 10^9$ 元/a. 事实上, 生态系统服务功能具有多样化的特点, 除了这5种外, 还有直接价值即物质生产, 其他间接价值如科研、旅游等服务价值, 因此, 减排林的实际生态系统服务价值要远高于该估算值.

### 3 结论

1) 减排林生态系统服务价值明显. 现阶段约6000多公顷林地的建设已产生了十亿元的服务价值, 并且随着造林规划的不断实施, 该价值还将成倍增长, 这将对改善克拉玛依市干旱半干旱的气候, 提高居民生活质量有重要意义.

2) 减排林区土壤养分有一定的上升趋势. 已开发用地的土壤有机质质量分数较自然地貌偏高, 但总体水平低于6 g/kg, 仍处于极缺水平<sup>[23]</sup>. 为确保减排林区可持续发展, 应进一步提高土壤有机质质量分数, 如增施有机粪肥等. 已开发用地有效N、速效K质量分数均比未开发土地高, 但是有效P质量分数却比未开发土地低.

3) 减排林区土壤盐分变化较为复杂. 林地土壤pH值略有上升, 水平在7~8之间, 说明减排林区存在碱化现象但尚不严重. 减排林区土壤盐化状况有一定改善, 电导率、总盐和全盐量下降. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>是减排林区土壤盐渍化最主要的化学成分, 为更好地改善土壤盐分状况, 必须根据减排林区SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的来源, 采

取有针对性的措施。

4) 减排林区地下水盐化现象明显。地下水盐化特征主要受地下水补给、径流、排泄条件、地层沉积环境及近期人为活动等因素综合作用控制<sup>[22]</sup>。分析表明,减排林地下水化学特征有一定的规律,特别是林区地下水盐化现象明显,主要表现在电导率高出未开发地 28.6%,矿化度水平增加了 24%。减排林区地下水 pH 值没有显著的升高和降低,总体比较稳定,且属偏碱性地下水。

总体而言,克拉玛依减排林区的开发已经取得一定的生态环境效益,随着新技术的应用,土地开发的正效应将得到进一步发挥。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 尹娜,魏天兴,张晓娟. 黄土丘陵区人工林土壤养分效应研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):209-211  
YIN Na, WEI Tianxing, ZHANG Xiaojuan. The characteristics of soil nutrient in artificial forest land in the hilly Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(2):209-211
- [ 2 ] 吕刚,吴祥云,雷泽勇,等. 辽西半干旱低山丘陵区人工林地表层土壤水文效应[J]. 水土保持学报,2008,22(5):204-208  
LÜ Gang, WU Xiangyun, LEI Zeyong, et al. Hydrology effect of artificial woodland surface soil in semi-arid low mountainous upland region of western Liaoning province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5):204-208
- [ 3 ] 徐敬华,陈云明,邓岚. 黄土丘陵半干旱区典型人工林土壤水分特征[J]. 水土保持通报,2010,30(3):48-52  
XU Jinghua, CHEN Yunming, DENG Lan. Soil water characteristics of artificial forest lands in Loess Hilly Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(3):48-52
- [ 4 ] 朱教君,康宏樟,宋立宁,等. 科尔沁沙地南缘樟子松人工林地下水埋深季节变化[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1767-1772  
ZHU Jiaojun, KANG Hongzhang, SONG Lining, et al. Seasonal variation of groundwater table for pinus sylvestris var. mongolica plantations in southern Keerqin sandy land [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(9):1767-1772
- [ 5 ] 徐大勇,康宏樟,裘秀群,等. 章古台沙地樟子松人工林土壤盐分动态变化研究[J]. 江西农业大学学报,2006,28(4):539-543  
XU Dayong, KANG Hongzhang, QIU Xiuqun, et al. A study on soil salinity variation of Pinus sylvestris var. Mongolica plantations in Zhanggutai sandy land [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(4):539-543
- [ 6 ] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(15):253-259
- [ 7 ] 谢高地,肖玉,鲁春霞. 生态系统服务研究:进展,局限和基本范式[J]. 植物生态学报,2006,30(2):191-199  
XIE GaoDi, XIAO Yu, LU Chunxia. Study on ecosystem services: progress, limitation and basic paradigm [J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(2):191-199
- [ 8 ] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):607-613  
OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, MIAO Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5):607-613
- [ 9 ] 王娟,崔保山,卢远,等. 生态系统服务价值在土地利用规划中的应用[J]. 水土保持学报,2006,20(1):160-163  
WANG Juan, CUI Baoshan, Lu Yuan, et al. Application of ecosystem services value in land use program [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(1):160-163
- [ 10 ] 曹顺爱,吴次芳,余万军. 土地生态服务价值评价及其在土地利用布局中的应用:以杭州市萧山区为例[J]. 水土保持学报,2006,20(2):197-200  
CAO Shunai, WU Cifang, YU Wanjun. Evaluation of land ecological services and its application in overall arrangement of land use: A case study of Xiaoshan, Hang Zhou [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2):197-200
- [ 11 ] 许英勤,吴世新,刘朝霞,等. 塔里木河下游垦区绿洲生态系统服务的价值[J]. 干旱区地理,2003,26(3):208-216  
XU Yingqin, WU Shixin, LIU Zhaoxia, et al. Value of the oasis ecosystem services in the lower reach of Tarim River Basin [J]. Arid Land Geography, 2003, 26(3):208-216
- [ 12 ] 王让会. 城市生态资产评估与环境危机管理[M]. 北京:气象出版社,2008:29-38  
WANG Ranghui. Urban ecological assets assessment and environment crisis management [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008:29-38
- [ 13 ] 马兴旺,李保国,吴春荣,等. 绿洲区土地利用对地下水影响的数值模拟分析:以民勤绿洲为例[J]. 资源科学,2002,24(2):49-55  
MA Xingwang, LI Baoguo, WU Chunrong, et al. Modeling the influence of land use on groundwater in oasis: The case of Minqin oasis [J]. Resources Science, 2002, 24(2):49-55
- [ 14 ] Böhlke J K. Groundwater recharge and agricultural contamination [J]. Hydrogeology Journal, 2002, 10(1):153-179
- [ 15 ] 王世贵. 河南盐碱水[J]. 河南地质,1988,6(2):45-52  
WANG Shigui. Saline-alkali water in Henan [J]. Henan Geology, 1988, 6(2):45-52
- [ 16 ] 刘云,熊康宁. 不同等级卡斯特石漠化治理的土壤效应研究:以毕节石桥小流域为例[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2009,27(1):14-18  
LIU Yun, XIONG Kangning. Study on soil effects of treatment for different rocky desertification in karst regions: A

