

# 棉田膜下滴灌年限对土壤盐分累积的影响研究

弋鹏飞, 虎胆·吐马尔白, 吴争光, 王 一民, 张金珠

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘 要:** 针对新疆土壤盐碱化开发利用和防治土壤次生盐渍化的问题, 以新疆 121 团不同滴灌年限棉田作为研究对象, 通过试验得出棉田在膜下滴灌条件下土壤盐分累积规律。结果表明: 滴灌条件下, 土壤垂直方向上 60–80 cm 土壤表现积盐, 灌后地表 0–5 cm 土壤容易返盐; 水平方向上土壤盐分随着距滴头距离的增加而增加。土壤盐分在生育期的变化遵循“盐随水动”的规律, 膜内土壤与膜间土壤的盐分变化具有明显差别, 生育期结束时, 膜间 0–20 cm 土层盐分累积显著。随着膜下滴灌年限的延长, 土壤盐分在灌前累积的层次逐渐向地表迁移, 吐絮期时土壤垂直剖面各个层次之间盐分差异极显著, 呈现表层和底端盐分含量大, 中间盐分小的分布特征, 滴灌年限相差 6~7 a 的棉田 0–100 cm 深度内盐分总量差异达到显著水平, 并且土壤盐分随膜下滴灌年限延长呈逐渐累积的趋势。

**关键词:** 棉田; 膜下滴灌; 土壤盐分; 生育期; 不同年限; 累积

中图分类号: S156.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0118-05

## Research on Soil Salt Accumulation Influence by the Years of Covered Cotton under Drip Irrigation

YI Peng-fei, Hudan · Tumaer bai, WU Zheng-guang, WANG Yi-min, ZHANG Jing-zhu

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** A field investigation was conducted to study the effect of mulch drip irrigation years on the characteristics of the soil salinity accumulation. The results showed that the salt content was significantly increased in 60–80 cm layers compared to other layers at the vertical direction, and the back up of the salt was easily observed in the 0–5 cm layers after irrigation. Further, a positive relationship was presented between the salt content and the distance from the dripper. The study also revealed that the soil salinity varied evidently together with water, namely that ‘salt moving with water’. In the growth period, an obvious difference was found between inside film and outside film, and the 0–20 cm layer salt was accumulated significantly at the end of growth period. In general, the longer the drip irrigation last, the easier the accumulated layer of salt moved to the up earth before irrigation, and the soil salinity showed extremely significant difference in soil layers at the boll opening stage, salt content of upper and lower section were large, while the central section was small. The salt was significant difference between 6~7 years distances of cotton field. The result of this study suggested that long term drip irrigation system might lead an increasing tendency of the soil salinity.

**Key words:** cotton field; drip irrigation under the mulching; soil salinity; growth period; different years; accumulation

膜下滴灌技术是将覆膜种植与滴灌技术相结合的一种新型灌溉技术, 滴灌淡化了主根区的盐分, 为作物生长提供了良好的水盐环境, 并且抑制了土壤蒸发和表层积盐<sup>[1-2]</sup>。膜下滴灌改变了常规的灌溉方式, 可控性较强, 不会产生深层渗漏, 最大限度地降低了水资源的浪费和土壤水分蒸发, 可以显著提高水分

利用率, 并且能使作物达到高产效果。最近几年国内外将膜下滴灌技术用于原生盐碱地的开发和次生盐碱化的防治已取得明显效果<sup>[3-9]</sup>。目前新疆膜下滴灌节水技术发展很快, 在推动棉花生产、实现棉花生产精确化管理方面发挥了重要作用, 但是新疆绿洲农田出现了新的次生盐渍化农业问题<sup>[10-12]</sup>。在新疆气候

收稿日期: 2010-03-29

资助项目: 国家科技支撑项目(2007BAD38B01); 新疆自治区科技攻关重大专项(200731137-1); 新疆自治区自然科学基金(200821172); 新疆水利水电工程重点学科资助

