

夏 婷, 杨建国, 魏玉清, 等. 旱作条件下盐分冲洗试验对盐碱土的改良洗盐效果[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8): 235–241.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.064

旱作条件下盐分冲洗试验对盐碱土的改良洗盐效果

夏 婷¹, 杨建国², 魏玉清¹, 樊丽琴², 冒辛平², 李淑玲³, 吴 艳⁴

(1. 北方民族大学生物科学与工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏银川 750002; 3. 宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏银川 750002; 4. 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司青铜峡铝业分公司质检站, 宁夏青铜峡 751603)

摘要:在旱作条件下设置排盐沟、施用脱硫石膏、深松耕等处理, 开展农田快速淋盐试验。结果表明, 灌水定额 5 100 m³/hm² 时, “排盐沟 + 脱硫石膏 + 深松耕”模式下, 0~100 cm 土层 SO₄²⁻、Cl⁻、K⁺ 含量显著下降, 土壤 pH 值显著降低, 0~60 cm 土层土壤碱化度下降明显; 同样灌水定额条件下, “排盐沟 + 深松耕”洗盐模式能显著降低 0~40 cm 土层 CO₃²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量; 施用脱硫石膏在降低 0~40 cm 土壤 pH 值起主导作用, 深松对脱硫石膏降低土壤 pH 值效果有负作用。“灌水定额 5 100 m³/hm² + 排盐沟 + 脱硫石膏 + 深松耕”模式下土壤 pH 值、碱化度显著降低, 全盐淋洗效果最佳, 为盐碱地改良以及进一步开发利用提供参考。

关键词:盐碱土; 脱硫石膏; 土壤改良; 深松耕; 排盐沟

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)08-0235-06

土壤盐渍化是一个世界性资源生态问题, 严重制约农业生产。盐碱地开发治理工作一直是关注重点^[1]。我国盐碱地主要分布在西北、东北、华北、滨海地区在内的 17 个省份, 据统计, 盐渍土总面积为 3 455 万 hm², 其中盐土面积 1 688 万 hm², 碱土面积 87 万 hm², 各类盐化土面积 1 583 万 hm², 碱化土面积 97 万 hm²^[2]。开发利用盐碱地不仅能扩大耕地面积, 增加单位面积产量, 提高粮食总产量, 缓解粮食危机, 还可以扩大绿化, 改良生态环境。

目前我国学者对盐碱地改良的研究工作已经全面展开。随着盐碱地改良科研工作的不断深入, 盐碱地改良技术不断更新和完善。邹长明等研究认为, 土壤盐分主要聚集在 0~15 cm 土层, 尤其是 0~5 cm 土层^[3]。马献发等认为, 0~10 cm 土层的盐分积累远高于其下各土层^[4]。大量研究表明, 脱硫石膏能显著降低碱土 pH 值、碱化度、总碱度, 增加作物产量^[5-8]。施用有机肥能够促进盐碱土壤脱盐, 提高土壤保肥能力, 实现产量、品质提升^[9-12]。深松增加土壤的渗透性, 提高洗盐效率^[13]。针对土壤盐分的聚集特征, 应将表层耕作土作为主要的研究和改良对象, 而且对不同盐碱化程度的盐碱土, 应采用个性化的治理措施进行改良。本研究以西大滩盐碱原土为对象, 采用灌水定额、排盐沟、施用脱硫石膏、深松等技术措施, 研究不同水盐调控措施及集成技术的盐分冲洗效果, 确定旱作条件下农田盐分快速淋盐方式, 以期干旱、半干旱地区盐碱地改良提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土样取自宁夏石嘴山市平罗县前进农场(106°24'E, 38°50'N, 海拔 1 156 m)。委托宁夏农林科学院质检中心完成土壤机械组成的测定, 结果表明 0~22 cm 土壤质地为黏壤土, 22~35 cm 土层土壤质地为粉(沙)质黏土, 35~54 cm 土层土壤质地为粉(沙)质黏壤, 54~100 cm 土层土壤地为粉(沙)壤土。按土层 0~22、22~35、40~60、60~80、80~100 cm 采集土样, 然后将各层土壤自然风干、碾压、去杂、过 1 mm 筛备用。测定土壤容重、机械组成、盐分及其组成、pH 值、碱化度。

2013 年 5 月 3 日采集土样测定土壤剖面盐分、pH 值、碱化度本底值。从表 1 可以看出, 旱田试验区 0~3 cm 盐结皮全盐含量为 136.90 g/kg, 碱化度为 72.00%, 3~20 cm 耕层土壤全盐含量为 28.04 g/kg, pH 值为 9.48, 碱化度为 46.47%, 可以判断试区为重度盐化碱土。其他土层土壤盐分含量差异不大, 在 3.08~4.73 g/kg 之间, pH 值在 9.38~9.66 之间, 20~100 cm 土层碱化度差异不大, 在 18.55%~25.26% 之间。土壤盐分组成中, 0~40 cm 土层土壤盐类以硫酸盐为主, 氯化物次之, Cl⁻ 与 SO₄²⁻ 的当量比为 1~0.5, 按盐分组成可将试区土壤盐分类型划分为氯化物硫酸盐类型。

1.2 试验设计

试验地为盐碱荒地, 经过犁地、激光平地, 采用裂区试验设计, 主区设 2 个处理: 主处理 1(不设置排盐沟)、主处理 2(设置排盐沟)。排盐沟深度为 1 m, 宽度为 80 cm, 垂直于农沟, 挖好排盐沟后使用 1 层沙子、1 层土壤均匀回填; 副区设 4 个处理: 处理 1(对照, 不施用脱硫石膏, 不进行深松耕)、处理 2(施用脱硫石膏)、处理 3(进行深松耕)、处理 4(施用脱硫石膏、深松耕), 脱硫石膏施用量按 37.5 t/hm² 计, 各处理面积为 750 m² (50 m×15 m)。整个试验区均施用羊粪, 羊粪施用量为 30 t/hm²。