- case study of Shiqiao small karst basin [J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences, 2009, 27 (1): 14-18
- [17] 蒋德明,曹成有,押田敏雄,等. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿人工林防风固沙及改良土壤效应研究[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5): 653-658  
JIANG Deming, CAO Chengyou, Oshida T, et al. Study on the effects of protection against wind, sand-fixation and soil improvement of Caragana microphylla Plantations in Horqin sand land [J]. Arid Zone Research, 2008, 25 (5): 653-658
- [18] 姜凌,李佩成,胡安焱,等. 干旱区绿洲土壤盐渍化分析评价[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 234-239  
JIANG Ling, LI Peicheng, HU Anyan, et al. Analysis and evaluation of soil salinization in oasis of arid region [J]. Arid Land Geography, 2009, 32(2): 234-239
- [19] 张彪,李文华,谢高地,等. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 529-534  
ZHANG Biao, LI Wenhua, XIE Gaodi, et al. Water conservation function and its measurement methods of forest ecosystem [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(3): 529-534
- [20] 普宗朝,张山清,杨琳,等. 1961—2008 年新疆克拉玛依市气候变化分析[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(4): 55-60  
PU Zongchao, ZHANG Shanqing, YANG Lin, et al. Climatic change in Karamay city of Xinjiang during 1961—2008 [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2009, 32(4): 55-60
- [21] 王瑟. 加强“三北”防护林建设[N]. 光明日报, 2007-03-09  
WANG Se. Strengthening on the Three Norths shelter forest construction [N]. Guangming Daily, 2007-30-09
- [22] 满苏尔·沙比提,吐尔洪·依明. 渭干河—库车河三角洲绿洲地下水盐化特征及成因分析[J]. 水文, 2009, 29(6): 58-61  
Mansuer · Shabiti, Tuerhong · Yiming. Cause analysis: salinization characteristics of underground water in Delta Oasis of the Weigan-Kuche River [J]. Journal of China Hydrology, 2009, 29(6): 58-61
- [23] 赵娜,胡春元,李钢铁,等. 不同人工林对土壤有机质的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(9): 4100-4101, 4133  
ZHAO Na, HU Chunyuan, LI Gangtie, et al. Influences of different plantation on soil organic matters [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(9): 4100-4101, 4133

## Effect analysis of land development in carbon dioxide capture forest in Karamay

ZUO Chenghua<sup>1</sup> WANG Ranghui<sup>1</sup> NING Husen<sup>2</sup> JI Xiaomin<sup>2</sup> MIN Shoujun<sup>3</sup> ZHAO Fusen<sup>3</sup>

1 School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Xinjiang Academy of Forest Science, Urumqi 830000

3 Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000

**Abstract** The effects of land development in Karamay artificial forest of carbon dioxide capture were analyzed based on the analytical results of soil and groundwater samples, coupling the theory of ecosystem services value. The results show that certain positive effects have been obtained through the land development. The mass fractions of organic matter, available nitrogen and fast-acting potassium in soil are all higher in the developed land than in the undeveloped. The condition of soil nutrient in the forest has been improved obviously. The mass fraction of total salt in soil is reduced by 67.5% in the developed land. The phenomenon of soil salinization has been controlled well. The forest ecosystem services value is  $1.5417 \times 10^9$  RMB ¥ · a<sup>-1</sup>. However, there are also some negative effects along with the positive ones. The condition of salt in groundwater has deteriorated. The value of pH, conductivity, salinity and total salt are all higher in the developed land than in the undeveloped land, thus the chemical features of groundwater is not sustainable for the CO<sub>2</sub> capture effects of the forest. The available phosphorus is becoming lower in mass fraction, which can not satisfy the development of forest plantations.

**Key words** hydrological chemical effect; soil effect; ecosystem services value