

文章编号 :1006 - 7639(2004) - 01 - 0021 - 05

# 河西走廊农灌区耕作土壤次生盐渍化成因与防治对策

尉元明<sup>1</sup>, 朱丽霞<sup>2</sup>, 乔艳君<sup>3</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020 2. 甘肃省环境保护研究所, 甘肃 兰州 730000;  
3. 兰州市气象局, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要** :产生河西走廊耕作土壤次生盐渍化的主要成因, 概括起来为大水漫灌、串灌, 大块田土地不平整, 灌水不均匀, 化肥施用量过高, 作物耕作制度不合理, 土地弃耕和渠道渗漏等。防治对策是平整土地、合理密植、增大有机肥施用量、节水灌溉防止弃耕。

**关键词** :河西走廊, 盐渍化, 灌溉, 对策

中图分类号 :S156.4

文献标识码 :A

## 引 言

盐渍化土地的整治与优化利用以及防止耕作土壤产生新的次生盐渍化是干旱、半干旱灌溉地区土地资源开发利用研究的一个重要课题。它关系着干旱灌溉区绿洲农业可持续发展、生态保护和人民生活水平的提高。

河西走廊农耕区年降水量在 35 ~ 200mm 之间, 而蒸发量高达 2 000mm 以上, 无灌溉便无农业。农耕区虽降水稀少, 但祁连山区降水较多, 加上冰川、积雪溶水, 通过内陆河向耕区输送丰富的水资源, 为农业提供了便利的灌溉条件, 孕育了星罗棋布的沙漠和戈壁绿洲。由于灌溉条件便利, 自有农业以来, 一直沿用传统的大水漫灌和串灌方式, 到 2000 年为止仍有 97% 的农田采用这种方式灌溉, 不仅浪费了水资源而且造成了次生盐渍化土壤的产生, 大量的农耕地因土壤盐渍化不得不弃耕。河西走廊 20 世纪 60 年代初以来开垦的耕地已基本撂荒, 走廊东段的景电工程灌区, 因次生盐渍化已有 30% 的耕地弃耕, 整个河西走廊损失良田约  $180 \times 10^4 \text{hm}^2$  [1]。

## 1 形成耕作土壤次生盐渍化的机制和成因

土壤次生盐渍化, 从本质上来说是一个诸多自然因素和人为因素共同作用下所造成的水盐不平衡

问题。河西走廊灌区耕作土壤次生盐渍化的产生是自然条件和人为不合理的利用、干预等诸多因素综合作用的结果。自然因素使得盐渍化成为可能, 而人为因素则使这种可能性变成现实。

### 1.1 形成耕作土壤次生盐渍化的机制

耕作土壤次生盐渍化主要与大气蒸发能力、地下水埋深、土壤特性、矿化度和人为灌溉、施肥和种植方式有着直接的关系。当大气蒸发能力一定、地下水埋深较深时, 土壤积盐程度主要与土壤特性、矿化度、灌溉和施肥以及种植方式有关。

河西走廊主要耕作土壤是在棕钙土、灰钙土、灰漠土和棕漠土等地带性土壤的基础上, 经长期的灌溉淤积等人为作用下而形成的灌淤土和灌耕土。按甘肃省土壤养分分级标准划分, 河西 3 市土壤肥力, 有机质、氮和速效磷含量均为 4 级, 速效钾武威市是 2 级, 其余两市为 3 级。由此可知, 目前河西 3 市土壤质地和耕性不良, 保肥能力普遍较差, 土壤养分特征是: 有机质、氮、磷普遍不足, 钾够用 [2]。

2000 年, 甘肃省环保研究所在甘肃省农业节水灌溉工程项目环境影响评价中, 对武威、张掖、酒泉 3 市作物生长正常、具有代表性的漫灌大田土壤易溶性盐分组成进行了取样分析, 分析结果与李福兴 [3]、刘胤汉 [4] 研究结果相同, 即河西走廊耕作土壤全盐含量低于 0.2%。但在地势较低、地下水位较高的部分绿洲仍存在次生盐渍化的威胁。

收稿日期: 2003 - 08 - 20 改回日期: 2004 - 02 - 11

作者简介: 尉元明 (1955 - ) 男, 江苏镇江人, 副研究员, 主要从事干旱地区环境灾害及对策方面的研究. E-mail: weiyuanm@yahoo.com.

