

不同盐碱地改良剂对土壤理化性质、紫花苜蓿生长及产量的影响*

郑普山¹ 郝保平¹ 冯悦晨¹ 丁玉川¹ 李屹峰² 薛志强² 曹卫东³

(1. 山西省农业科学院农业环境与资源研究所 山西省土壤环境与养分资源重点实验室 太原 030006; 2. 山西省农业科学院右玉试验站 右玉 037200; 3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 北京 100081)

摘要 为明确国产化盐碱地改良剂在重度盐碱地的施用效果,采用田间试验和室内分析相结合的方法,以牧草和绿肥兼用型紫花苜蓿为供试作物,研究重度盐碱地施用国产1号(2 250 kg·hm⁻²)、国产2号(7 960 kg·hm⁻²)和脱硫石膏(22 500 kg·hm⁻²)3种改良剂对土壤理化性质、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)出苗率和鲜草产量的影响,以及施用脱硫石膏对土壤(0~20 cm)和紫花苜蓿茎、叶中重金属含量的影响。结果表明,与对照(不施改良剂)相比,施用改良剂处理的紫花苜蓿出苗率提高18.4%~31.7%,3茬鲜草总产量提高18.9%~43.5%;土壤pH下降0.11~1.46,容重降低0.01~0.06 g·cm⁻³、孔隙率提高1.15%~10.15%,土壤理化性状得到改善;施用脱硫石膏和含有脱硫石膏的国产2号使土壤和紫花苜蓿中汞、铅和铬含量有显著提高,但土壤重金属含量未超过国家《农业土壤环境质量标准》GB15618—2001规定的二级土壤使用标准,紫花苜蓿中汞、镉、铅和铬的含量检测符合国家饲料卫生指标(GB13078—2001)的规定。本研究表明,3种盐碱地改良剂以国产2号的施用效果最好,可在同类型盐碱地大力推广应用。

关键词 土壤改良剂 脱硫石膏 盐碱地 土壤理化性质 紫花苜蓿 重金属

中图分类号: S156.2; S156.4+4; X53 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)09-1216-06

Effects of different saline-alkali land amendments on soil physicochemical properties and alfalfa growth and yield

ZHENG Pu-Shan¹, HAO Bao-Ping¹, FENG Yue-Chen¹, DING Yu-Chuan¹,
LI Yi-Feng², XUE Zhi-Qiang², CAO Wei-Dong³

(1. Institute of Agricultural Environment and Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources, Shanxi Province, Taiyuan 030006, China; 2. Youyu Agricultural Experiment Station, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Youyu 037200, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Saline land improvement is important in offsetting contradictions between increasing population and declining soil areas. It enhances the quantity and quality of farm production, improves ecological environment and promotes regional development of sustainable agriculture. This study determined the effects of localized saline-alkali soil amendments on heavy saline-alkali soil. The experiment used alfalfa as trial crop to investigate the effects of desulfurized gypsum, Guochan-1 and Guochan-2 amendments on soil physical and chemical property and the emergence rate and fresh yield of alfalfa in waste saline-alkali soils with heavy soda. The effects of desulfurized gypsum on heavy metal contents of soils and leaves and stems of alfalfa were also investigated under field conditions. The experiment was conducted in a complete randomized design with four replicas of each treatment. Four treatments were control (without amendment), Guochan-1 (application rate of 2 250 kg·hm⁻²), Guochan-2 (application rate of 7 960 kg·hm⁻²) and desulfurized gypsum (application rate of 22 500 kg·hm⁻²). The results showed that compared with the control, soil pH reduced by 0.11~1.46, soil density declined by 0.01~0.06 g·cm⁻³ and porosity increased by 1.15%~10.15% after application of soil amendments. Furthermore, amendments improved soil perviousness and soil physical and chemical properties. Alfalfa emergence rate increased by 18.4% to 31.7%, fresh biomass of the three crops increased by 18.9%~43.5% and yield significantly increased under amendments