收稿日期: 2016-06-20

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2013BAC02B05); 国家自然科学基金(编号: 31060180); 研究生创新项目(编号: YCX1648)。

作者简介: 夏 婷(1990—), 女, 云南宣威人, 硕士研究生, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: 1473651271@qq.com。

通信作者: 杨建国, 博士, 研究员, 主要从事农业水、土、养分资源高效利用研究。Tel: (0951) 6886765; E-mail: yjgnx@163.com。

表 1 旱田试验区土壤剖面盐分、pH 值、碱化度情况

土层 (cm)	pH 值	全盐含量 (g/kg)	碱化度 (%)	分盐含量(cmol/kg)							
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
0~3	9.10a	136.90a	72.00a	0.10d	8.75a	91.74a	128.14a	2.68a	8.79a	0.05c	5.65a
3~20	9.48a	28.04b	46.47b	0.23b	4.72b	15.36b	28.93b	1.33b	1.00b	0.21a	1.30e
20~40	9.66a	4.73c	23.43c	0.32a	0.80c	1.84c	2.93c	0.13c	0.08e	0.03b	3.04b
40~60	9.54a	3.59d	25.26c	0.27b	0.95c	1.46d	1.21d	0.08d	0.08e	0.03b	2.61c
60~80	9.56a	3.12d	18.55e	0.13c	0.84c	1.43d	2.31c	0.08d	0.21c	0.03b	2.17d
80~100	9.38a	3.08d	20.91d	0.13c	0.57d	1.36d	2.34c	0.08d	0.13c	0.03b	2.61c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

2013 年 5 月 23 日旱田试验灌“头水”,5 月 27 日灌“二水”,6 月 12 日油葵播种,6 月 15 日灌“三水”,7 月 2 日灌“四水”;各处理“头水”灌水量均为 1 500 m³/hm²，“二水”至“四水”灌水量均为 1 200 m³/hm²;2013 年 6 月 10 日、7 月 1 日、7 月 17 日分别采集各试验小区 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层进行测定。

1.3 测定项目和方法

使用激光粒度分析仪测定土壤机械组成;烘干法测定土壤含水率;环刀法测定土壤容重;电导法测定土壤全盐(土:水=1:5);pH 计测定土壤 pH 值(土:水=1:2.5);火焰光度计法测定 K⁺、Na⁺ 含量;标准 H₂SO₄ 滴定法测定 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 含量;EDTA 络合滴定法测定 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 含量;标准硝酸银滴定法测定 Cl⁻ 含量;火焰光度法测定交换性钠 NH₄OAc-NH₄OH 含量;乙酸钠法测定阳离子交换量。

土壤碱化度=交换性钠/阳离子交换量×100%。

2 结果与分析

2.1 不同处理(不设置排盐沟)对土壤剖面全盐含量、pH 值、碱化度、盐分离子含量的影响

由表 2 可知,灌水 2 700 m³/hm² 情况下,0~20 cm 土层

土壤全盐含量表现为处理 1>处理 2>处理 4≈处理 3,20~40 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 2>处理 1>处理 4≈处理 3,40~60 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 4>处理 3>处理 2>处理 1,说明淋洗定额 2 700 m³/hm² 时,深松耕处理的上层洗盐效果明显,耕层土壤总盐被淋洗至 40~60 cm 土层。灌水 3 900 m³/hm² 情况下,0~20 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 1>处理 3>处理 2>处理 4,20~40 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 1>处理 2>处理 4>处理 3,说明淋洗定额 3 900 m³/hm² 时,深松耕+脱硫石膏处理的 0~40 cm 耕层土壤全盐含量最低。灌水 5 100 m³/hm² 情况下,0~40 cm 土层土壤盐分均表现为处理 1>处理 3>处理 2>处理 4;由于施用脱硫石膏可以改良土壤结构,当灌水量达到一定水平,耕层土壤盐分会被较快淋洗。灌水 5 100 m³/hm² 情况下,与处理 1(对照)相比,0~20 cm 土层处理 4(脱硫石膏+深松耕)土壤全盐含量下降了 39.30%,处理 2(施用脱硫石膏)土壤全盐含量降低 26.20%,处理 3(深松耕)土壤全盐含量下降了 13.22%;20~40 cm 土层处理 4(脱硫石膏+深松耕)土壤全盐含量下降了 23.79%,处理 2(施用脱硫石膏)土壤全盐含量下降了 18.80%,说明灌水 5 100 m³/hm²,脱硫石膏+深松耕处理和施用脱硫石膏处理均显著降低了 0~40 cm 的土壤盐分,且前者的洗盐效果优于后者。

表 2 不同处理(不设置排盐沟)对土壤剖面全盐含量的影响

采样日期	灌水量 (m ³ /hm ²)	副处理	全盐含量(g/kg)				
			0~20 cm 土层	20~40 cm 土层	40~60 cm 土层	60~80 cm 土层	80~100 cm 土层
6 月 10 日	2 700	处理 1	12.57a	10.19b	8.98c	6.93a	4.67a
		处理 2	11.61b	11.05a	9.25c	5.46b	4.26a
		处理 3	10.31c	9.64c	9.67b	6.50a	4.89a
		处理 4	10.78c	9.70c	10.32a	5.45b	4.82a
7 月 1 日	3 900	处理 1	10.86a	8.21a	9.12a	7.17c	5.11b
		处理 2	9.03b	8.13ab	8.36b	7.80b	6.05a
		处理 3	9.41b	7.91b	8.19b	6.60d	5.19b
		处理 4	8.28c	8.01b	8.34b	8.87a	6.34a
7 月 17 日	5 100	处理 1	8.32a	7.02a	8.99a	7.91b	5.33bc
		处理 2	6.14c	5.70c	6.90b	8.50a	6.43a
		处理 3	7.22b	6.22b	6.56b	8.02b	5.65b
		处理 4	5.05d	5.35c	6.49c	5.74c	5.03c