河西走廊农灌水主要是利用河西地区内陆河和地下水进行灌溉,根据联合国粮农组织对作物灌溉水质要求,灌溉水质要达到农田灌溉标准并不引起土壤盐渍化。通常在对灌溉水质进行评价时,以矿化度和氯离子含量为盐害指标,以剩余碱度和钠吸附比值为碱害指标,计算公式为:

可溶性钠含量(SSP):

$$SSP = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100\%$$

盐度(SS):

$$SS = Cl^- + SO_4^{2-} \text{ (cmol/L)}$$

残余碳酸钠(RSC):

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ (cmol/L)}$$

碱化度(SDR):

$$SDR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

钠吸附比(SAR):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

河西走廊灌溉水质完全符合农灌水标准(表1),且水质良好,在合理灌溉条件下,不会因水质而使土壤产生盐渍化。

表1 河西走廊灌区灌溉水质评价结果

Tab.1 The evaluating result of irrigating water quality in irrigating regions in Hexi corridor

项目	地区	武威	张掖	酒泉	评价标准
矿化度(g/L)		0.47	0.56	0.73	<1g/L 为淡水
可溶性钠含量(SSP%)		31.0	32.8	31.3	SSP>60% 为不宜灌溉水
盐度(SS)		6.72	5.44	4.77	SS>10~15cmol/L 时,小麦、玉米苗期受抑制
残余碳酸钠(RSC)		-2.05	-2.47	-2.43	RSC<1.25 为安全值
碱化度(SDR)		0.45	0.49	0.45	SDR<1 为宜灌溉水
钠吸附比(SAR)		1.66	1.82	1.72	SAR<10 可用于各种土壤

## 1.2 耕作土壤盐渍化成因分析

通过以上耕作土壤次生盐渍化的生成机制分析可知,河西走廊产生耕作土壤次生盐渍化的原因,主要与灌溉、施肥和生产方式有关。

### 1.2.1 过量灌溉形成土壤次生盐渍化

土壤学家 Scofield 提出,进入灌区的易溶性盐量和通过排水排出的盐量之间的关系称之为盐分平衡。当输入盐量大于排出盐量土壤积盐,若输入盐量小于排出盐量土壤脱积盐。盐分的平衡是通过水分的平衡来实现的。水是盐分的溶剂又是盐分的载体,只有通过水分平衡才能达到盐分平衡,灌区水平衡方程为:

$$WB = \text{收入} - \text{支出} \\ = (P + I + Q_i) - (E_i + Q_0)$$

式中  $P$  为降水量;  $I$  为灌水量;  $E_i$  为蒸散量(蒸发+蒸腾);  $Q_i$  和  $Q_0$  分别为区域外流入的地下水量和流出到溶泄区的地下水水量;  $WB$  为水分平衡状况。

从理论上讲,如果  $P + I = E_i$  即按蒸散量来灌溉,则  $Q_i = Q_0$ , 于是  $WB = 0$ , 达到了灌区水分的绝对平衡。当然,在生产中这种绝对平衡不可能做到,因为总有一部分或多或少的的水分要渗漏而补给地下水,使得  $Q_i > Q_0$ 。

当假定  $Q_i = Q_0$ , 作物全生育期水分平衡状况可改写为:

$$P + I = K_c E_i$$

式中  $K_c E_i$  为作物耗水量;  $K_c$  为作物生长系数。

邓振镛等人<sup>[5]</sup>对河西走廊主产作物春小麦全生育期耗水量进行了大量的计算,其结果见表2。

表2 河西走廊春小麦全生育期耗水量( $m^3/hm^2$ )

Tab.2 Water consuming of spring wheat in all bearing period in Hexi corridor

生长期	播种-出苗	出苗-三叶	三叶-分蘖	分蘖-拔节	拔节-抽穗	抽穗-黄熟	全生育期
耗水量	68.93	194.81	352.65	1444.55	383.62	2132.87	4577.42