* 山西省农业科学院重点攻关项目(YZD0908)和公益性行业(农业)科研专项(200803029-13-2)资助

郑普山(1964—),男,大学本科,副研究员,主要从事土壤改良和农业技术推广工作。E-mail: zhengpushan@163.com

收稿日期: 2011-12-22 接受日期: 2012-05-10

over the control. Soil and plant Hg, Pb and Cr contents were significantly influenced by desulfurized gypsum and Guochan-2 applications. Among the three amendments, Guochan-2 amendment produced the best effects regarding saline-alkali soil improvement. Whereas heavy metal content did not exceed Grade-II Soil National Standard for Agricultural Environment Quality, alfalfa Hg, Cd, Pb and Cr contents were within National Standard for Feed Qygienic Quality. This research suggested that among the three saline-alkali soil amendments, Guochan-2 produced the best effects. It was therefore recommended for wide application in similar saline-alkali soil conditions.

Key words Soil amendment, Desulfurized gypsum, Saline-alkali soil, Soil physical and chemical property, Alfalfa, Heavy metal (Received Dec. 22, 2011; accepted May 10, 2012)

土壤盐碱化和次生盐碱化问题在世界范围内广泛存在, 已成为世界灌溉农业可持续发展的资源制约因素。我国盐碱地面积约 2 340 万 hm^2 , 西北、华北、东北西部和滨海地区均有分布, 且类型多样。改良、开发和利用盐碱地资源, 可缓解由于人口不断增加导致人口与土地间的矛盾, 对保持农业可持续发展、改善生态环境, 推动区域经济、社会和生态可持续发展具有重要意义^[1-4]。山西省盐碱地面积 30.13 万 hm^2 ^[5], 集中分布在大同、忻定、晋中、运城 4 大盆地, 其中大同盆地盐碱地面积 20.44 万 hm^2 。据调查, 大同盆地中易改良和较易改良的中轻度盐碱地占 85.8%, 重度和极重度盐碱地占 9.7%和占 4.5%, 说明大同盆地盐碱地土地资源丰富, 农业开发潜力巨大^[6-7]。

脱硫石膏作为盐碱地改良剂, 已在盐碱地改良实践中得到广泛应用。大量研究表明, 在盐碱地施用脱硫石膏具有降低土壤 pH、提高作物出苗率和产量的效果^[8-13]。山西省农业科学院农业环境与资源研究所通过引进、利用和消化国外改良剂, 先后研制出具有自主知识产权、成本低的盐碱地改良剂产品国产 1 号和国产 2 号。多点试验结果表明, 2 个国产改良剂均能有效降低土壤 pH, 提高作物的出苗率、生物产量和经济产量。为利用国产盐碱地改良剂改良重度盐碱地, 本研究以抗寒耐旱耐盐碱、牧草与绿肥兼用的紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 为供试作物进行了田间试验研究, 以探明国产改良剂对紫花

苜蓿出苗、生长、生物产量、重金属吸收量及土壤理化性状的影响, 旨在为国产改良剂在重度盐碱地大面积应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

大同盆地位于山西省北端, 黄土高原东侧, 海拔 1 000~1 100 m, 属暖温干旱大陆性季风气候, 年平均降雨量为 398.9 mm, 蒸发量为 1 876 mm, 强烈蒸发期在春季和秋季; 年平均气温为 7.0 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 138 d。大同盆地 70%盐碱土的盐分中含有苏打, 85%盐碱地地下水埋深 1.0~2.0 m 左右, 矿化度 0.6~15.2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 耕层(0~20 cm)土壤含盐量 3~5 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH 8.3~9.2、碱化度 10%~30%。由于地下水矿化度高、矿化物类型存在明显差异, 造成大同盆地盐碱土、碱化土分布不均匀, 形成了复杂多变的盐碱土和碱化土壤。