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

由表 3 可见,灌水 2 700 m³/hm² 情况下,0~20 cm 土层土壤 pH 值表现为处理 3>处理 1>处理 4>处理 2;灌水 3 900 m³/hm² 情况下,0~20 cm 土层土壤 pH 值表现为处理 3>处理 1>处理 4≈处理 2,其他土层无明显规律;灌水 5 100 m³/hm² 情况下,0~20 cm 土层土壤 pH 值表现为处理

3>处理 1>处理 4≈处理 2,施用脱硫石膏显著降低了 0~20 cm 耕层土壤 pH 值。灌水梯度对比发现,3 900 m³/hm² 时各处理对土壤 pH 值降低效果明显。深松耕处理对土壤 pH 值影响无明显规律。灌水 2 700 m³/hm² 时,处理 2 降低 0~20 cm 土壤 pH 值的效果优于处理 4,随着灌水定额的增加,处

表 3 不同处理(不设置排盐沟)对土壤剖面 pH 值的影响

采样日期	灌水量 (m ³ /hm ²)	副处理	pH 值				
			0~20 cm 土层	20~40 cm 土层	40~60 cm 土层	60~80 cm 土层	80~100 cm 土层
6 月 10 日	2 700	处理 1	8.81b	8.79b	8.78c	8.76c	8.84b
		处理 2	8.35d	8.54c	8.63c	8.75c	8.70c
		处理 3	9.13a	9.07a	9.04b	9.06ab	8.97ab
		处理 4	8.66bc	9.00a	9.09b	9.00ab	8.97ab
7 月 1 日	3 900	处理 1	8.71b	9.01a	8.91b	8.91b	8.83b
		处理 2	8.40d	9.06a	8.95b	8.99ab	8.88b
		处理 3	8.98ab	9.16a	9.29a	9.25a	9.11a
		处理 4	8.39d	8.9b	9.15a	9.01ab	8.92ab
7 月 17 日	5 100	处理 1	8.94ab	9.06a	9.11ab	8.99ab	8.92ab
		处理 2	8.57c	8.85b	8.96b	8.98ab	9.00ab
		处理 3	9.22a	9.27a	9.28a	9.29a	9.21a
		处理 4	8.56c	9.01a	9.11ab	9.1a	9.04ab

理 2 和处理 4 对 0~20 cm 土壤 pH 值影响效果趋于一致。

由表 4 可见,灌水 2 700 m³/hm² 情况下,各处理差异较大的盐分离子有 SO₄²⁻、Na⁺、Ca²⁺、HCO₃⁻、Cl⁻,0~40 cm 土层土壤 SO₄²⁻、Cl⁻ 含量均表现为处理 1>处理 2>处理 4>处理 3,与全盐含量表现一致;0~20 cm 土层土壤 Na⁺ 含量表现为处理 1=处理 3>处理 2>处理 4;0~40 cm 土层土壤 Ca²⁺ 含量总体上表现为处理 2>处理 4>处理 3>处理 1;0~

20 cm 土层土壤 HCO₃⁻ 含量表现为处理 3>处理 1>处理 2>处理 4;施用脱硫石膏降低了耕层土壤 Na⁺ 含量,增加了 0~40 cm 土层土壤 Ca²⁺ 含量,降低了耕层 HCO₃⁻ 含量。深松耕处理增加了 0~40 cm 土层 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 含量,降低了 SO₄²⁻、Cl⁻ 含量。灌水 2 700 m³/hm² + 脱硫石膏 + 深松耕处理能有效降低土壤 0~20 cm 土层 HCO₃⁻ 含量。

表 4 灌水 2 700 m³/hm² 各处理(不设置排盐沟)对土壤剖面分盐的影响

副处理	土层 (cm)	分盐含量(cmol/kg)							
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
处理 1	0~20	0.07b	0.67b	7.38a	7.83bc	0.08c	7.50bc	0.21d	0.13e
	20~40	0.07b	0.61bc	6.26b	8.56b	0.08c	9.17b	0.23d	0.30d
	40~60	0.07b	0.54c	3.14c	8.11b	0.05d	8.75b	0.28d	0.43c
	60~80	0.07b	0.38d	3.30c	5.61c	0.08c	8.75b	0.38d	0.57ab
	80~100	0.07b	0.38d	2.70e	3.55de	0.05d	7.50bc	0.21d	0.30d
处理 2	0~20	0.00c	0.34d	7.31a	5.30cd	0.20a	5.83cd	4.10a	0.65a
	20~40	0.00c	0.34d	5.84b	5.86c	0.15b	6.67c	3.21b	0.57ab
	40~60	0.00c	0.33d	6.96a	4.87d	0.15b	5.83cd	2.13c	0.52ab
	60~80	0.00c	0.26d	3.57c	4.14d	0.13bc	5.00d	0.67d	0.65a
	80~100	0.00c	0.41cd	2.44e	2.37e	0.08c	7.50bc	0.31d	0.57ab
处理 3	0~20	0.13a	1.21a	4.92bc	4.51d	0.05d	7.50bc	2.69c	0.04e
	20~40	0.13a	0.80b	4.88bc	6.37c	0.08c	5.00c	0.10d	0.09e
	40~60	0.07b	0.74b	4.34c	7.86bc	0.05d	12.08a	0.08d	0.09e
	60~80	0.07b	0.48cd	2.83e	4.70d	0.05d	7.50bc	0.10d	0.13e
	80~100	0.07b	0.61b	2.58e	4.34d	0.05d	7.50bc	0.13d	0.13e
处理 4	0~20	0.07b	0.20e	5.78b	4.87d	0.20a	5.42c	3.59b	0.65a
	20~40	0.07b	0.48cd	4.46bc	6.37c	0.10c	4.17e	0.38d	0.13e
	40~60	0.07b	0.67b	4.74bc	10.25a	0.05d	7.92bc	0.10d	0.09e
	60~80	0.07b	0.54c	2.92e	4.54d	0.05d	7.50bc	0.28d	0.09e
	80~100	0.07b	0.48cd	2.20e	2.11e	0.03d	4.58ce	0.15d	0.13e