作者简介: 弋鹏飞(1984-)男, 新疆福海县人, 硕士研究生, 研究方向为农业水土工程。E-mail: yipengfei123@126.com

通信作者: 虎胆·吐马尔白(1960-)男, 教授, 博士, 博导, 研究方向为土壤水盐运移理论及节水灌溉理论。E-mail: hudant@hotmail.com

干燥、蒸发量大情况下,特殊的自下而上水分运移过程,导致盐分在土壤表层聚集,长期连作棉田土壤有潜在的土壤次生盐渍化危险。国内关于大棚设施土壤盐分的变化趋势报道很多,已经发现设施土壤盐分随种植年限延长而增加, pH 值呈降低的趋势<sup>[13-15]</sup>。但是对于膜下滴灌这种灌溉方式随年限的延长影响土壤盐分变化的研究很少。膜下滴灌由于其特殊的覆盖结构,改变了土壤的生态环境和自然状态下的水热平衡,尤其是改变了土壤的理化性状。本文通过监测不同年限的膜下滴灌棉田,研究膜下滴灌条件下的盐分累积特征,并探讨膜下滴灌条件下土壤盐分随滴灌年限的变化趋势,为膜下滴灌技术利用可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验地概况

该试验地在新疆石河子农八师121团,它是实施膜下滴灌技术种植棉花最早的地区,该地区位于天山北麓,准噶尔盆地南部,东经 $85^{\circ}20' - 85^{\circ}48'$ ,北纬 $44^{\circ}45' - 44^{\circ}58'$ 。该地属于典型的内陆荒漠性气候,日照时间长,平均最高气温 $35^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水180 mm,蒸发量1600 mm。试验地属于玛纳斯河下游古老的冲击平原地带,沙丘间为原始荒地,土壤质地为沙壤土。实验地点选自石河子农八师121团6连,共6块试验地,分别是1998年、1999年、2001年、2003年、2004年、2005年开垦并种植棉花的地块(即滴灌12, 11, 9, 7, 6, 5 a的地块)。播种前对6块不同种植年限的地块理化性状进行取土化验,试验地土壤理化性状基本一致。0–100 cm土层平均容重 $1.48\text{ g/cm}^3$ ,田间持水量为20.6%(重量含水率)。盐分类型以氯化物–硫酸盐为主,土壤有机质含量为0.82%,全氮、速效氮的含量分别为0.081%, 75 mg/kg,全磷0.042%,速效磷13 mg/kg。地下水埋深在生育期内为2~3 m,灌溉水质为地表淡水,矿化度为0.8~1.0 g/L。

### 1.2 试验方法

本实验研究棉花不同滴灌种植年限土壤盐分累积规律,实验时间2008年、2009年,棉花采用覆膜栽培,布置方式为一膜两管,实验地依据当地种植经验,采用相同的灌溉制度:全生育期灌溉量 $3\,900\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,共滴水8~10次,施肥随水滴入,平均施尿素 $450\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,磷酸二铵 $120\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,磷酸二氢钾 $67.5\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,棉苗数24万/ $\text{hm}^2$ 。取土方法:每块土地取土点采用GPS定位,每次在相同位置取土。分别是膜内滴头处、棉花窄行(距滴头约25 cm)、膜间

裸地(距滴头55–60 cm),每点分别采用土钻取土,垂直方向分0–5, 5–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 cm六个层次取样,每块地设3个重复。取样后利用烘干法测其土壤含水率,再利用DDS–307电导率仪测定水土比为5:1土壤浸提液的电导率,然后换算成土壤的全盐含量。取样时间分别在3月下旬(翻地)、4月中旬(播种前后)、6月中旬(滴第一水前、后)、7月中、下旬(花期)、8月中旬(铃期)、9月上旬(吐絮期)、9月中旬(收获期)取土。数据通过SPSS统计软件和Excell软件进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 滴灌下土壤空间盐分的变化