试验在大同市大同县党留庄乡党留庄村的重度盐碱地进行。试验地地势平坦, 供试土壤为积层盐成土, 质地为轻壤偏沙, 耕层土壤(0~20 cm)容重为 1.48~1.53 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 试验地土壤农化性状和盐分离子组成见表 1 和表 2。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理: 对照(只施基肥), 国产 1 号 2 250 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 国产 2 号 7 960 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 脱硫石膏 22 500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (3 种改良剂的施用量参考本单位开展的盐碱

表 1 试验地土壤基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of experimental soil

土层深度 Soil layer depth (cm)	pH	电导率 EC ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	有机质 Organic matter ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	硝态氮 NO ₃ -N ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 Available P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全盐量 Total salt ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱化度 Alkalinity (%)
0~10	9.64	0.21	2.20	1.11	1.30	110.5	0.99	33.2
10~20	9.97	0.33	2.13	0.87	0.72	132.0	1.68	45.7

表 2 试验地土壤盐分离子组成

Table 2 Salinity ion composition of experimental soil

土层深度 Soil layer depth (cm)	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
0~10	0.03	0.49	0.14	140.3	0.14	0.11	1.38	139.5
10~20	0.05	0.68	0.09	256.1	0.11	0.34	2.70	213.6

地改良剂在中-重度盐碱地的田间最佳施用量)。试验小区面积为30 m², 采用田间随机排列, 每个处理重复4次。

2008年5月10日试验地井水灌溉后, 5月18日机械耕翻后耙平, 在各小区撒施600 kg·hm⁻²硝酸磷肥(N:P₂O₅为27.5:11.5)和150 kg·hm⁻²氯化钾(K₂O 60%)基础上, 将3种盐碱地改良剂按试验方案均匀撒施到对应小区, 然后采用小型农机旋耕20 cm; 5月20日采用耩播紫花苜蓿, 品种为“新疆大叶苜蓿”, 播种量为30 kg·hm⁻²。6月1日紫花苜蓿开始出苗, 6月30日调查出苗率, 9月4日在各小区选取2 m×3 m样方测量紫花苜蓿鲜草产量。2009年7月6日和9月8日以相同方法测定紫花苜蓿鲜草产量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤与植株样品的采集与处理

2008年6月15日—9月13日在紫花苜蓿生长期中每间隔30 d及收获牧草后的10月14日采集各处理区0~20 cm混合土样80个, 2009年5月4日(紫花苜蓿返青期)、7月13日(收获第1茬牧草后)和9月14日(收获第2茬牧草后)采集各小区0~20 cm混合土样48个, 用于施用改良剂对土壤pH变化的动态监测。2008年9月测定紫花苜蓿鲜草产量后, 在对照、国产2号和脱硫石膏3个处理区采集12个0~20 cm混合土样, 测定施用脱硫石膏后土壤中汞、镉、砷、铅和铬等重金属含量; 紫花苜蓿收获期, 采集各小区0~20 cm根际、根外混合土样各16个, 测定pH和EC。采集的土壤样品在室内自然风干, 过1 mm筛装瓶备用。

2008年紫花苜蓿鲜草收获时, 分别在对照、国产2号和脱硫石膏3个处理区采集地上部植株样, 每个处理取1个样, 4次重复共取12个植株样品, 用于测定施用脱硫石膏和含有脱硫石膏的国产2号后紫花苜蓿茎和叶片中汞、镉、砷、铅和铬的含量变化。采集的样品在室内用自来水和去离子水冲洗干净, 在鼓风烘箱内90℃杀青30 min, 然后在60℃烘干48 h。叶片和茎分别粉碎过筛后装瓶备用。