由表 5 可见,灌水 5 100 m³/hm² 情况下,各处理差异较大的盐分离子同样为 SO₄²⁻、Cl⁻、Na⁺、Ca²⁺、HCO₃⁻、Cl⁻ 含量;0~20 cm 土层土壤 SO₄²⁻、Cl⁻、HCO₃⁻、Na⁺ 含量均表现为处理 1>处理 3>处理 2>处理 4,Ca²⁺ 含量则表现为处理 2>处理 4>处理 3>处理 1,说明施用脱硫石膏降低了 0~20 cm 耕层土壤 SO₄²⁻、Na⁺、Cl⁻、HCO₃⁻ 含量,增加了 Ca²⁺ 含量,其中处理 4(脱硫石膏 + 深松耕)的洗盐表现最好。灌水 5 100 m³/hm² 情况下,各处理土壤剖面碱化度差异较大,0~40 cm 土层土壤碱化度均表现为处理 4 最低,处理 2 次之,处

理 1 最高;处理 4 土壤碱化度较处理 1 下降了 32.01%。说明施用脱硫石膏能显著降低土壤碱化度,施用脱硫石膏 + 深松耕处理的效果最好。

2.2 不同处理(设置排盐沟)对土壤剖面全盐含量、pH 值、碱化度、盐分离子含量的影响

由表 6 可见,灌水 2 700 m³/hm² 情况下,0~20 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 1>处理 2>处理 4>处理 3,20~40 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 2>处理 1>处理 4>处理 3,深松耕降低了 0~40 cm 土层土壤全盐含量;灌水

表 5 灌水 5 100 m³/hm² 各处理(不设置排盐沟)对土壤剖面分盐含量的影响

副处理	土层 (cm)	碱化度 (%)	分盐含量(cmol/kg)							
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
处理 1	0 ~ 20	32.39a	0.07a	0.87b	4.43a	5.13a	0.05c	13.33a	0.13c	0.09c
	20 ~ 40	29.22ab	0.07a	0.80b	3.35b	5.80a	0.03d	10.00ab	0.08d	0.09c
	40 ~ 60	27.65b	0.07a	0.74c	3.65b	5.32a	0.03d	7.50bc	0.08d	0.04d
	60 ~ 80	30.20a	0.07a	1.21a	2.30d	3.80bc	0.03d	6.67c	0.08d	0.09c
	80 ~ 100	25.96bc	0.07a	0.95b	2.78c	4.39b	0.03d	7.50bc	0.08d	0.09c
处理 2	0 ~ 20	22.63c	0.00b	0.41d	3.06bc	3.15c	0.13a	7.50bc	3.56a	0.70a
	20 ~ 40	22.02c	0.00b	0.87b	2.90c	2.90c	0.05c	4.17d	0.21c	0.09c
	40 ~ 60	19.62cd	0.00b	0.67c	2.28cd	3.55bc	0.05c	7.08c	0.21c	0.35b
	60 ~ 80	23.19c	0.00b	0.67c	3.17b	6.03a	0.05c	8.33b	0.21c	0.13c
	80 ~ 100	16.77d	0.00b	0.44d	2.25c	4.85	0.05c	7.08c	0.28c	0.39b
处理 3	0 ~ 20	27.20b	0.07a	0.61c	4.14a	3.97bc	0.08b	10.42ab	0.23c	0.35b
	20 ~ 40	24.81bc	0.07a	0.95ab	3.03bc	3.83bc	0.05c	8.33b	0.18c	0.09c
	40 ~ 60	28.75ab	0.07a	0.87b	2.61c	3.35c	0.03d	8.75b	0.10cd	0.09c
	60 ~ 80	26.15b	0.07a	1.15a	3.08bc	5.32a	0.03d	9.17b	0.08c	0.13c
	80 ~ 100	24.51b	0.07a	0.54cd	2.96bc	5.13a	0.05c	8.33b	0.13cd	0.09c
处理 4	0 ~ 20	22.02c	0.07a	0.34d	2.15c	3.07c	0.13a	5.83cd	1.82b	0.83a
	20 ~ 40	20.94c	0.07a	0.74bc	2.83c	3.61bc	0.08b	5.42cd	0.18c	0.09c
	40 ~ 60	22.98c	0.07a	1.02a	1.48e	3.21c	0.05c	5.83cd	0.10cd	0.04d
	60 ~ 80	20.60c	0.07a	0.74bc	1.71e	3.10c	0.03c	6.67c	0.10cd	0.09c
	80 ~ 100	17.44d	0.07a	0.80b	1.29e	2.28d	0.05c	6.25c	0.21c	0.04d

3 900 m³/hm² 情况下,0 ~ 20 cm 土层全盐含量表现为处理 1 > 处理 4 > 处理 3 > 处理 2,20 ~ 40 cm 土层土壤全盐含量表现为处理 2 > 处理 1 > 处理 4 > 处理 3;灌水 5 100 m³/hm² 情况下,0 ~ 80 cm 土层全盐含量均表现为处理 1 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 4,施用脱硫石膏和深松耕均能降低土壤全盐含量。与处理 1 相比,处理 4(脱硫石膏 + 深松耕)耕层土壤全盐含量下降了 34.73%,处理 2(施用脱硫石膏)耕层土壤全盐含量下降了 30.39%,处理 3(深松耕)土壤全盐含量下降