由表可知,河西走廊小麦耗水量为  $4577.4m^3/hm^2$ 。目前河西走廊仍有97%的农田采用1a4~5次大水漫灌、串灌方式进行农田灌溉。从节水灌溉和常规灌溉对比分析可知(表3),截止2000年,河西3地区已建成各类节水灌溉面积24708.6 $hm^2$ ,节水灌溉用水量在  $4845\sim5310m^3/hm^2$  之间,平均为  $5108m^3/hm^2$ ,与计算的耗水量理论值相差不大。而常规灌溉用水量在  $9270\sim13230m^3/hm^2$  之间,平均为  $11612m^3/hm^2$ 。节水灌溉比常规灌溉平均每公顷节约水资源  $6504m^3$ (常规灌溉的用水量含渠道渗漏、超定额灌溉等因素的实际用水量)。

漫灌和串灌易产生土壤次生盐渍化。过量的灌溉水渗入土壤并进入非饱和带储存,同时排水系统通过排水沟将部分水分输出田间,土壤蒸发作用使部分水分逸出土面进入大气,而植物蒸腾使土壤水分通过叶面或其他植物器官进入大气,这样灌溉水经历了入渗—补充土壤水—农田排水—土面蒸发—植物吸收利用等过程<sup>[6]</sup>。盐随水来,因此水分的这

表 3 灌区水资源利用现状

Tab.3 The current situation of water resource utilization

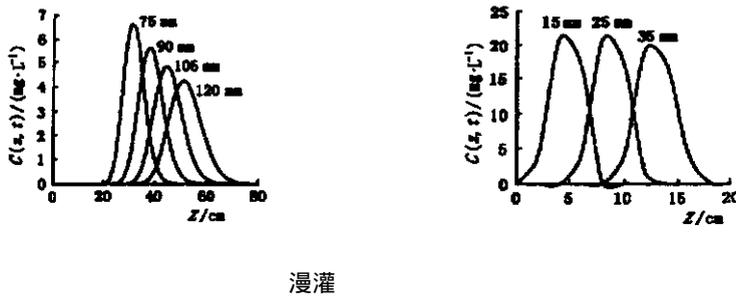
地区	常规灌溉				节水灌溉				
	项目 灌溉水总量 ( $10^4\text{m}^3$ )	面积 ( $\text{hm}^2$ )	总用水量 ( $10^4\text{m}^3$ )	占有率 (%)	耗水量 ( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )	面积 ( $\text{hm}^2$ )	总用水量 ( $10^4\text{m}^3$ )	占有率 (%)	耗水量 ( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )
酒泉	116 912	84 448.8	111 727.7	95.6	13 230	9 990	5 184.3	4.4	5 310
张掖	168 057	131 668.2	162 454.2	96.7	12 338	10 789.2	5 602.8	3.3	5 170
武威	163 521	174 292.2	161 623.9	98.9	9 270	3 929.4	1 897.1	1.1	4 845

些运动过程必然引起土壤盐分相应的迁移过程<sup>[7]</sup>。在灌溉—入渗—蒸发和蒸腾—再灌溉的重复作用下,灌溉水中的盐分随水分上移积累在上层土壤中,并引起积盐。因此在整个灌溉期上层土壤经历着反复的脱盐和积盐过程。

过量灌溉,不但容易引起土壤次生盐渍化,而且浪费水资源是一个不争的事实。特别是在土壤母质含盐较高的地区,大水漫灌和串灌,导致深层渗漏加剧和蒸发量增大,加速了灌区土壤次生盐化过程。而节水灌溉实验区,如民乐县洪水河、张掖市安阳、石岗墩和高台县骆驼城等地的喷灌实验区,小麦生育期喷灌 9~10 次,平均灌水定额  $5\ 170\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,灌溉水利用率 89%,与漫灌相比,漫灌 4 次,平均灌水

