

渗水地膜覆盖条件下原生盐碱荒地 盐分累积特性研究

郭文聪^{1,2}, 樊贵盛^{1,3}

(1. 太原理工大学环境科学与工程学院, 山西 太原 030024; 2. 山西省水利水电科学研究院, 山西 太原 030002;

3. 太原理工大学水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 渗水地膜覆盖是一项新的农艺技术,其保墒性可有效地控制地表蒸发从而抑制土壤盐分表聚,其单向渗水性可在一定程度上控制土壤水分运移从而控制土壤盐分累积。本试验在朔州市应县原生盐碱荒地区,设覆盖渗水地膜、覆盖普通地膜和不覆盖三种处理方式,跟踪观测2007年10月19日到2008年10月30日不同覆盖措施条件下原生盐碱荒地的土壤盐分分布状况。结果表明:渗水地膜具有更为明显地抑制盐分表聚的作用,土壤剖面的盐分变化量和透过地膜进入土壤中的水量存在负相关关系,可利用渗水地膜来控制土壤盐分累积,基于透过地膜的水量叠加可以逐步减小土壤剖面的总含盐量,进而达到逐步淋洗脱盐的效果。

关键词: 渗水地膜;原生盐碱荒地;盐分累积特性

中图分类号: S152.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0034-05

目前,全球盐碱地面积已达 $0.95 \times 10^9 \text{ hm}^2$,分布在从寒带、温带至热带的各个地区,遍布美、欧、亚、澳各洲的大陆区域^[1-2];中国盐碱地面积已达 $0.37 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 以上,在西北、华北、东北和滨海等地区均有分布^[3];山西省由于地处干旱和半干旱区,现有盐碱地及盐碱荒地面积 $0.39 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[4]。由于干旱半干旱区降雨资源十分有限,如何有效的利用有限淡水资源改造和改良盐碱地无疑是一个重要的探索创新与研究发展的方向。渗水地膜从提高旱地降雨资源利用率出发,以其单向渗水原理^[5]为理论基础,采用低密度聚乙烯吹塑料中加入一定比例渗水助剂的方法吹制而成。当渗水地膜上有重力水存在时,在土壤水势梯度拉力的协同作用下,打开通道,入渗过程产生;当膜上无重力水存在时,通道受弹力作用处于封闭状态,蒸发过程受到明显抑制^[6]。渗水地膜由于其透水性可以实现天然降雨在土壤中的叠加,加上其的保墒性又可有效地控制地表蒸发,因此,它对于北方地区控制土壤盐分累积是一个新的发展思路。

关于如何利用普通地膜等覆盖物控制耕层土壤盐分的研究,国内外的学者对其进行了大量的研究,取得了许多的成果^[7]。刘虎俊等^[8]应用地表覆盖、免耕和沟植技术形成盐渍化土地的工程治理系统,研究表明夏季高温期覆盖对土壤盐分离子表聚的抑

制作用更显著;刘子英等^[9]利用定期取样测定土壤盐分及离子组成,研究成果表明覆盖普通地膜后,0~5 cm土壤脱盐率达50%左右,且对氯离子和钙离子的抑制作用最大;纪永福等^[10]采用塑料、麦草、沙子等覆盖盐渍土表面,研究表明各项覆盖措施均对土壤盐分的表聚有抑制作用,其中对钾钙离子的抑制作用最明显,对重碳酸根的抑制作用最弱;但是对渗水地膜覆盖控制耕层土壤盐分积累的研究未见相关报道。文章基于渗水地膜覆盖条件下的盐碱荒地土壤盐分含量年内跟踪观测试验数据,通过对照分析降雨叠加对土壤盐分积累过程的影响,找到覆盖渗水地膜土壤的盐分积累规律,为研究利用渗水地膜改造和改良盐碱地服务。

1 材料与方法

1.1 气候条件

试验点选择在朔州市应县藏寨乡花寨村冯氏牛场东北约4 km处的原生盐碱荒地区。试验区受季风影响,属温带大陆性气候,四季分明。年平均气温 7.1°C ,极端最高气温 36.4°C ,极端最低气温 -30.5°C ,全年 0°C 以上积温 $3\,487.7^\circ\text{C}$, 10°C 以上积温 $2\,950^\circ\text{C}$ 。区域多年平均降雨量 355.6 mm ,主要集中在6~9四个月,约占全年降雨量的74%。