了 23.72%。对比表 2,设置排盐沟后,0 ~ 40 cm 土层土壤全盐含量明显下降;处理 4 耕层土壤盐分较处理 1 下降了 66.51%,施用脱硫石膏 + 深松耕的洗盐效果得到加强;灌水 5 100 m³/hm² 情况下,0 ~ 40 cm 土层同一处理土壤全盐含量下降了 3.86% ~ 16.63%,由此推断,设置排盐沟有利于降低 0 ~ 40 cm 旱作土层盐分含量,说明排盐沟 + 脱硫石膏 + 深松耕模式对土壤全盐淋洗效果最好。

表 6 各处理(设置排盐沟)对土壤剖面全盐含量的影响

采样日期	灌水量 (m ³ /hm ²)	副处理	全盐含量(g/kg)				
			0 ~ 20 cm 土层	20 ~ 40 cm 土层	40 ~ 60 cm 土层	60 ~ 80 cm 土层	80 ~ 100 cm 土层
6 月 10 日	2 700	处理 1	9.38a	6.21a	4.94b	3.96b	3.72b
		处理 2	6.07b	6.88a	5.33a	4.54a	4.18a
		处理 3	4.92c	4.49b	4.37b	3.83b	3.62b
		处理 4	5.62bc	5.73ab	5.44a	4.55a	4.23a
7 月 1 日	3 900	处理 1	7.29b	5.73ab	3.96	3.69b	3.74b
		处理 2	4.22c	5.83ab	4.17c	3.90b	3.61b
		处理 3	4.54c	4.30c	4.12c	4.05b	3.77b
		处理 4	4.78c	4.43c	3.97c	3.59b	3.43b
7 月 17 日	5 100	处理 1	6.45b	5.49ab	5.10a	4.74a	3.27b
		处理 2	4.49c	4.24c	4.75b	3.77b	3.36b
		处理 3	4.92c	4.40c	5.01a	4.28a	4.16a
		处理 4	4.21c	4.18c	4.02c	2.58c	2.64c

由表 7 可见,不同灌水定额条件下,各处理 0 ~ 40 cm 土层 pH 值均表现为处理 4、处理 2 较低,设置排盐沟使脱硫石膏降低土壤 pH 值的效果稳定;淋洗水量不会改变各处理的效果差异,灌水定额 5 100 m³/hm² 时淋洗效果最好;进行深松耕对各处理土壤 pH 值的影响无明显规律。对比表 3,设置排盐沟使各处理土壤 pH 值明显高于不设置排盐沟处理。

由表 8 可见,灌水 2 700 m³/hm² 情况下,各处理差异较大的盐离子有 SO₄²⁻、Na⁺、HCO₃⁻、Cl⁻;0 ~ 40 cm 土层土

壤 SO₄²⁻、Na⁺、Cl⁻ 含量均表现为处理 1 > 处理 2 > 处理 4 > 处理 3;0 ~ 20 cm 土层土壤 HCO₃⁻ 含量表现为处理 3 > 处理 1 > 处理 4 > 处理 2,深松耕处理降低了耕层土壤 SO₄²⁻、Na⁺、Cl⁻ 含量,施用脱硫石膏降低了耕层 HCO₃⁻ 含量。对比表 4,设置排盐沟后,深松耕处理的 0 ~ 80 cm 土层土壤 Na⁺ 含量低于施用脱硫石膏的处理(处理 4、处理 2),说明灌水 2 700 m³/hm² 情况下,排盐沟 + 深松耕处理是 0 ~ 80 cm 土壤 Na⁺ 淋洗的最有效方式,同时排盐沟使改良处理(处理 4、处

表 7 各处理(设置排盐沟)对土壤剖面 pH 值的影响

采样日期	灌水量 (m ³ /hm ²)	副处理	pH 值				
			0~20 cm 土层	20~40 cm 土层	40~60 cm 土层	60~80 cm 土层	80~100 cm 土层
6 月 10 日	2 700	处理 1	9.47a	9.37a	9.34a	9.35a	9.26a
		处理 2	8.50b	9.07a	9.08a	9.13a	9.21a
		处理 3	9.45a	9.24a	9.01a	8.97b	8.82b
		处理 4	8.56b	8.80b	8.75b	8.78b	8.78b
7 月 1 日	3 900	处理 1	9.51a	9.60a	9.55a	9.58a	9.47a
		处理 2	8.55b	8.97b	9.05a	9.01a	8.96b
		处理 3	9.54a	9.34a	9.24a	9.11a	9.01ab
		处理 4	8.62b	9.18a	9.25a	9.21a	9.20a
7 月 17 日	5 100	处理 1	9.55a	9.60a	9.43a	9.34a	9.37a
		处理 2	8.59b	8.99b	9.00a	8.76b	8.95b
		处理 3	9.34a	9.42a	9.22a	9.05a	8.97b
		处理 4	8.40b	8.85b	8.65b	8.99b	8.99b