2008年紫花苜蓿收获后, 在各小区用环刀取0~10 cm、10~20 cm原状土, 共采集原状土32个。

1.3.2 测定指标和方法

土壤硝态氮、有机质、速效磷、速效钾和土壤水溶性盐含量采用常规方法测定^[14]; 土壤pH采用酸度计测定(土水比为1:2.5), EC采用电导仪测定(土水比为1:5); 土壤全汞含量采用硝酸-硫酸-五氧化二钒消解, 冷原子吸收法测定; 全镉含量采用盐酸-硝酸-高氯酸消解, 石墨炉原子吸收法测定; 全铬含量采用硫酸-硝酸-氢氟酸消解, 高锰酸钾氧化, 二苯碳酰二肼光度计测定; 全砷含量采用硫酸-硝酸-高锰酸钾消解, 二乙基二硫代氨基甲酸钠-硝酸银分光光度计法测定; 全铅含量采用盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消解, 石墨炉原子吸收法测定^[15]。植株样品全汞含量采用硫酸+硝酸高压消解, 原子荧光光谱法测定; 全镉含量采用硝酸+高氯酸+硫酸混合酸消解, 石墨炉原子吸收法测定; 全铬含量采用硝酸+高氯酸+过氧化氢消解, 石墨炉原子吸收法测定; 全砷含量采用硝酸+硫酸+高氯酸湿消解, 原子荧光光谱法测定; 全铅含量采用硝酸+高氯酸热消化, 火焰原子吸收光谱法测定^[16]。采用土壤3项测定仪(DIK-1150)测定土壤容重和孔隙度等物理性质^[17]。

1.4 试验数据分析

试验数据采用Microsoft Excel 2003和SAS统计软件进行统计分析。各处理间的差异显著性用Fisher's LSD检验。

2 结果与分析

2.1 施用盐碱地改良剂对紫花苜蓿出苗率和鲜草产量的影响

由田间调查结果(表3)看出, 施用国产1号、国产2号和脱硫石膏后, 紫花苜蓿的出苗率比对照提高了18.4%~31.7%, 方差分析结果显示, 施用改良剂显著提高了出苗率($P<0.05$); 2008年紫花苜蓿的鲜草产量分别比对照提高2 288.5 kg·hm⁻²、2 363.5 kg·hm⁻²和

表3 不同改良剂对紫花苜蓿出苗率及鲜草产量的影响
Table 3 Effects of different amendents on the rate of emergence and the fresh yield of alfalfa

处理 Treatment	出苗率 Rate of emergence (%)	2008年产量 Fresh yield of grass in 2008 (kg·hm ⁻²)	2009年第1茬产量 Fresh yield of first-cut in 2009 (kg·hm ⁻²)	2009年第2茬产量 Fresh yield of second-cut in 2009 (kg·hm ⁻²)
对照 Control	61.3±1.53b	5 040.2±472c	5 637.8±256.2d	5 562.8±125.0d
国产1号 Guochan-1	79.7±1.04a	7 328.7±586a	7 487.9±85.4b	7 262.9±131.5b
国产2号 Guochan-2	81.9±1.46a	7 403.7±1 605a	8 062.9±85.4a	7 837.9±205.6a
脱硫石膏 Desulfurized gypsum	93.0±1.08a	6 328.1±542b	6 787.8±103.1c	6 200.3±195.8c

表中同列不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P<0.05$), 下同。Different small letters in the column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

1 287.9 kg·hm⁻², 表明施用改良剂均有显著增加产草量的效果。第 2 年收获了两茬紫花苜蓿鲜草, 仍以施用国产 2 号的鲜草产量最高。试验结果表明, 第 1 年施用的改良剂对第 2 年紫花苜蓿鲜草产量仍有显著增产效果。施用改良剂的 3 茬紫花苜蓿产草量分别比对照提高了 5 838.7 kg·hm⁻²、7 063.7 kg·hm⁻² 和 3 075.4 kg·hm⁻², 增产 36.0%、43.5%和 18.9%。

综合紫花苜蓿的出苗率和 2 年的紫花苜蓿产草量调查结果, 重度盐碱荒地施用改良剂可显著提高紫花苜蓿出苗率和鲜草产量, 提高紫花苜蓿出苗率的顺序为脱硫石膏>国产 2 号>国产 1 号, 提高紫花苜蓿产草量的顺序为国产 2 号>国产 1 号>脱硫石膏。