原生盐碱荒地土壤盐分分布的年内跟踪观测试

收稿日期:2011-09-23

基金项目:山西省科技攻关项目(2007031070)

作者简介:郭文聪(1980—),男,山西浑源人,博士生,主要从事水土环境控制研究。E-mail: guowc1980@126.com。

通讯作者:樊贵盛(1955—),男,山西孝义人,教授,博士生导师,主要从事农田水利研究。E-mail: fanguis5507@263.net。

验从 2007 年 10 月 19 日起, 到 2008 年 10 月 30 日止, 期内总降雨量为 450.6 mm; 通过对试验区雨量站长期降雨同期观测系列资料的频率分析, 试验期内降雨量 450.6 mm 对应的重现频率为 28%, 属丰水年。

1.2 土壤条件

试验点地处清水河支流和薛家营水库(桑干河干流旁引式中型水库)交汇处的三角地带, 区内土壤

属冲淤积母质上形成的碱化草甸土, 地表只零星覆盖有少数的盐蓬、碱蓬、老牛草, 土壤颗粒以砂粒含量为主, 占 78.84% ~ 92.78%; 黏粒含量甚少, 其含量仅为 0.598% ~ 1.319%, 土壤分类为壤质砂土, 土壤的初始分层含盐特征见表 1。试验区域范围内的地下水位专用观测井显示试验期内平均地下水位埋深 1.78 m, 地下水矿化度为 3.78 g/L, 属于 Cl—Na 型水。

表 1 试验土壤初始分层含盐特征
Table 1 Features of original salinity in different layers of test soil

项目 Item	层次 Layer(cm)									
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 150
全盐含量(g/kg) Total salt	4.82	3.15	2.92	1.90	1.48	0.97	0.89	0.84	0.77	0.65
土壤容重(g/cm ³) Soil Bulk density	1.54	1.64	1.61	1.62	1.66	1.68	1.59	1.63	1.63	1.62

1.3 试验设计和测试项目

试验田选择在一块没有人为干扰过的天然原生盐碱荒地, 经过深耕和耨平后, 整理出 3 块 8 m × 8 m 的试验田。各试验田四周分别起高 40 cm 的畦埂, 并在起埂过程中对田埂进行充分压实, 以减小渗出田块外部的水量, 然后三块试验田包括田埂在内分别实施覆盖渗水地膜、覆盖普通地膜和不覆盖三种处理方式。分别在各田块中心点处分层取土测定剖面上的盐分含量和含水量, 测试频率为 1 次/月, 测试土层深度为从地表到地下水位, 按 10、20、30、40、60、80、100、120、150 cm 为间隔分 10 层取土, 同期监测试验区降雨和地下水位等。土壤含水量测定采用人工取土—烘箱烘干—称重的方法, 土壤盐分含量测定采用电导率法测定, 试验土壤溶液采用 5:1 土样浸提液法获得。

由于在一定浓度范围内电解质溶液的电导率与含盐量呈正相关^[11], 因此可以通过测定电解质的电导率值表示土壤含盐量的高低。在利用电导法测定土壤含盐量之前, 需预先选取所测地区不同含盐量的代表性土样利用残渣烘干法对电导法测定的电导率进行回归分析, 然后根据回归方程可以把同一地区的土样浸出液电导率直接转换为土壤总含盐量。经测定, 试验区的回归方程为: $y_s = (EC - 0.0152) / 3.9103$, 相关系数 $R^2 = 0.9864$ 。因此, 将待测土样浸出液利用电导率仪测定的电导率值后, 经过温度修正得到电导率测试值 ($EC, S/cm$), 带入回归方程即得到土壤含盐量 ($y_s, g/kg$)。

2 三种不同处理方式盐碱荒地土壤的盐分积累特性

渗水地膜和普通地膜覆盖盐碱荒地后, 表层土壤的水分蒸发作用受到抑制, 其土壤的盐分累积特性必然受水分运移的变化而与不覆盖土壤有所不同。图 1 是试验期内四个不同测试深度的三种处理方式土壤全盐含量的测试期内年变化过程。