图1和表1表示在滴灌5 a的地块上棉花初次灌水两天(苗期)后,土壤盐分在垂直方向上和水平方向上的分布特征。从图1中可以看出膜内和膜间盐分有明显的差异。膜内土壤由于其地膜覆盖,减少了地表水分蒸发,土壤返盐量少,而且膜内土壤距离滴灌带近,受到水分的淋洗充分,盐分在水分的携带下发生侧向运移。膜内与膜间0–5 cm土壤盐分具有表聚现象,是由于停止灌水后,土壤水分在水势梯度、棉花蒸腾和土壤蒸发的作用下向地表迁移,盐分也随着水分的迁移而积累在0–5 cm土壤处。20–40 cm内土壤盐分为各层最低,在60–80 cm达到最高,80 cm以下盐分又逐渐减小。主要是水分在入渗的过程中将土壤中的盐分带入土层深处,随着深度的增加,入渗的水量逐渐减小,盐分含量随水移动逐渐迁移增加。在80–100 cm深处,由于滴灌的灌溉量少,加上棉花此段生长旺盛,需水强度大,所以水分消耗较强,造成湿润锋在80 cm以内,80 cm以下受到水分淋洗影响偏弱,盐分含量表现较小。膜内各层土壤盐分相比膜间都较低,充分说明了覆膜的优势,不仅具有减轻盐分在表层累积的作用,还具有使盐分侧移至膜间的功能,从而减小了盐分对棉花的危害,保证了棉花对水分和养分的吸收。从表1中可以看出灌水后土壤盐分不仅在深度方向上有差异,而且在同一深度的水平方向上差异也明显。总体上是滴头下方的含盐量低于棉花窄行,两者且都低于膜间裸地的含盐量。原因是滴灌时,水分以水滴形式滴入土层表面,在滴头下方逐渐形成饱和区。水分在重力和毛管力的作用下向土壤深层运移,也在毛管力和土壤基质势的作用下水平方向扩散,土壤盐分也沿着湿润球体的半径方向扩散,不断滴入土体的水分对土壤盐分具有淋洗作用,土壤盐分随着水分移动,累积在湿润体边缘,各湿润体相互搭接成湿润带,在湿润区的交界处即膜间

裸地形成了含盐量较高的积盐区。滴水过程中滴头下方土壤始终处于脱盐,窄行棉花根区土壤盐分也在减少,但幅度偏小,膜间裸地接纳了膜内和棉花根区的盐分则处于积盐,这与水分的运移路径有密切的关系。从表中还可以看出在土壤 20–40 cm 盐分含量在这 3 处中都表现最小,形成了稳定的盐分淡化区域,这为棉花根系发育提供了一个良好的水盐环境。

表 1 水平方向盐分分布 %

深度/cm	滴头处	窄行	膜间
0–5	0.24	0.30	0.42
5–20	0.16	0.17	0.21
20–40	0.13	0.15	0.17
40–60	0.18	0.21	0.25
60–80	0.20	0.24	0.39
80–100	0.19	0.23	0.28

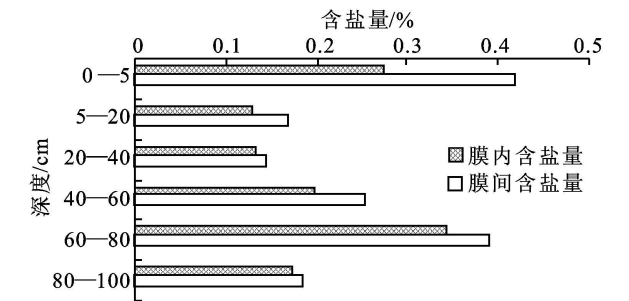


图 1 垂直方向土壤盐分分布

2.2 膜内、膜间土壤盐分在生育期前后的变化

经过生育期多次灌水和水分的消耗过程,在蒸腾作用及水分淋洗的条件下,土壤处于脱盐与积盐相互交替的状态,生育期结束后盐分是否累积是关注的焦点,为此将滴灌 5 a 的地块棉花收获期(9 月 10 日)0–100 cm 各层土壤盐分与苗期(6 月 9 日)进行对比,见表 2–3。