2.2 施用盐碱地改良剂对耕层土壤 pH 的影响

从试验地 0~20 cm 土壤 pH 的监测结果看出(表 4), 不同处理的土壤 pH 在施用改良剂后 2008 年 6—10 月及 2009 年 5—9 月紫花苜蓿生长期均呈现先降低后提升的动态变化趋势。施用改良剂处理的 0~20 cm 土壤 pH 均比对照有所降低, 其中施用脱硫石膏土壤 pH 降幅最大, 施用国产 1 号土壤 pH 降幅最小。从紫花苜蓿生育期土壤 pH 的监测结果看, 施用国产 1 号、国产 2 号和脱硫石膏的土壤 pH 分别比对照降低 0.11~0.25、0.74~1.06 和 1.06~1.46。方差分析结果显示, 在土壤 pH 的相同监测期, 施用国产 1 号处理的土壤 pH 与对照之间不存在显著差异, 施用国产 2 号和脱硫石膏处理的土壤 pH 均比对照显著降低($P<0.05$)。从不同时期土壤 pH 的监测结果看, 在重度盐碱地, 盐碱地改良剂降低土壤 pH 的顺序

表现为脱硫石膏>国产 2 号>国产 1 号。

2.3 施用盐碱地改良剂对耕层土壤和紫花苜蓿汞、镉、砷、铅和铬含量的影响

为了探明施用脱硫石膏对土壤环境、紫花苜蓿饲草安全性的影响, 对施用脱硫石膏和含有脱硫石膏的国产 2 号的 0~20 cm 深度土壤和第 1 年收获的紫花苜蓿茎、叶片中汞、镉、砷、铅和铬含量进行了分析。分析结果表明(表 5), 施用脱硫石膏会增加土壤中汞、砷、铅和铬的含量和紫花苜蓿茎和叶片中汞、铅、铬的含量。施用脱硫石膏和国产 2 号的处理 0~20 cm 土壤中汞、砷、铅和铬含量均比对照有显著增加($P<0.05$), 其中汞、砷、铅和铬分别比对照增加 0.03 mg·kg⁻¹和 0.01 mg·kg⁻¹、0.02 mg·kg⁻¹和 0.01 mg·kg⁻¹、0.31 mg·kg⁻¹和 0.15 mg·kg⁻¹、0.41 mg·kg⁻¹和 0.19 mg·kg⁻¹。紫花苜蓿茎和叶片中未检测到砷, 镉的含量未增加, 汞、铅和铬的含量随着脱硫石膏施用量的增加比对照显著增加($P<0.05$)。土壤和植株样品中铅的含量最高, 其次是铬, 汞和镉的含量较少; 同一处理条件下, 紫花苜蓿叶片中汞、铅和铬的含量均高于茎, 而茎中镉的含量略高于叶片。

2.4 施用盐碱地改良剂对紫花苜蓿根际、根外土壤 pH 和 EC 值的影响

第 1 年紫花苜蓿收获期的田间样品根际、根外土壤 pH、EC 的测定结果表明, 0~20 cm 根际、根外土壤 pH 均低于对照(表 6), 与紫花苜蓿各生育期土壤 pH 平均值监测结果趋势一致(表 4), 而 EC 高于对照; 同一处理的根际土壤 pH 均低于根外土壤 pH,

表 4 不同改良剂对 0~20 cm 深度土壤 pH 的影响
Table 4 Effects of different amendments on soil pH at 0~20 cm depth

处理 Treatment	日期(年-月-日) Date (year-month-day)							
	2008-06-15	2008-07-15	2008-08-14	2008-09-13	2008-10-14	2009-05-14	2009-07-13	2009-09-14
对照 Control	9.68c	9.47c	9.43c	9.61c	9.73c	9.78c	9.39c	9.68c
国产 1 号 Guochan-1	9.53c	9.25c	9.22c	9.45c	9.62c	9.65c	9.18c	9.43c
国产 2 号 Guochan-2	8.94b	8.54b	8.56b	8.69b	8.86b	8.90b	8.50b	8.62b
脱硫石膏 Desulfurized gypsum	8.62a	8.23a	8.15a	8.23a	8.49a	8.55a	8.12a	8.22a