从图 1 中数据可以看出:

1) 渗水地膜覆盖与其它覆盖措施相比, 具有更为明显的抑制盐分积聚作用, 其中对表层土壤盐分的积聚抑制效果更为明显。试验初期测试 0 ~ 10 cm 土层的全盐含量为 4.62 g/kg, 到期末不覆盖试验田 0 ~ 10 cm 土层的全盐含量为 3.01 g/kg, 普通地膜覆盖试验田 0 ~ 10 cm 土层的全盐含量为 2.24 g/kg, 渗水地膜覆盖试验田 0 ~ 10 cm 土层的全盐含量为 1.27 g/kg; 因此, 普通地膜的表层土壤盐分抑制率为 51.5%, 渗水地膜的表层土壤盐分控制率可达 72.6%。

渗水地膜和普通地膜覆盖处理后一样, 地表蒸发受到较大程度的限制, 人为的隔阻了干旱区土壤水分自下而上的运移趋势, 抑制了表层土壤的水分损失。但是当进入雨季后, 渗水地膜覆盖土壤地表不间断的接受到外界降雨的补充, 地表积累的水分可以穿透渗水地膜进入土壤中, 提高了表层土壤水量, 水分在水势梯度的作用下向下层土壤运移, 盐分随着进入下层, 表层土壤中的盐分含量逐渐减小, 由于表层最先受降雨冲淋作用, 因而其盐分下降趋势最为明显。

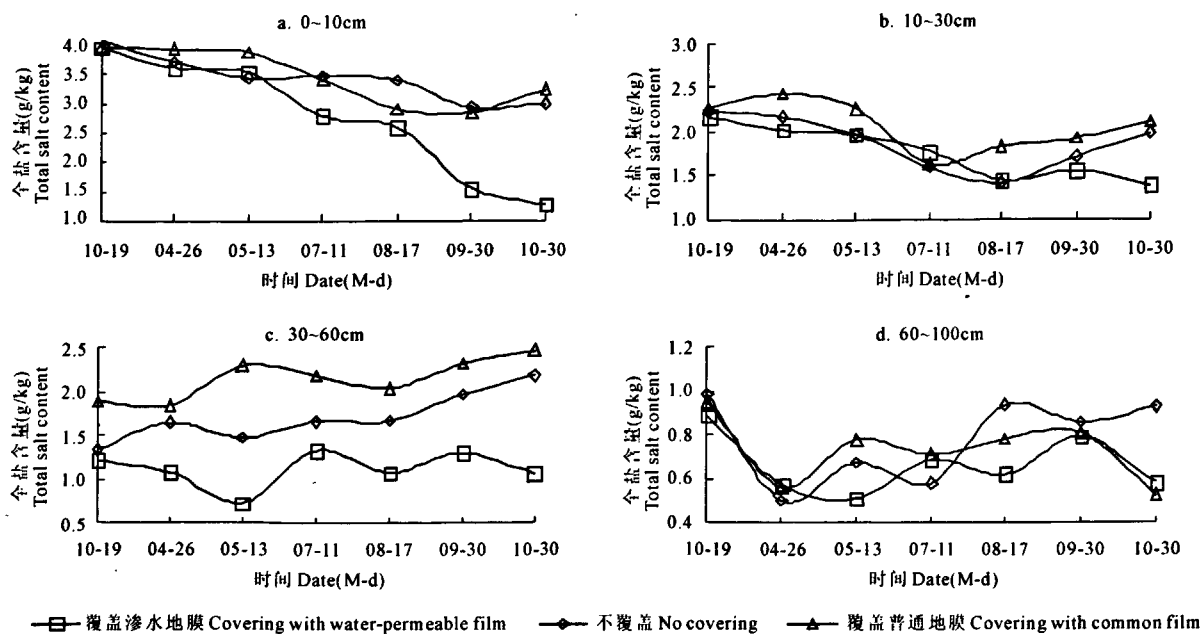


图 1 各块试验田四个不同测试深度的全盐含量测试期内年变化曲线

Fig.1 The changes of total salt content in four layers of soil under different coverage