表 8 灌水 2 700 m³/hm² 各处理(设置排盐沟)对土壤剖面分盐含量的影响

副处理	土层 (cm)	分盐含量(cmol/kg)							
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
处理 1	0~20	0.13a	1.28a	5.95a	7.13a	0.03d	5.00b	0.03c	0.04d
	20~40	0.07b	0.74c	3.54v	4.51c	0.03d	4.17c	0.03c	0.04d
	40~60	0.07b	1.08ab	2.23c	3.72d	0.03d	4.17c	0.03c	0.04d
	60~80	0.07b	0.80b	1.82d	2.99e	0.03d	3.33d	0.03c	0.04d
	80~100	0.07b	0.70c	1.42d	2.54e	0.03d	2.50e	0.03c	0.04d
处理 2	0~20	0.00c	0.34d	3.29b	5.63b	0.20a	9.17a	1.41a	0.30a
	20~40	0.13a	1.21a	3.35b	5.13b	0.05d	5.83b	0.08b	0.09c
	40~60	0.07b	0.90b	3.11b	4.23c	0.05d	5.00bc	0.03c	0.04d
	60~80	0.13a	1.02ab	1.99cd	3.15de	0.03d	4.17c	0.05c	0.09c
	80~100	0.13a	0.80b	2.05c	3.15de	0.03d	4.17c	0.08b	0.04c
处理 3	0~20	0.13a	1.48a	2.26c	2.96e	0.03d	2.50e	0.10b	0.09c
	20~40	0.13a	1.28a	1.71d	3.10de	0.03d	3.33d	0.08b	0.17b
	40~60	0.07b	0.95ab	1.73d	1.49f	0.03d	1.67f	0.05c	0.09c
	60~80	0.07b	0.87b	1.51d	3.38d	0.05d	3.33d	0.10b	0.09c
	80~100	0.07b	0.80b	1.50d	2.99e	0.05d	3.33d	0.08b	0.09c
处理 4	0~20	0.07b	0.87b	3.22b	4.96c	0.10b	5.83b	1.49a	0.09c
	20~40	0.07b	0.95ab	2.59c	6.20a	0.08c	5.83b	0.10b	0.09c
	40~60	0.07c	1.05ab	2.66c	4.62c	0.05d	5.00bc	0.03c	0.09c
	60~80	0.07c	0.90b	2.14c	4.14c	0.03d	5.00bc	0.10b	0.09c
	80~100	0.07c	0.77c	2.44c	3.52d	0.05d	4.17c	0.08b	0.09c

理 3、处理 2)的地表 Cl⁻ 淋洗产生正效应。

由表 9 可见,灌水 5 100 m³/hm² 情况下,各处理差异较大的盐分离子同样为 SO₄²⁻、HCO₃⁻;0~20 cm 土层土壤 SO₄²⁻、HCO₃⁻ 含量均表现为处理 1>处理 3>处理 2>处理 4,施用脱硫石膏降低了耕层土壤 SO₄²⁻、HCO₃⁻ 含量。各处理土壤剖面碱化度差异较大,0~60 cm 土层土壤碱化度均表现为处理 4 最低,处理 2 次之,处理 1 最高,施用脱硫石膏降低了土壤碱化度,土壤碱化度较对照下降 34.35%。随着灌水定额增加,HCO₃⁻、Na⁺ 含量整体呈上升趋势,洗盐处理使离子含量上升速率减缓。对比表 8,灌水 5 100 m³/hm² + 排盐沟 + 深松耕处理能显著降低 0~40 cm 土层 CO₃²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量。对比表 5,设置排盐沟后,未影响各处理的盐分淋洗作用方向,土壤碱化度明显降低的土层从 0~40 cm 土层延伸至 0~60 cm。灌水 5 100 m³/hm² + 排盐沟 + 脱硫石膏 + 深松耕处理能有效降低 0~100 cm 土层 SO₄²⁻、Cl⁻、K⁺ 含量。

3 结论与讨论

近年来由于人类活动以及气候变化,西北干旱灌区土壤盐渍化问题日趋凸显,成为迫切需要解决的生产问题^[14]。宁夏作为西北地区农业精华区,土壤改良任务异常艰巨,其盐碱土质地坚硬、渗透性差,改良难度较大。有关灌区盐渍化问题的研究中,将各种土壤改良措施优化组合达到最佳效果,是高效盐渍土改良的发展方向^[15]。轻度碱化盐荒地改良应采用“施用脱硫废弃物 + 平整土地 + 深松耕 + 水盐调控 + 平衡施肥 + 耐盐作物种植”的集成技术模式,地下水位降低 50 cm,土壤总盐及有害盐分离子含量明显降低^[16]。王少丽等在不同灌水定额和不同排盐梯度试验中发现盐分发生大量迁移现象,排盐沟周边形成盐分集中区域,且较大灌溉用水量能达到理想的排盐效果;通过农田排盐沟灌水冲洗后的地表排水矿化度随时间呈减小趋势;膜下滴灌的排盐沟冲洗定额为

表 9 灌水 5 100 m³/hm² 各处理 (设置排盐沟) 对土壤剖面分盐含量的影响

副处理	土层 (cm)	碱化度 (%)	分盐含量 (cmol/kg)							
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
处理 1	0 ~ 20	31.58a	0.07a	2.15a	2.47a	3.58a	0.03c	8.75a	0.08d	0.13c
	20 ~ 40	30.24a	0.07a	2.10a	2.16a	2.08bc	0.03c	7.92ab	0.13c	0.13c
	40 ~ 60	24.10b	0.07a	1.82b	2.32a	2.45b	0.03c	6.67b	0.08d	0.13c
	60 ~ 80	23.03b	0.07a	2.02a	2.04a	2.76b	0.03c	6.25b	0.03d	0.04d
	80 ~ 100	25.86b	0.07a	2.02a	1.57b	2.48b	0.03c	5.42c	0.03d	0.04d
处理 2	0 ~ 20	22.03b	0.00b	0.48d	1.60b	2.11bc	0.13a	5.00c	1.31b	0.26b
	20 ~ 40	18.84c	0.07a	1.08b	2.30a	3.01a	0.03c	5.42c	0.08d	0.09c
	40 ~ 60	18.90c	0.07a	0.80d	2.15a	1.89c	0.03c	5.42c	0.08d	0.04d
	60 ~ 80	16.72c	0.00b	1.08b	1.92ab	1.24c	0.03c	4.17d	0.08d	0.09c
	80 ~ 100	19.22bc	0.00b	1.08b	1.59b	0.79d	0.03c	3.75d	0.08d	0.09c
处理 3	0 ~ 20	28.81ab	0.00b	2.43a	1.85ab	2.37b	0.03c	7.50ab	0.03d	0.09c
	20 ~ 40	28.20ab	0.00b	1.28b	1.83ab	3.18a	0.03c	7.08b	0.03d	0.04d
	40 ~ 60	24.63b	0.07a	1.08b	1.50b	2.99b	0.03c	4.58d	0.08d	0.09c
	60 ~ 80	22.83b	0.07a	0.61cd	2.11a	3.72a	0.05c	5.83c	0.13d	0.09c
	80 ~ 100	18.97c	0.07a	0.67cd	1.28c	2.85b	0.03c	5.00c	0.10d	0.04d
处理 4	0 ~ 20	20.74b	0.07a	0.54d	1.20c	1.92c	0.10b	6.25b	2.59a	0.43a
	20 ~ 40	17.88c	0.07a	1.34b	1.90ab	2.93ab	0.03c	5.42c	0.10d	0.04d
	40 ~ 60	16.32c	0.07a	1.41b	1.28c	2.37b	0.03c	6.25b	0.03d	0.09c
	60 ~ 80	17.24c	0.07a	1.15b	1.17c	1.97c	0.03c	5.42c	0.08d	0.09c
	80 ~ 100	19.81bc	0.07a	0.80c	1.10c	1.89c	0.03c	5.00c	0.03d	0.09c