定额  $12\ 338\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,灌溉水利用率 38%;采用喷灌小麦增产  $615\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增产 10%。滴灌主要适用于稀植作物,在该区  $256.4\ \text{hm}^2$  果树进行多年滴灌实验后与漫灌对比分析可知,果树生育期滴灌 18~20 次,灌溉定额  $3\ 000\sim 4\ 050\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,与漫灌相比年节水  $3\ 300\sim 3\ 750\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,节水 45%,节电 38%。由于滴灌灌溉水量小,灌水次数多,使果树得到适量灌溉而增产  $2\ 250\sim 3\ 000\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增产 10%以上<sup>[8]</sup>。

魏新平<sup>[9]</sup>利用数学模型对漫灌和喷灌土壤养分运移作了数值计算,并结合试验结果进行了对比分析(图 1)。

图 1 漫灌和喷灌条件下  $\text{NO}_3^-$  浓度剖面(引自文献[9])Fig.1  $\text{NO}_3^-$  distribution section under sprinkler and flood irrigation

其结果是:在灌溉入渗过程中,喷灌入渗的供水强度低,入渗时间长,土壤养分随水分运动而向下运移的时间长,运移速度慢,机械弥散作用小,入渗结束后,养分浓度集中分布在土壤表层作用的主根区内,有利于作物吸收利用。漫灌入渗的供水强度大,入渗时间短,土壤养分向下运移所需时间短,孔隙水流速大,机械弥散作用强,入渗结束后,养分浓度集中分布在土壤深层的作物主根区外,不利于作物吸收利用,并容易造成地下水污染。因此,大力推广节水灌溉技术,不仅可以节水,还能起到保肥、提高化肥利用率,防止土壤次生盐渍化的作用。

### 1.2.2 不合理耕作方式形成土壤次生盐渍化

(1)大量施用化肥加速了土壤的板结和次生盐渍化的产生。由于化肥在作物增产中起着重要的作

用,为了追求高产,化肥投入量逐年增加,河西走廊已成为化肥的高施肥量区<sup>[10]</sup>。

有机质能改良土壤,有助于维持微生物种群的正常繁殖,从而提高无机化肥转化利用效率,有机肥施用不足将导致土壤的有机质下降。河西 3 地区有机与无机肥施用量比例由 20 世纪 80 年代的 7:3 变为 2000 年的 3:7,2000 年实测土壤有机质在 1.39%~1.54% 之间,而发达国家土壤有机质一般在 2.5%~4.0%<sup>[11]</sup>。由于有机质不足,导致土壤的团粒结构改变,严重影响了作物对养分的吸收,造成了作物对氮、磷肥的利用率偏低。氮、磷肥利用率分别在 20%~40% 和 15%~30% 之间。其结果是导致地力受损,有效营养元素失衡,土壤板结,保水保肥能力下降,地表水和地下水受到污染,农作物品质下

降,危及人体健康。另外还导致农业成本上升,增加了农民负担。

方日尧等人<sup>[12]</sup>通过试验表明,黄土高原区长期施用有机肥对土壤肥力及物理性状影响较大。由表4可知,与对照(未施肥)相比施用化肥处理土壤容重、地表硬度和耕层紧实度增大,田间持水量和有效水含量降低,表明长期单施化肥可导致土体紧实,物理性状恶化。施有机肥加化肥与单施化肥及对照相比土壤容重、地表硬度和耕层紧实度降低,田间持水量和有效水含量明显增加,提高了地表水分入渗能力和降水利用率,改善土壤结构和物理性状,提高土壤调节水、肥、气、热的能力。

表4 不同施肥处理土壤物理性状比较\*

Tab.4 Physical properties of soil under different treatments

施肥量处理	土壤容重 g/cm <sup>3</sup>	地表硬度 kg/cm <sup>2</sup>	耕层紧实度 kg/cm <sup>2</sup>	田间持水量 %	有效含水量 %
未施肥(对照)	1.43	9.2±7.7	9.60±0.00	21.7	14.7
化肥 NPK	1.54	9.6±5.4	1.05±0.17	20.4	13.6
厩肥+NPK	1.35	9.0±4.6	0.85±0.20	22.3	15.4
麦秸+NPK	1.30	8.7±5.2	0.83±0.17	22.6	15.2
玉米秸+NPK	1.29	8.5±4.9	0.81±0.19	22.4	15.7
绿肥+NPK	1.31	8.6±5.5	0.84±0.17	22.5	15.3