2) 渗水地膜覆盖试验田的全盐含量具有分层特性,即 0~30 cm 土层盐分含量试验期内呈下降趋势,其中 0~10 cm 下降趋势较为明显;30 cm 以下土层盐分含量变化较为平缓。

这是由于渗水地膜覆盖处理后,地表蒸发受到较大程度的限制,抑制了表层土壤的水分损失,雨季的水分可以穿透渗水地膜进入表层土壤中,使其含水量增大到接近饱和含水量,其土壤基质势接近零;而靠近地下水位的下层土壤,因其含水量受地下水的长期补给可保持一个较高的水平,其土壤基质势也接近零;中间层土壤由于受雨季前连续蒸发作用拉动,其含水量在雨季到来后相比上下两层值较低,其土壤基质势就比较小。因此,土壤水分含量剖面空间分布曲线会在土壤中部形成了含水量的低值区,即土壤基质势分布的低值区。由于土壤基质势和重力势处于同一数量级,叠加上正值的重力势后,总土水势梯度曲线仍在中部存在一个低值区,只是其位置略微向上发生了偏移。正是由于在中部存在这样一个土水势的低值区,土壤水分在水势梯度的作用下均向该层运移,就产生了一个聚合性的零通量面。该界面将土壤水分运移趋势分割为上下两个区域,上下两部分土壤水分均向中间层集中。当降雨穿透渗水地膜进入土壤后,提高了表层土壤水量,水分在水势梯度的作用下向下层土壤运移,盐分随着进入下层,表层土壤中的盐分含量逐渐减小,表

现出脱盐。由于表层最先受降雨冲淋作用,因而其盐分下降趋势最为明显。临靠表层土壤之下的土层,一方面接收上层土壤运移来的水分,也就接纳了其带来的盐分;另一方面其中的水分会在水势梯度作用下继续向下层运移,也就带走一部分盐分,其总体表现为脱盐还是积盐,既和盐分向下层的运移量有关,又和上层带来的盐分量有关,当运移量大于带来量时就表现为脱盐,反之为积盐。由于有上层带来量的叠加影响,其脱盐效果相比表层要平缓得多。

3 土壤水分运移和盐分累积的相关分析

土壤盐分的迁移是随着土壤水分的运动而迁移,图 2 是渗水地膜覆盖试验田土壤含水量剖面空间分布曲线。

从图 2 可以看出,(a)图中两个测试时刻的土壤零通量面位置几乎相同,可以参考零通量面稳定条件下水均衡方程,(b)图中的零通量面发生了偏移,可以参考零通量面移动条件下水均衡方程。根据水量平衡原理可以得到两种情况下的水量计算公式^[12]。

零通量面不移动:

$$\begin{cases} E = P - R_s + \int_{z_0}^0 \theta(z, t_1) dz - \int_{z_0}^0 \theta(z, t_2) dz \\ P_r = \int_{z_0}^z \theta(z, t_1) dz - \int_{z_0}^z \theta(z, t_2) dz \end{cases} \quad (1)$$

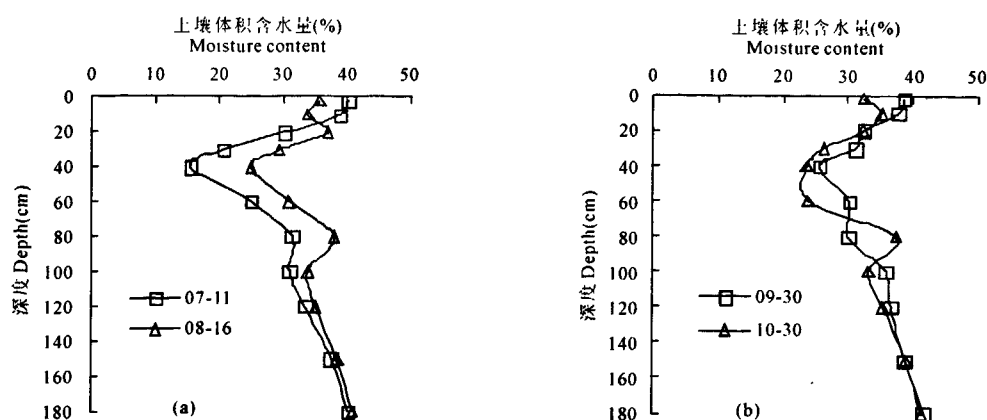


图2 渗水地膜覆盖试验田土壤含水量剖面空间分布曲线

Fig.2 The spatial distribution of moisture content in different layers of soil covered whe water-permeable film