表 2 膜内土壤不同土层盐分含量变化

深度/cm	6 月 9 日	9 月 10 日	盐分差值	积盐率/%	脱盐率/%
0–5	0.2982	0.1102	0.188	–	63.04
5–20	0.1327	0.1107	0.022	–	16.58
20–40	0.1297	0.1097	0.02	–	15.42
40–60	0.1347	0.1167	0.018	–	13.36
60–80	0.1727	0.1977	–0.025	14.48	–
80–100	0.1992	0.2182	–0.019	9.54	–

表 3 膜间土壤不同土层盐分含量变化

深度/cm	6 月 9 日	9 月 10 日	盐分差值	积盐率/%
0–5	0.4057	0.6387	–0.233	57.43
5–20	0.3082	0.4397	–0.1315	42.67
20–40	0.2482	0.2857	–0.0375	15.10
40–60	0.2882	0.2992	–0.011	3.82
60–80	0.3447	0.3487	–0.004	1.16
80–100	0.3027	0.3157	–0.013	4.29

从表 2、3 中可以看出膜内与膜间土壤在苗期时(灌水前)表层都有不同程度的积盐,膜内积盐程度低于膜间,经过多次灌水,膜内各层土壤盐分趋于相近,并在生育期中保持了较为稳定的状态。在膜内 80 cm 深处,收获期的盐分高于同一深度灌前的盐分,说明盐分为深层出现累积,但是累积幅度不大,积盐率在 9.54%~14.48%。膜间土壤在开始灌溉前比膜内累积程度严重,因为膜间没有覆膜,蒸发十分强烈,土壤盐分随水分迁移到上层土壤,尤其是地表盐分含量高于下层。在灌水期间,膜间土壤距离滴头远,加上薄膜的阻隔,水分到达膜间的含量就很少,土壤含水量远低于膜内。灌水使膜内根区的盐分运移到膜间,膜内形成淡化区,膜外接纳了膜内的盐分形成积盐区,表现出“盐随水动”的规律。膜间裸地充当了干排盐的生态用地角色,减轻了由于灌溉水量小引起的盐分失衡状况,维持了短期内土壤盐分平衡。由于棉花根系主要分布在膜内,膜间积累的盐分不会对棉花生长产生影响。由表 2 可以看出,膜内 0–100 cm 土壤盐分动态变化情况,0–60 cm 土壤从生育期灌水到灌水结束处于脱盐状态,随着深度的递增,脱盐率逐渐减小,变化幅度为 13.36%~63.04%。60–100 cm 略微积盐,平均积盐率为 12.01%。由表 3 可以看出,膜间 0–100 cm 土壤盐分从生育期灌水到灌水结束处于积盐状态,0–20 cm 土壤积盐程度比较明显,平均积盐率为 50.05%,随着深度的递增,积盐率逐渐降低。

2.3 灌水前后不同年限土壤盐分的变化

从图 2 中可以看出灌水前(6 月 9 日)不同年限土壤表层盐分含量较高,而多次灌水后(8 月 25 日)盐分却主要集中在 60 cm 以下,0–40 cm 土壤处于脱盐过程。在灌前,滴灌 9、11、12 a 的土壤盐分主要集中在 0–20 cm,滴灌 5、6、7 a 的土壤盐分却主要集中在 60–80 cm,说明随着膜下滴灌年限的增加,土壤盐分在灌前聚集的层次逐渐向地表移动。滴灌年限越长的地块表层在滴灌前容易返盐,且增幅偏高,滴灌 12 a 土壤表层含盐量比其 20 cm 的土壤高了 0.53%,滴灌 6 a 的土壤表层含盐量比其 20 cm 的土壤只多了 0.22%。滴灌 9、11、12 a 地表的含盐量在灌第一水前超过了棉花标准的耐盐范围(棉花耐盐度为 0.5%),需要及时灌水淋洗,以防影响棉花生长,而滴灌 5、6、7 a 的地表含盐量低于棉花的耐盐度。在灌水条件下不同年限土壤剖面盐分分布大致相似,上层盐分在减少,下层盐分在累积。大田滴灌前的棉花处于苗期(4 月下旬–6 月上旬),通常苗期几乎不灌水,出苗水的灌溉可以保证棉苗的正常生长,同时幼苗需水少,而且薄膜覆盖降低了土壤水分蒸发,具