表 5 不同改良剂对 0~20 cm 深度土壤和紫花苜蓿茎、叶中重金属含量的影响
Table 5 Effects of different amendments on heavy metal contents in 0~20 cm soil layer and alfalfa stem and leaves mg·kg⁻¹

样品 Sample	处理 Treatment	Hg	Cd	As	Pb	Cr
土壤 Soil	对照 Control	0.13±0.00c	0.02±0.00	0.43±0.00c	2.19±0.02c	1.58±0.01c
	国产 2 号 Guochan-2	0.14±0.00b	0.02±0.00	0.44±0.00b	2.34±0.02b	1.77±0.02b
	脱硫石膏 Desulfurized gypsum	0.16±0.00a	0.02±0.00	0.45±0.00a	2.50±0.03a	1.99±0.02a
紫花苜蓿茎 Stem of alfalfa	对照 Control	0.02±0.00c	0.03±0.00	0	1.31±0.01c	1.02±0.01c
	国产 2 号 Guochan-2	0.03±0.00b	0.03±0.00	0	1.63±0.01b	1.23±0.01b
	脱硫石膏 Desulfurized gypsum	0.04±0.00a	0.03±0.00	0	1.91±0.02a	1.44±0.01a
紫花苜蓿叶 Leaves of alfalfa	对照 Control	0.03±0.00c	0.02±0.00	0	1.45±0.01c	1.16±0.01c
	国产 2 号 Guochan-2	0.04±0.00b	0.02±0.00	0	1.75±0.01b	1.45±0.01b
	脱硫石膏 Desulfurized gypsum	0.06±0.00a	0.02±0.00	0	2.02±0.02a	1.73±0.02a

表中土壤样品的采集时间为 2008 年 9 月紫花苜蓿的收获期 Soil sample was collected at the alfalfa's harvest in September 2008.

原因是紫花苜蓿的根系分泌物可以中和根际土壤中的碱,降低根际土壤碱性,说明紫花苜蓿的生长对降低根际土壤 pH 有一定作用。

2.5 施用盐碱地改良剂对耕层土壤物理性状的影响

第 1 年紫花苜蓿收获期土壤物理性质测定结果显示(表 7),施用改良剂可降低土壤容重、增加土壤孔隙率。3 种改良剂以施用脱硫石膏对土壤物理性状的改善效果最好。从表 7 还可看出,施用国产 1 号、国产 2 号和脱硫石膏后,0~20 cm 土壤容重分别比对照降低 0.01 g·cm⁻³、0.04 g·cm⁻³和 0.06 g·cm⁻³,孔隙率分别比对照提高 1.15%、7.50%和 10.15%,土壤物理性质得到改善,扩大了土体保水蓄水容量,有利于提高紫花苜蓿鲜草产量。

3 讨论与结论

我国北方内陆干旱区盐碱地均由于降雨量少而蒸发量大、水源供给不足致使区域性盐碱地改良、利用非常困难。近年来随着盐碱地改良剂的不断开发利用尤其是火力发电厂脱硫副产品——脱硫石膏的利用,对难改良的碱积盐成土的改良和开发带来了契机。本研究利用山西省农业科学院农业环境与资源研究所研制的具有自主知识产权、成本低的盐碱地改良剂国产 1 号、国产 2 号,并结合脱硫石膏,以耐寒耐旱耐盐碱的绿肥兼饲草紫花苜蓿为供试作物在大同盆地进行了重度盐碱地改良试验,对推动