零通量面移动:

$$\begin{cases} E = P - R_s + \int_{z_0(t_1)}^0 \theta(z, t_1) dz - \int_{z_0(t_2)}^0 \theta(z, t_2) dz + \int_{z_0(t_1)}^{z_0(t_2)} \theta(z, t_1) dz \\ P_r = \int_{z_0(t_1)}^z \theta(z, t_1) dz - \int_{z_0(t_2)}^z \theta(z, t_2) dz + \int_{z_0(t_1)}^{z_0(t_2)} \theta(z, t_1) dz \end{cases} \quad (2)$$

式中, P 为 t_1, t_2 时段内降雨量和灌溉量; R_s 为地表径流量; $z_0(t_1), z_0(t_2)$ 分别表示 t_1, t_2 时零通量面位置; z 为地下水位的位置; E 为土壤蒸发量; P_r 为土壤水向下层的入渗量。

E 为土壤向地表输送的蒸发水量, P 为测试时段内降雨量和灌溉量, 由于试验区土壤全面用渗水地膜覆盖, 可以用地表土壤穿透地膜进入土壤水量 $P' = P - E$ 来作为一个量来计算; 由于试验测试田块四周起埂, 地表径流为零, $R_s = 0$ 。结合两时段始

末含水量剖面分布曲线, 可计算进入土壤中的水量 P 和土壤水向下层的入渗量 P_r , 即 7 月 11 日到 8 月 16 日期间, 透过渗水地膜进入土壤中的水分为 13.1 mm, 地下水上升进入零通量面下的水分为 49.1 mm; 9 月 30 日到 10 月 30 日期间, 透过渗水地膜进入大气中的水分为 11.8 mm, 零通量面下土壤渗入地下水位的水分为 7.3 mm。

图 3 是同时期内渗水地膜覆盖试验田土壤全盐含量的剖面空间分布特征。

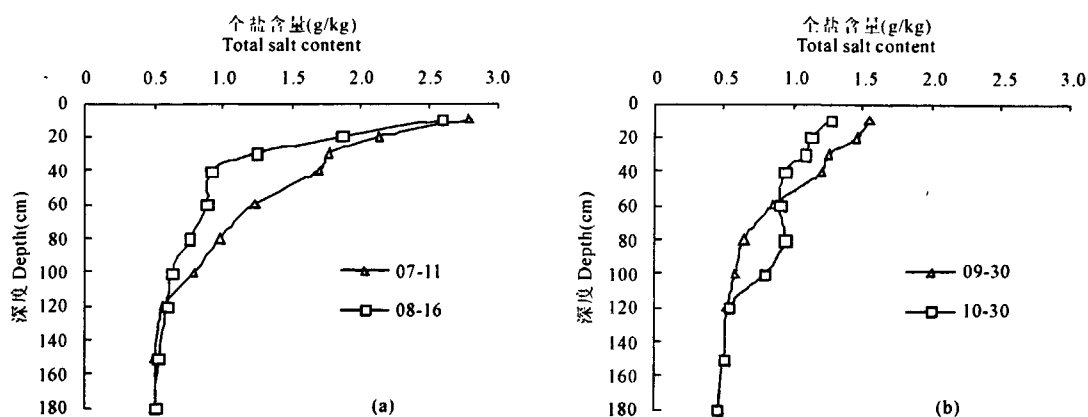


图3 渗水地膜覆盖试验田土壤全盐含量剖面空间分布曲线

Fig.3 The spatial distribution of total salt content in different layers of soil covered whe water-permeable film