有良好的保墒作用。随着时间的推移 5-6 月气温逐渐升高, 地表的蒸发逐渐变强, 表层的土壤水分含量逐渐降低, 同时土壤的基质势降低, 土壤吸力变大, 土壤水分在毛管力的作用下向上运移, 土壤中的盐分随水分一起向地表迁移。当表层的土壤水分减少到一定程度, 土壤盐分就在地表逐渐累积, 所以灌第一水前

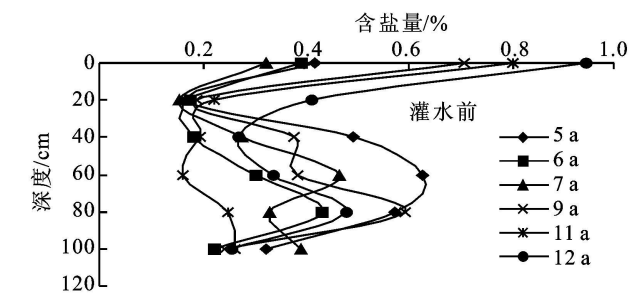


图 2 灌水前、后不同年限土壤盐分分布

2.4 不同深度土层土壤盐分随年限变化

表 4 表示吐絮期后不同年限滴灌棉田的不同层次深度土壤盐分含量对比。从表中可以看出随着棉花 5 a 膜下滴灌后, 土壤盐分积累比较迅速, 不同层次深度盐分都有所累积。采样数据通过 SPSS 16.0 软件进行统计, 经过方差分析可知土壤在 0-100 cm 深度内, 3 个层次盐分的相关关系在各个年限中表现差异极显著, 说明滴灌条件下土壤盐分具有明显的分层现象。滴灌年限 11, 12 a 地块的 0-100 cm 土壤盐分总量和滴灌 5 a 的地块相比差异显著, 且滴灌 6, 7, 9, 11, 12 a 的土壤盐分比滴灌 5 a 的土壤分别增加了 15.97%, 22.69%, 27.73%, 34.45%, 44.54%, 并且土壤盐分的升高对棉花的生长已经产生了胁迫影响。表 4 显示土壤盐分在表层和底层累积量高于中部, 说明盐分的运移同时存在着明显向底层运移和向表层聚集两种方式, 但主要是运移到土壤深层。这在新疆北部和南部种植棉花的地区表现一致。根据当地膜下滴灌棉花种植经验, 结合本研究认为, 当地 121 团膜下滴灌的地块一般在种植棉花 5 a 后应大水洗盐, 这样才能使土壤总体盐分含量保持一个较低层次, 保证棉花能够长期正常生长。总之棉田土壤的盐分累积特征主要有两方面, 一方面, 由于在生育期大量施肥及灌水增加了盐分的向下淋洗量, 从而使底土层的含盐量高于土壤上层含盐量; 另一方面, 盐分又因为土壤蒸发随着水分的向上运动而逐渐向表层迁移、聚集, 出现明显的表聚现象。由于滴灌棉花根系主要分布在土壤中上层, 因此, 土壤浅层盐分含量的增高抑制了根系对水肥的吸收, 表现出对作物明显的盐分胁迫现象, 而且底层盐分的聚集增加了土壤次生盐渍化潜在的可能性。

的土壤盐分在表层聚集严重, 这在不同年限土壤中表现一致。棉花经过一个生育期的灌水后, 土壤中上层的盐分逐渐淋洗到深层 80 cm 以下土壤中。据数据分析灌水量越大, 盐分运移的深度会越深, 灌溉期的土壤含盐量低于非灌溉期的土壤含盐量, 说明膜下滴灌在灌溉期内对土壤具有较好的洗盐效果。