盐碱地改良具有理论指导意义。

试验结果表明,在重度盐碱地施用国产 1 号、国产 2 号和脱硫石膏,与对照(不施改良剂)相比,紫花苜蓿的出苗率提高 18.4%~31.7%,3 茬鲜草总产量提高 18.9%~43.5%,对提高出苗率和饲草产量效果显著($P<0.05$);0~20 cm 土壤 pH 下降 0.11~1.28,容重降低 0.01~0.06 g·cm⁻³、孔隙率提高 1.15%~10.15%,土壤理化性质得到改善。根据我国农业土壤环境质量标准(GB 15618—2001 II 级)和国家饲料卫生指标(GB 13078—2001),施用脱硫石膏后土壤和紫花苜蓿中汞、镉、砷、铅和铬等重金属的含量完全符合国家标准,农用土壤和生产的饲草是安全的。总体而言,3 种盐碱地改良剂以国产 2 号的施用效果最好。

本研究在重度盐碱地施用国产盐碱地改良剂对提高紫花苜蓿出苗率和鲜草产量的影响,与李焕珍等^[9-13]利用脱硫石膏改良碱化土壤的研究结论相一致。本研究施用脱硫石膏和国产 2 号后土壤和紫花苜蓿植株地上部汞、镉、砷、铅和铬等重金属含量符合国家相关标准的研究结果,与李跃进等^[13,18]利用脱硫石膏改良盐碱地具有明显效果,且对土壤、玉米和枸杞中重金属含量没有超过国家《土壤环境质量标准》的研究结论相一致。本研究紫花苜蓿根际土壤 pH 低于根外土壤,有利于促进盐碱地改良的调查结果,与魏忠平等^[19]盐碱地种植田菁、苜蓿降低土壤 pH 的研究结论相一致。本研究施用国产改良剂对

表 6 不同改良剂对紫花苜蓿收获后土壤 pH 和 EC 值的影响
Table 6 Effects of different amendments on soil pH and EC value after alfalfa harvest

处理 Treatment	0~10 cm 土层 0~10 cm soil layer				10~20 cm 土层 10~20 cm soil layer			
	pH		EC		pH		EC	
	根际 RS	根外 BS	根际 RS	根外 BS	根际 RS	根外 BS	根际 RS	根外 BS
对照 Control	9.28	9.30	0.16	0.24	9.68	9.83	0.14	0.22
国产 1 Guochan-1	9.23	9.25	0.24	0.23	9.65	9.71	0.27	0.21
国产 2 号 Guochan-2	8.76	8.94	0.28	0.37	8.90	9.15	0.26	0.26
脱硫石膏 Desulfurized gypsum	8.23	8.43	1.05	1.16	8.48	8.63	0.39	0.35

根际土壤指距主根 2 mm 范围内垂直方向的土壤,根外土壤指距主根水平距离 2 mm 外垂直方向的土壤。Rhizosphere soil (RS) means the soil within 2 mm from taproots in vertical direction. Bulk soil (BS) means soil 2 mm away from taproots in vertical direction.

表 7 不同改良剂对紫花苜蓿收获后耕层土壤物理性状的影响
Table 7 Effects of different amendments on the soil physical properties after alfalfa harvest

处理 Treatment	土层 Soil layers (cm)	容重 Bulk density (g·cm ⁻³)	液相率 Liquid fraction (%)	气相率 Gas fraction (%)	固相率 Solid fraction (%)	孔隙率 Porosity (%)
对照	0~10	1.46	33.19	17.35	49.46	50.54
Control	10~20	1.55	22.88	15.93	61.19	38.81
国产 1 号	0~10	1.45	34.16	18.03	47.81	52.19
Guochan-1	10~20	1.54	23.19	16.26	60.55	39.45
国产 2 号	0~10	1.43	35.73	18.42	45.85	54.15
Guochan-2	10~20	1.49	32.77	17.43	49.80	50.20
脱硫石膏	0~10	1.42	38.93	18.62	42.45	57.55
Desulfurized gypsum	10~20	1.47	34.14	17.95	47.91	52.09