\*引自文献[12]

(2)作物种植密度不合理加速了土壤的次生盐渍化。在以宽行或稀植为主的灌区,作物苗期,植被覆盖度低,土壤水分蒸发力强,加速了土壤盐分的积累。此外,在复种、套种面积小的灌区,夏收后,由于不能及时深翻土地,蒸发强烈,也加速了土壤返盐。

(3)多次数和灌水不均匀造成局部地方形成盐斑。沿沙漠区,如敦煌、民勤、安西等地1a进行6~7次大水漫灌、串灌,加之田块较大,一般在0.1~0.2hm<sup>2</sup>,甚至有>1.5hm<sup>2</sup>以上的大块田。灌溉水进入农田后,不能均匀分布,局部高起的地方淹水浅,低洼的地方淹水深,在淹水浅的地方,停灌后地面首先露出,在强力的蒸发作用下,周围土壤通过侧向毛细管作用,使盐分随水带到高处,形成盐斑。反之,在淹水深的地方,灌溉水中溶解的盐分也随水向洼地集中,蒸发后盐分便聚集在洼地,同样也形成盐斑。当地实验表明<sup>[13]</sup>,灌溉地块控制在0.04hm<sup>2</sup>左右最节水,地块每增大0.04hm<sup>2</sup>,就多耗水120~150m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,地块越大,耗水越多,出现次生盐渍化的机率越高。

(4)土地弃耕引起次生盐渍化。近年来由于内陆河来水量减少、地下水位下降<sup>[14]</sup>,一些农田因灌不上水而弃耕,在干旱区强力的蒸发作用下土壤盐分向上回升,使土壤次生盐渍化。

(5)个别地区提取高矿化度地下水灌溉,引起耕地次生盐渍化。如民勤县地下水矿化度高达7~10g/L,经过数年灌溉后,已造成近2×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>耕地的次生盐渍化。

(6)渠道渗漏补给地下水造成土壤次生盐渍化。灌溉渠道在长期和定期输水期间,以其渗漏水量和较高水头的静水压力向两侧地下水补给、顶托,使两侧地下水位迅速升高,因而形成灌区土壤次生盐渍化的特殊分布,即盐渍土沿着渠道两侧呈带状分布。一般盐渍化程度从渠道向远处逐渐减少,而大型渠道两侧盐渍化有向远处延伸的特点。

## 2 防治耕作土壤盐渍化的对策

通过以上耕作土壤盐渍化的成因分析,可以清楚的知道,河西走廊耕作土壤产生次生盐渍化的主要原因是由灌溉方式、有机肥施入量不足、耕作制度、渠道渗漏、土地弃耕等原因造成的。为此,在防止盐渍化对策中应根据成因对症下药。具体对策是:大力进行渠系改扩建、加强田间配套工程,推广以节水为中心的作物高产、稳产、低成本的灌溉制度和最优化灌溉模式,增大有机肥的施用量,提高水、肥利用率<sup>[15]</sup>。

目前国内外普遍采用的节水灌溉技术主要有渠道衬砌、低压管道输水、喷灌、滴灌等技术。渠道衬砌和低压管灌,可以有效的提高渠系统的利用系数,减少渠道渗漏,防止渠道两侧产生次生盐渍化。根据2000年河西走廊实地踏勘结果表明,在已衬砌多年的渠道两侧未出现土壤盐渍化现象。

喷灌和滴灌是按作物生长的需要来确定灌溉水量的,因其高效节水,不产生深层渗漏和径流。同时,由于河西地区地下水位较深,也不会发生地下水向根区的毛细管输送而将盐分带至耕作层,由此可见,河西地区实施喷灌、滴灌会改变土壤中的水盐动态,防止土壤积盐而避免土壤盐渍化。另外,节水灌溉比大水漫灌每公顷节约水资源30%~60%,可以缓解因缺水而弃耕的压力。在受条件限制不能进行喷、滴灌和管灌的地区,应改大块田灌溉为小畦灌溉,减少因灌溉不均造成的土壤次生盐渍化。