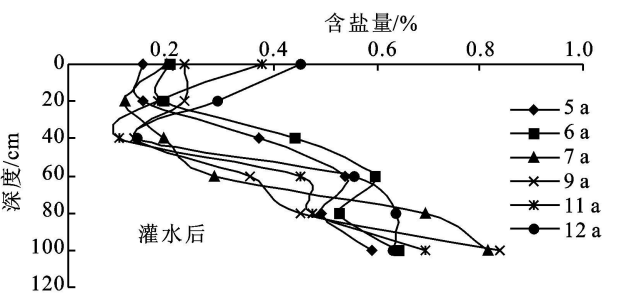


表 4 不同滴灌年限不同深度土壤盐分变化 %

深度/cm	滴灌时间/a					
	5	6	7	9	11	12
0- 30	0.33C	0.38C	0.4C	0.42C	0.46C	0.51C
30- 60	0.31B	0.35B	0.37B	0.36B	0.35B	0.4B
60- 100	0.55A	0.65A	0.69A	0.74A	0.79A	0.81A
总含盐量	1.19b	1.38ab	1.46ab	1.52ab	1.6a	1.72a

注: A, B, C, 代表差异极显著( $p < 0.01$ ); a, b, 代表差异显著( $p < 0.05$ )

3 结论与讨论

在滴灌条件下, 土壤盐分随着水分的入渗和扩散, 主要积累在膜间地表 0-20 cm 和 60 cm 深度以下土壤, 膜内地表和膜间地表在每次滴灌结束后都表现出蒸发返盐现象。土壤盐分在生育期里表现出“盐随水动”的规律。土壤盐分在苗期大量累积在土壤中, 经过整个生育期的灌水, 收获期时膜内主要表现脱盐过程, 膜间表层积盐较为显著。灌溉期的土壤盐分含量低于非灌溉期的土壤盐分。

土壤盐分累积特征主要表现在两方面: 一是由于在生育期大量施肥及灌水增加了盐分的向下淋洗量, 从而使底土层的含盐量高于土壤上层含盐量; 另一方面, 盐分又因为土壤蒸发随着水分的向上运动而逐渐向表层迁移、聚集, 出现明显的表聚现象, 土壤剖面中层盐分含量低。这与刘国华<sup>[16-18]</sup>等人的研究基本一致。随着膜下滴灌年限的延长, 土壤盐分在灌前聚集的层次逐渐向地表移动, 不同深度土层的含盐量都有明显的增加, 并且差异达到极显著水平。滴灌年限相差 6~7 a 的棉田 0-100 cm 盐分差异达到显著水平。

从棉田膜内土壤与膜间土壤在生育期内盐分变化分析得出: 滴灌棉田在整个生育期内总体呈积盐状态, 这与周宏飞等人研究一致<sup>[19-20]</sup>。膜下滴灌技术使

用以来,因为去除了排碱渠这种排盐碱设施,使得土壤盐分只进不出。膜下滴灌虽节省了水资源,可以把作物根区的盐分淡化,这只是一种短期的比较合理的压盐措施,但是盐分始终在棉田累积,可以推测盐分累积到一定程度,容易在强烈蒸发或者灌溉措施不合理等条件下,土壤盐分就会通过毛管作用强烈地聚集在地表,造成严重的棉田次生盐渍化现象,严重影响棉田可持续发展,所以膜下滴灌使用一定年限后,须结合当地土壤盐渍化状况,对棉田进行大水漫灌洗盐是保证棉田可持续发展的必要措施。

#### 参考文献:

- [1] 马富裕,严以绥.棉花膜下滴灌技术理论与实践[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2002.
- [2] 张志新.滴灌[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992.
- [3] 王全九,王文焰,汪志荣,等.盐碱地膜下滴灌技术参数的确定[J].农业工程学报,2001,12(2):47-50.
- [4] 吕殿青,王全九,王文焰,等.膜下滴灌土壤盐分特性及影响因素的初步研究[J].灌溉排水,2001,20(1):28-31.
- [5] 刘新永,田长彦.棉花膜下滴灌盐分动态及平衡研究[J].水土保持学报,2005,19(6):82-85.
- [6] Assouline S. The effects of micro drip and conventional drip on water distribution and uptake[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2002,66:1630-1636.
- [7] Marshall E, Syed N R. Perspectives on deficit irrigation [J]. Agricultural Water management, 1996,32:1-14.
- [8] Thomas L T, Scott A W, James W. Fertigation frequency for subsurface drip irrigated broccoli[J]. Soil Sci.