可根据图 3 中两个不同测试时刻土壤盐分曲线相差计算土壤剖面的盐分变化量, 即:

$$\Delta S = \int [f_2(x) - f_1(x)] \gamma(x) dx \quad (3)$$

式中, ΔS 为两测试时刻之间的土壤剖面盐分变化

量, x 为土壤剖面深度, $f_1(x), f_2(x)$ 为两个测试时刻的土壤盐分分布曲线, $\gamma(x)$ 为 x 位置处的土壤容重。将始末时段的盐分割面分布曲线代入公式中, 可以计算出土壤剖面的盐分变化量, 即 7 月 11 日到 8 月 16 日期间的盐分变化量 0.533 mg/cm^2 (脱盐), 9

月 30 日到 10 月 30 日期间的盐分变化量为 0.012 mg/cm^2 (积盐)。

表 2 是其它试验测试时段土壤盐分变化量和进入土壤水分的计算结果对比表。对进入土壤水量 P' 与盐分变化量 ΔE 数据进行相关分析,其相关系数为 0.8504 ,线性相关方程为 $\Delta E = -0.015P' - 0.2208$,因此,土壤剖面盐分变化量和透过渗水地膜进入土壤的水量负相关,即当透过地膜水量为正时,水分补给地表土壤,土壤剖面盐分变化量为负,即土壤剖面总体表现为脱盐,且透过土壤的水量越大,土壤总体脱盐效果越明显,反之表现为积盐。

表 2 土壤盐分变化量和进入土壤水分的对比分析结果

Table 2 Comparison of change of soil salt content and amount of water entering soil

起始时刻 t_1 Initial date (M-d)	终止时刻 t_2 Terminal date (M-d)	进入土壤水量 P' Amount of water entering soil	向下层入渗量 P_r Amount of water permeating into deeper layers	盐分变化量 ΔS Change of salt content
04-26	05-13	5.2	2.6	-0.254
05-13	07-11	-15.9	22.8	0.167
07-11	08-16	11.8	-49.1	-0.533
08-16	09-30	-38.3	35.4	0.238
09-30	10-30	-11.8	7.3	0.012

4 结 论

利用渗水地膜、普通地膜和不覆盖 3 种措施对原生盐碱荒地进行了覆盖,然后跟踪观测土壤剖面盐分的积累变化情况。试验结果表明:试验期内表层土壤盐分呈下降趋势,其中 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层盐分下降较明显;渗水地膜覆盖与其它措施相比,具有更为明显的抑制盐分积聚作用,其中对表层土壤盐分的积聚抑制效果更为明显;土壤剖面的盐分变化量和

透过渗水地膜进入土壤的水量负相关,即透过地膜进入土壤的水量越多,土壤剖面的盐分变化量越大,土壤总体脱盐效果越明显,反之亦然。所以,可以利用渗水地膜来控制土壤盐分的表聚,同时,利用透过渗水地膜的水量逐步减少土壤盐分含量,进而达到逐渐使土壤脱盐的效果。因此,在北方淡水资源十分有限的干旱半干旱地区,利用渗水地膜全面覆盖降雨叠加冲洗技术来逐步改良盐碱化土壤是可行的。

参 考 文 献:

- [1] Mainguet M. Aridity Drought and Human Development[M]. Berlin, Heidelberg: Springer-verlag, 1999:102-152.
- [2] Kovda V A. Loss of productive land due to salinization[J]. Ambio, 1983, XII(2):91-93.
- [3] 俞仁培.我国盐渍土资源及其开发利用[J].土壤通报,1999,30(4):158-160.
- [4] 山西省人民政府.山西省(1997—2010)土地利用总体规划[R].晋政发(1998)36号,1998:3-5.
- [5] 姚建民.渗水地膜研制及其应用[J].作物学报,2000,26(2):185-189.
- [6] 姚建民,张宝林,殷海善.渗水地膜利用旱地小雨量资源研究[J].水土保持通报,1998,18(3):24-29.
- [7] Michael Zilberbrand. The effect of carbonates and gypsum precipitation in the root zone on the chemical composition of groundwater[J]. Journal of Hydrology, 2000,(2):5-22.
- [8] 刘虎俊,王继和,杨自辉,等.干旱区盐渍化土地工程治理技术研究[J].中国农学通报,2005,21(4):329-333.
- [9] 刘子英,刘保明,孟艳玲,等.地膜覆盖对耕层土壤盐分影响的研究[J].安徽农业科学,2005,33(6):995-998.
- [10] 纪永福,蔺海明,杨自辉,等.解冻期覆盖盐渍土地表对土壤盐分和水分的的影响[J].干旱区研究,2005,22(1):17-23.
- [11] 尹建道,孙佳杰,郝志强,等.天津滨海地区土壤电导率的测定及其与含盐量的关系[J].天津农业科学,2011,17(2):18-21.
- [12] 王政友,陈建峰.利用零通量面方法计算土壤水均衡要素的探讨[J].地下水,2002,24(3):141-142.