1 515 m³/hm², 达到 4 521 ~ 6 351 kg/hm² 总排盐量, 盐分上移地表、脱盐效果显著^[17]。本研究中淋洗定额 5 100 m³/hm² 时, “排盐沟 + 脱硫石膏 + 深松耕” 模式对土壤全盐淋洗效果最好。淋洗定额显著高于膜下滴灌的冲洗定额, 是灌溉方式差异造成的。本研究中设置排盐沟的各处理土壤 pH 值较不设置排盐沟处理明显升高, 具体原因有待进一步分析。

脱硫石膏具有较好的碱土改良淋洗效果。龟裂碱土改良试验表明, 施用脱硫石膏降低了土壤 pH 值和碱化度, 显著提高水稻产量和品质, 籽粒中 Cd、As、Hg、Pb 等重金属含量降低, 脱硫石膏不会对土壤环境和作物造成重金属污染, 但会增加土壤盐分含量^[18-19]。本研究中施用脱硫石膏显著降低土壤 pH 值, 0 ~ 60 cm 土层土壤碱化度下降明显, 施用脱硫石膏在降低 0 ~ 40 cm 土壤 pH 值起主导作用。深松耕能有效改良耕层结构, 改善土壤理化性状, 提高土壤蓄渗与防蚀抗旱, 促进作物生长和提高产量的作用。本研究中深松对脱硫石膏降低土壤 pH 值效果有负作用, 排盐沟 + 脱硫石膏处理降低土壤 pH 值的效果稳定。

盐碱土壤定点改良结果表明, 盐碱被溶解后快速淋洗至土壤下层^[20], 增加脱硫石膏使用量, 土壤中 4 种盐基离子 (Na⁺、Ca²⁺、CO₃²⁻、SO₄²⁻) 淋洗量也相应升高^[21]。室内土柱淋洗试验模拟苏打盐化土脱盐的过程显示, 土壤淋洗液中 Na⁺ 淋洗量随时间延长逐渐降低 ($P < 0.05$), CO₃²⁻ 淋洗量则呈显著正相关 ($P < 0.05$), Ca²⁺、SO₄²⁻ 淋洗量在 30 d 达到最大值^[21]。本研究中“灌水 5 100 m³/hm² + 排盐沟 + 脱硫石膏 + 深松耕” 集成模式是降低 0 ~ 100 cm 土层 SO₄²⁻、Cl⁻、K⁺ 盐分最优模式。“灌水 5 100 m³/hm² + 排盐沟 + 深松耕” 洗盐模式能显著降低 0 ~ 40 cm 土层 CO₃²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量。淋洗能有效降低土壤电导率和 Na⁺ 含量^[20]。本研究中“灌水 2 700 m³/hm² + 排盐沟 + 深松耕” 集成模式是 0 ~ 80 cm 土层 Na⁺ 淋洗的最有效方式, 由于该地区的返盐现象,

2 700 m³/hm² 灌水定额有利于 Na⁺ 淋洗。施用脱硫石膏能使盐化土导水能力提高, 增强灌水定额的淋洗效果^[21]。本研究中“灌水 2 700 m³/hm² + 脱硫石膏 + 深松耕” 模式能有效降低土壤 0 ~ 20 cm 土层 HCO₃⁻ 含量, 较低的灌水定额即可使 HCO₃⁻ 含量下降。

参考文献:

[1] 柯夫达 B A. 盐渍土的发生与演变[M]. 席承藩, 译. 北京: 科学出版社, 1957.

[2] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.

[3] 邹长明, 张多姝, 张晓红, 等. 蚌埠地区设施土壤酸化与盐渍化状况测定与评价[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(9): 54 ~ 55, 12.

[4] 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, 11(1): 50 ~ 52.

[5] Sakai Y, Matsumoto S, Nitta Y, et al. Alkali soil reclamation in China using gypsum produced in flue gas desulfurization process: a case study[J]. Journal of Global Environment Engineering, 2002, 8: 55 ~ 66.

[6] Sakai Y, Matsumoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains[J]. Soil & Sediment Contamination, 2004, 13(1): 65 ~ 80.

[7] 刘阳春, 何文寿, 何进智, 等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究, 2007, 28(2): 68 ~ 71.

[8] 王金满, 杨培岭, 张建国, 等. 脱硫石膏改良碱化土壤过程中的向日葵苗期盐响应研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 33 ~ 37.

[9] 刘海英, 崔长海, 赵倩, 等. 施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4215 ~ 4224.

[10] 李丙奇, 孙克刚, 金辉, 等. 有机无机肥配合施用对小麦、玉米等作物品质改善的试验研究[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(1): 87 ~ 88.