Soc. Am. J., 2003,67:910-918.

- [9] 叶含春,刘太宁,王立洪.棉花滴灌田间盐分变化规律的初步研究[J].节水灌溉,2003,6(4):4-6.
- [10] 张伟,吕新,李鲁华,等.新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律初报[J].农业工程学报,2008,24(8):15-29.
- [11] 刘建国,张伟,李彦斌,等.新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):725-733.
- [12] 陈小兵,杨劲松,刘春卿.新疆阿拉尔灌区土壤次生盐碱化防治及其相关问题研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(6):168-172.
- [13] 刘晓军,陈竹君,张英莉,等.不同栽培年限日光温室土壤养分累积特性研究[J].土壤通报,2009,40(2):285-289.
- [14] 马献发,白路平,张继舟.哈尔滨市郊设施土壤积盐规律的研究[J].黑龙江农业科学,2009(1):50-52.
- [15] 范庆锋,张玉龙,陈重,等.保护地土壤盐分积累及其离子组成对土壤 pH 值的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):16-20.
- [16] 刘国华,海米提·依米提,王庆峰,等.于田绿洲土壤盐分特征分析[J].水土保持研究,2009,16(3):260-264.
- [17] 任加国,郑西来,许模,等.新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究[J].土壤,2005,37(6):635-639.
- [18] 古丽格娜·哈力木拉提,阿布都沙拉木·加拉力丁,海米提·依米提,等.新疆于田绿洲盐渍化土壤盐分动态变化特征研究[J].水土保持研究,2008,15(3):100-104.
- [19] 周宏飞,马金铃.塔里木灌区棉田的水盐动态和水盐平衡问题探讨[J].灌溉排水,2005,24(6):10-14.
- [20] 王家平,吕新,孙学,等.膜下滴灌农田盐分运移情况调查与分析[J].新疆农业科学,2008,45(4):682-686.

(上接第 117 页)

研究黑龙江省煤炭城市土地生态效益具有较好的典型性和借鉴启示作用。土地利用是一个可持续的动态过程,并呈现阶段性变化<sup>[7]</sup>,从各准则层权重来看,土地生态承载力和土地生态响应对土地生态的影响度比较大,在以后的土地利用中,应增加人均耕地面积、经济密度、工业固体废物综合利用率、环境污染治理投资额、三废综合利用产值等方面的投入,以此来提高土地生态效益水平。

此外,土地生态效益评价关系到区域土地的可持续利用,应不断加强土地的生态效益研究,平衡土地之间的结构性和生态性矛盾,改变煤炭城市的产业趋同现状,合理配置土地资源,稳步提高土地的生态效益。

#### 参考文献:

- [1] 董楠,陶军德.基于空间洛伦茨曲线和基尼系数的土地

利用结构分析:以黑龙江省鹤岗市为例[J].国土资源情报,2009(6):38-42.

- [2] 庞英,张绍刚,陈志刚.山东省耕地利用效益的时空差异[J].经济地理,2006,26(6):1037-1046.
- [3] 覃事娅,尹惠斌.基于 AHP 的土地整理综合效益评价实证研究[J].河北农业科学,2007,11(2):93-96.
- [4] 李江,郭庆胜.基于信息熵的城市用地结构动态演变分析[J].长江流域资源与环境,2002(9):394-395.
- [5] 宋戈.中国城镇化进程中土地利用研究[M].北京:中国农业出版社,2005:173-174.
- [6] 王雨晴,宋戈.城市土地利用综合效益评价与案例研究[J].地理科学,2006,26(6):743-748.
- [7] 冯科,郑娟尔,韦仕川,等. GIS 和 PSR 框架下城市土地集约利用空间差异的实证研究:以浙江省为例[J].经济地理,2007,27(5):811-814.