减少无机肥、增加有机肥的施用量,有机质含量是衡量土壤肥力水平及盐渍化的重要指标。土壤有机质含量的增加不但可以增加土壤肥力,而且还能抑制、防治和改良土壤的盐渍化。另外加强作物的合理密植,夏收后及时深翻土地,防止土壤次生盐渍

化。

### 3 结 论

3.1 产生盐渍化土壤的成因主要是大水漫灌造成土壤次生盐化,作物布局不合理加速了土壤盐化,大块田灌水不均匀造成局部地方形成盐斑;土地弃耕引起次生盐渍化;渠道渗漏补给地下水引起土壤次生盐渍化。

3.2 防治盐渍化的对策应根据成因对症下药,具体对策是采用节水灌溉技术,取缔传统的大水漫灌和串灌方式,改大块田为小畦田浇灌;减少化肥施用量,增加有机肥施用比例,合理密植等是河西走廊防治耕地产生次生盐渍化的有效措施。

参考文献:

- [1] 周怀东,李贵宝.水环境与生态保护是21世纪初水利科技优先发展的领域[J].水利信息网,2003(9):1-9.
- [2] 尉元明,朱丽霞,乔艳君,等.干旱地区灌溉农田化肥施用量与环境影响分析[J].干旱区资源与环境,2003,17(5):65-69.
- [3] 李福兴.河西走廊绿洲灌淤土的初步研究[J].干旱区资源与环境,1995(4):180-185.
- [4] 刘胤汉.河西走廊绿洲土地类型及其开发利用[J].干旱区资源

与环境,1990(1):50-58.

- [5] 邓振镛,林日暖.河西气候与农业开发[M].北京:气象出版社,1993.120-122.
- [6] 王全九,王文焰,汪志荣,等.排水地段土壤盐分变化特征分析[J].土壤学报,2001,38(2):271-276.
- [7] 刘广明,杨劲松,李冬顺.地下水蒸发规律及其与土壤盐分的关系[J].土壤学报,2002,39(3):384-389.
- [8] 王天雄.张掖地区节水灌溉模式应用分析[J].中国农村水利水电,2002(4):25-27.
- [9] 魏新平.漫灌和喷灌条件下土壤养分运移特征的初步研究[J].农业工程学报,1999,15(4):83-87.
- [10] 陈同斌,曾希柏,胡清秀.中国化肥利用率的区域分异[J].地理学报,2002,57(5):531-538.
- [11] 侯祺泰.科学施肥提高化肥利用率与建议[J].化工时刊,1997,11(6):19-26.
- [12] 方日尧,同延安,耿增超,等.黄土高原区长期施用有机肥对土壤肥力及小麦产量的影响[J].中国生态农业学报,2003,11(2):47-49.
- [13] 张勃,石培基,赵军.甘肃石羊河流域武威绿洲水资源系统分析[J].西北师范大学学报(自然科学版),1994,30(3):73-79.
- [14] 黄高宝,柴强,柴守玺.张掖市水资源利用现状与可持续发展[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):98-103.
- [15] 牛灵安,郝晋珉,李基金.盐渍土熟化过程中腐殖质特性的研究[J].土壤学报,2001,38(1):114-121.

## The Causes and Countermeasures of Prevention and Cure for Cultivation Soil Salted in Farming Irrigation Regions of Hexi Corridor

WEI Yuan-ming<sup>1</sup>, ZHU Li-xia<sup>2</sup>, QIAO Yan-jun<sup>3</sup>

- (1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;  
2. Gansu Institute of Environmental Protect, Lanzhou 730000, China;  
3. Lanzhou Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The main reasons for cultivation soil salted in farming irrigating regions of Hexi corridor are overflowing irrigation, string irrigation, non-leveling farmland, non-distributed irrigation, high volume of chemical fertilizer, unreasonable cultivation system, farming abandon and trench leakage. The countermeasures of prevention and cure are to level off farming land, to plant densely with reason, to increase the volume of organic fertilizer, to save water and prevent farming abandon.

**Key words:** Hexi Corridor, soil salted, irrigation, countermeasure