降低土壤容重、提高土壤孔隙率、改善土壤物理性质的影响,与安东等^[20-21]利用硫磺、石膏、有机肥和PAM等改良剂能有效降低土壤容重、提高孔隙率,促进盐碱地改良的结论相一致。

紫花苜蓿是我国北方广泛种植的耐旱耐盐碱的优质饲草兼绿肥作物,扩大重度盐碱地改良规模和紫花苜蓿种植对建立“改良盐碱地-种植牧草-发展养畜-畜粪还田-改良盐碱地”的循环农业经济模式具有重要参考价值。本研究采用的3种盐碱地改良剂只有一个施用量和紫花苜蓿一种牧草,3种改良剂的施用效果以国产2号最好。对于国产2号不同施用量和采用多种牧草进行重度盐碱地改良,促进大同盆地重度盐碱地改良的相关研究还有待进一步深入开展。

本研究在大田条件下对3种国产盐碱地改良剂在重度盐碱地施用后对土壤理化性质、紫花苜蓿出苗及产草量的影响进行了研究,结果表明,施用盐碱地改良剂可显著提高紫花苜蓿的出苗率和鲜草产量,改善土壤理化性质,土壤的重金属含量没有超过国家《农业土壤环境质量标准》GB15618—2001规定的二级土壤使用标准;紫花苜蓿中汞、镉、砷、铅和铬的含量检测符合国家饲料卫生指标(GB13078—2001)的规定。本研究结果为扩大利用国产2号改良重度盐碱地、种植紫花苜蓿发展畜牧养殖提供了理论依据,具有一定的实践指导意义。

参考文献

- [1] 李彬,王志春,孙志高,等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158
- [2] 何文义,于涛,蔡玉梅. 盐碱地的治理与利用[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2010, 29(增刊): 158-160
- [3] 黄伟雄. 资源环境与我国可持续发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(5): 130-132
- [4] 周亚鹏,许皞,许俊香,等. 土地资源可持续利用与我国土地
- 地资源利用对策[J]. 河北农业科学, 2005, 9(2): 88-92
- [5] 刘耀宗,张经元. 山西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [6] 郑必昭. 山西省盐碱地改良利用近况[J]. 山西农业科学, 1999, 27(4): 89-91
- [7] 张克强,白成云,马宏斌,等. 大同盆地金沙滩盐碱地综合治理技术开发研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 136-141
- [8] 李淑仪,蓝佩玲,徐胜光,等. 燃煤烟气脱硫副产物在酸性土壤的农业资源化利用[J]. 生态科学, 2003, 22(3): 222-226
- [9] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇,等. 脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J]. 生态学杂志, 1999, 18(1): 25-29
- [10] 王金满,杨培岭,任树梅,等. 烟气脱硫副产物改良碱性土壤过程中化学指标变化规律的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 98-105
- [11] 王金满,杨培岭,石懿,等. 脱硫副产物对改良碱性土壤的理化性质与作物生长的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 34-37
- [12] 任坤,任树梅,杨培岭,等. CaSO₄ 在改良碱性土壤过程中对其理化性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4): 77-80
- [13] 李跃进,乌力更,芦永兴,等. 燃煤烟气脱硫副产物改良碱性土壤田间试验研究[J]. 华北农学报, 2004, 19(S1): 10-15
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [15] 刘凤枝,刘素云,刘潇威,等. 农业环境监测实用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001
- [16] 中国标准出版社第一编辑室. 饲料工业标准汇编[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 1-216
- [18] 李茜,孙兆军,魏耀峰,等. 施用脱硫废弃物对枸杞生长及重金属含量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 355-357
- [19] 魏忠平,邢兆凯,于雷,等. 北方泥质海岸盐碱地种植牧草肥土效果研究[J]. 辽宁林业科技, 2009(2): 8-10
- [20] 安东,李新平,张永宏,等. 不同土壤改良剂对碱积盐成土改良效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 115-118
- [21] 胡发成. 种植苜蓿改良培肥地力的研究初报[J]. 草业科学, 2005, 22(8): 47-49