(英文摘要下转第 46 页)

- 律及其特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 149-153. 业出版社, 1984.
- [26] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 等. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J]. 土壤, 2009, 41(4): 664-669. [28] 孙毅, 高玉山, 闫孝贡, 等. 石膏改良苏打盐碱土研究[J]. 土壤通报, 2001, 32: 97-101.
- [27] 俞仁培, 杨道平, 石万普, 等. 土壤碱化及其防治[M]. 北京: 农业出版社, 1984.

Studies on salinity characteristics of takyric solonetz in Ningxia Yinbei region based on principal component analysis

ZHANG Ti-bin^{1,2}, KANG Yue-hu¹, HU Wei¹, DOU Chao-yin³

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Liaoning Institute of Water Conservancy and Hydropower, Shenyang, Liaoning 110003, China)

Abstract: In order to investigate the basic salinity conditions and the dominant, restrictive factors of salinity characteristics of takyric solonetz under drip irrigation in Ningxia Yinbei Region, classical statistical analysis and principle component analysis (PCA) was applied to explore the salinity characteristics of takyric solonetz utilized by drip irrigation. The results showed that the salt ions content distributed as a "T" letter in soil profile of takyric solonetz. SAR in 0 ~ 40 cm soil was above 15 (mmol/L)^{0.5}, and pH values about 9.5. Na⁺ and Cl⁻ were the dominant cation and anion respectively in the soil, and HCO₃⁻ content increased gradually in the soils below 100 cm. Total soluble salt (TSS) in the soil had the strongest correlation with the contents of Cl⁻ and Na⁺, the correlation coefficients were 0.967 and 0.910 ($P < 0.01$), meanwhile the positive correlation between TSS and the electrical conductivity of saturation paste extracts (EC_e) was significant at 0.01 level. The results of PCA showed that four principle components, which could explain 88.28% of the total variance, represented the saline condition, structure condition, alkaline characteristics and the contents of ions other than key ions such as Na⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺ in solonetz, respectively, affected the utilization of takyric solonetz. For the reasons above, like other salt-affected soils in arid regions, takyric solonetz in Ningxia Yinbei region had the characteristics of the salt accumulation at surface soil layers. To decrease the salinity should be the first step in the utilization, and next, reduce the alkalinity, ameliorate the soil structure through changing the salt components.

Keywords: takyric solonetz; salinity characteristics; principal component analysis

(上接第 38 页)

Features of salinity accumulation in an original saline wasteland covered with water-permeable plastic film

GUO Wen-cong^{1,2}, FAN Gui-sheng^{1,3}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China; 2. Shanxi Institute of Water Conservancy and Hydropower, Taiyuan, Shanxi 030002, China; 3. College of Water Resources, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: The water-permeable plastic film is a new agricultural technique, its moisture conservation role can control effectively the soil surface moisture evaporation to restrain top enrichment of soil salt, and its unidirectional permeability can control partly the soil moisture migration to dominate soil salt accumulation. The following observation experiments of soil salinity are devised in the original salinization wasteland under different covering measures, such as covering with water-permeable plastic film, covering with common film and no covering. The results indicate that the water-permeable plastic film can be used to restrain more obviously top enrichment of soil salt, and there is a negative relationship between salinity variation of soil profile and soil moisture of permeable film. So, the water-permeable plastic film can be used for controlling soil salinity accumulation, at the same, the moisture superposition of permeable film can decrease step by step the total saltiness of soil profile, then that can realize the saline - alkali soil desalinating step by step.

Keywords: water-permeable plastic film; original saline wasteland; features of salinity accumulation