陈 志,王伟峰,孙 丽. 不同降雨条件下红壤坡地养分垂向流失规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(8):241-244.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.065

不同降雨条件下红壤坡地养分垂向流失规律

陈 志^{1,2},王伟峰³,孙 丽²

(1. 昆明理工大学环境科学与工程学院,云南昆明 650500; 2. 云南省地矿局第一水文地质工程地质大队,云南昆明 650041;

3. 内蒙古林业科学研究院生态功能与森林碳汇研究所,内蒙古呼和浩特 010010)

摘要:为明确红壤坡地不同雨强下养分流失的途径和规律,研究百喜草(*Paspalum natatu*)全园覆盖、全园敷盖、全园裸露 3 种坡地利用类型下地表径流、壤中流、泥沙中总氮(TN)、总磷(TP)迁移特性及流失总量。结果表明:(1)不同雨型下采取生态措施(百喜草全园覆盖、全园敷盖)对 TN、TP 浓度起到明显的控制作用,其中百喜草全园覆盖(活地被植物)效果更佳;(2)不同雨型下不同处理径流中氮、磷的流失主要集中在径流初期,后期均匀稳定;(3)雨型越小,径流携带养分流失量占养分总流失量的比例越大,不同雨型中,清水径流携带的养分流失几乎可忽略不计,泥沙携带的养分才是真正的养分流失根源;(4)以 TP 为例,壤中流的浓度随深度的增加而减小,且浓度随壤中流流速的增大而减小,但壤中流单位时间内的流失量整体趋于平缓,壤中流及地下径流携带的养分可忽略不计。研究结果对科学制定红壤坡地养分管理措施、防治农业面源污染具有重要意义。

关键词:红壤坡地;地表径流;壤中流;养分流失;百喜草

中图分类号: S156.6;S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)08-0241-04

农业流域非点源污染物的大量输出是导致水体富营养化的主要原因^[1],非点源污染(NPS)在源区的产生机制及其在流域的传输过程日益受到关注^[2]。红壤是我国亚热带地区的地带性土壤,广泛分布于 15 个省(区),缓坡地(6°~15°)是红壤区的主要组成部分,约占红壤区的 28%。该地区水热资源丰富,但时空分配不均,有效水含量低(约 10%),造成了该地区洪涝灾害和季节性干旱严重^[3-7]。降雨—径流过程造成的非点源污染的常见方式主要有模拟降雨和自然降雨,前者条件易控制,便于研究不同管理方式和地形条件下的氮磷流失。王涛等利用模拟降雨法研究了滇池流域磷的输出特征和机理^[8-9];石德坤采用人工降雨的方法研究了坡地氮

素的流失规律^[10];Walter 等采用人工模拟降雨方法证实了地表施用的有机肥中营养元素的流失是导致面源污染的重要原因之一^[11-12]。在自然降雨条件下进行研究,不仅可对比研究土壤侵蚀和养分流失特征,还可用于分析农业活动和天气条件影响下侵蚀和流失的季节性变化^[13]。相较而言,自然降雨具有独特的优势,更接近真实情况。对于红壤区,由于水热资源丰富,植被生态系统演替快,地表植被恢复重建对水土流失的影响与黄土区域、紫色土和喀斯特岩溶区存在极大差异^[14],而研究红壤坡地方面,尤其在自然降雨下养分的立体淋溶流失等方面的报道较少,这对降雨引起的侵蚀危害难以作出科学评价。本研究通过大型土壤水分渗漏装置(lysimeter),研究了不同生态措施下红壤坡地自然降雨的养分流失状况。植物选择百喜草(*Paspalum natatu*),为一种暖季型的多年生禾草,可作为公路、堤坝等绿化草种或牧草。采用的水土保持措施为百喜草全园覆盖、全园敷盖、全园裸露(对照)3 种处理,通过取样分析,分析不同水土保持措施和雨型条件下的土壤地表径流以及不同层次的壤中流养分流失特征,揭示了红壤坡地养分垂向流失规律,对防治农业面源污染具有重

收稿日期:2016-02-17

基金项目:内蒙古自然科学基金博士基金(编号:2015BS0323)。

作者简介:陈 志(1980—),男,湖北阳新人,博士研究生,研究方向为水土保持治理和景观生态恢复。E-mail:443196863@qq.com。

通信作者:王伟峰,男,博士,研究方向为植被生态恢复工程。

E-mail:wang.wf1985@163.com。

[11] 王晓娟,贾志宽,梁连友. 不同有机肥量对旱地玉米光合特性和产量的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(2):419-425.

[12] 宇万太,姜子绍,马 强,等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1057-1064.

[13] 路 浩,王海洋. 盐碱土治理利用研究进展[J]. 现代化农业,2004,301(8):10-12.

[14] Lu H, Wang H Z. Advances in the use of saline-alkali soil treatment[J]. Modernizing Agriculture, 2008, 301(8):10-12.

[15] 侯倩倩,韩致文,王国华. 中国西北干旱区灌区土壤盐渍化问题研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(29):246-250.

[16] 杨建国,樊丽琴,许 兴,等. 盐碱地改良技术集成示范区水土环境变化研究初报[J]. 中国农学通报,2011,27(1):279-285.

[17] 王少丽,周和平,瞿兴业,等. 干旱区膜下滴灌定向排盐和盐分上移地表排模式研究[J]. 水利学报,2013,5(5):549-555.

[18] 王 静,许 兴,肖国举,等. 脱硫石膏改良宁夏典型龟裂碱土效果及其安全性评价[J]. 农业工程学报,2016,32(2):141-147.

[19] 王立志,陈明昌,张 强,等. 脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J]. 中国农学通报,2011,27(20):241-245.

[20] 阿依古丽·达嘎尔别克,艾比布拉·伊马木,大森圭佑,等. 不同洗盐法对盐碱化土壤改良效果研究[J]. 新疆农业科学,2015,52(3):477-482.

[21] 崔 媛,张 强,王 斌,等. 脱硫石膏对重度苏打盐化土中主要离子淋洗的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(1):310-314.