

宁夏红寺堡扬黄灌区次生盐渍化土壤改良成效研究^①

张俊华¹, 贾科利²

(¹ 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 银川 750021; ² 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021)

摘要: 系统分析了利用脱硫废弃物和次生盐渍化土壤专用改良剂对宁夏红寺堡扬黄灌区次生盐渍化土壤的改良效应, 结果表明: 施用脱硫废弃物可以改善土壤理化性状, 但改良效果不理想, 同时施用脱硫废弃物和专用改良剂后土壤砂粒含量减少, 粉粒、黏粒含量普遍增加; 土壤体积质量平均增加 5.34%、孔隙度降低 5.61%, 土壤 pH 和全盐均有不同程度的下降; 施用脱硫废弃物和专用改良剂后土壤有机质和养分含量、枸杞产量都有较大幅度的增加, 其中施用改良剂 II 的增幅最大, 但考虑改良剂原料成本后施用改良剂 II 当年最终经济效益最大。相同改良剂秋施改良效果明显优于春施; 施用量越大对土壤理化性状的改良效果越好, 枸杞干果产量和直接经济效益也越高, 但最终经济效益以施用量为 11.25 t/hm² 的处理最佳。

关键词: 扬黄灌区; 次生盐渍化土壤; 专用改良剂

中图分类号: S143

枸杞 (*Lycium barbarum* L.) 由于其果、叶、果柄和根系中都含有人体需要的蛋白质、维生素、氨基酸和微量元素, 具有补肾养肝、润肺明目、增强免疫力、抗衰老、抗肿瘤、抗氧化等多方面的功效, 是名贵的中药材和很好的滋补品^[1]。枸杞具有较强的适应性, 对温度、光照、土壤要求不甚严格。枸杞的耐盐碱性较强, 但不是含盐量越多越好。黄震华和徐菱华^[2]认为枸杞的耐盐极限值为 9 g/kg, 当土壤含盐量 ≥ 9 g/kg 时, 枸杞产量急剧下降, 生长受到严重的抑制甚至死亡。杨涓等^[3]研究证实: 在氯化钠质量分数为 0.3% ~ 0.6% 范围内, 枸杞多糖含量随着氯化钠质量分数的增加呈上升趋势, 可促进蔗糖的合成; 而氯化钠质量分数达 0.9% 时, 枸杞多糖含量呈明显下降趋势, 抑制蔗糖的合成。魏玉清等^[4]、Story 和 Wyn^[5]指出一定质量分数的盐分对甜菜碱的积累有一定的促进作用, 但盐质量分数超过 12 g/kg 时甜菜碱含量显著降低^[6]。所以, 优质高产的枸杞需要适宜的土壤环境。

宁夏红寺堡移民开发区地处陕甘宁三省交界地带, 是中国最大的县建制扶贫移民开发区, 属于半干旱荒漠草原气候, 是我国仅次于西藏的第二高值中心。该地区干旱少雨, 年均蒸发量是年平均降水量的 7.4 倍, 自然灾害频繁。截至 2007 年底, 开发区尚有 6.986 万人未脱贫, 原定“实现移民一年搬迁, 两年定居, 三年解决温饱, 五年稳定脱贫, 十年致富”的目标没

有实现, 可持续发展面临很大的困难^[7]。所以, 当地政府大力提倡利用现有科技资源与科技进步的成果, 加速科技成果转化。种植枸杞是当地发展特色资源和优势农产品、改善农民经济条件的主要途径之一。但由于降雨量少、蒸发量大, 当地水资源量少、质差, 经济社会发展主要依赖扬黄水。灌溉水能耗高、成本大, 不仅严重浪费了水资源, 增加了农民的水费支出, 而且引起了土壤的盐渍化, 使土壤环境恶化。目前对次生盐渍化土壤的研究较多, 且取得了较大的进展^[8-10]。1992 年, Clark 等^[11]最早研究了脱硫废弃物对酸性土壤的改良, 收到了较好的效果。随后, 利用脱硫废弃物改良盐碱化土壤逐渐引起了国内外的高度重视^[12-13]。国家科技支撑计划“黄河河套地区盐碱地改良及脱硫废弃物资源化利用关键技术与示范”根据该地区土壤盐分特性和枸杞的生长需求研发了系列专用改良剂, 本文系统分析了系列专用改良剂施用后次生盐渍化土壤理化性状的变化情况, 以期提高当地耕地质量、增加耕地面积、改善生态环境, 提高经济效益, 并为同类型地区的土壤改良提供科学依据和有效的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验设在宁夏红寺堡开发区红寺堡镇, 该地区属

^①基金项目: 国家科技支撑计划课题项目 (2007BAC08B03) 资助。

作者简介: 张俊华 (1977—), 女, 宁夏中卫人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤环境方面的研究。E-mail: zhangjunhua728@163.com

典型大陆性气候, 干旱少雨, 风大沙多, 生态环境恶劣, 多年平均降雨量 277 mm, 多年平均蒸发量 2 050 mm, 无霜期 150 天左右。

1.2 试验设计

试验处理包括 3 个改良剂配方的筛选、改良剂 I 施用时期和施用量的研究, 共 9 个处理(具体处理内容见表 1), 4 次重复, 采用随机区组设计。作物为定

植两年的枸杞。基、追肥均采用树干周围四点施入法(在枸杞树主干的东南西北位置各挖一个坑), 坑长 30 ~ 40 cm (视树冠大小而言), 坑的中心位置水平离树干 20 ~ 30 cm 处, 坑的规格 30 cm × 30 cm × 40 cm, 将脱硫废弃物、专用改良剂、有机肥(羊粪 22.5 t/hm²) 和化肥与表土拌匀后填入坑底, 然后封坑, 灌水洗盐。

表 1 不同处理脱硫废弃物和专用改良剂的施用时期和施用量

Table 1 The rates and time of desulfurization gypsum and special soil amendments applied in different treatments

处理号	脱硫废弃物		专用改良剂		
	施用时期	施用量 (t/hm ²)	剂型	施用时期	施用量 (t/hm ²)
T1	-	0	-	-	0
T2	秋施	3	-	-	0
T3	秋施	3	改良剂 I	秋施	7.5
T4	秋施	3	改良剂 II	秋施	7.5
T5	秋施	3	改良剂 III	秋施	7.5
T6	春施	3	改良剂 I	春施	7.5
T7	秋施	3	改良剂 I	秋施	3.75
T8	秋施	3	改良剂 I	秋施	11.25
T9	秋施	3	改良剂 I	秋施	15.0

3 种专用改良剂的不同之处在于: 除了主要原料共有外, 改良剂 II 和 III 还添加了另外不同来源的工、农业废弃物或枸杞敏感的微量元素, 用来中和盐化土壤中的碱性成分、改善土壤的物理性状、提高土壤养分含量、增加枸杞干果产量和品质。这些工农业废弃物来源广泛且价格低廉。

1.3 测定指标

1.3.1 土壤理化性状的测定 在枸杞发芽前采集基础土壤样品(0 ~ 20 cm, “S”形采样), 秋季枸杞落叶后在每个小区采集表层土壤样品(0 ~ 20 cm, “S”形采样)(体积质量采集原状土), 风干后过筛进行理化性状的测定。土壤体积质量采用环刀法测定; 孔隙度采用计算法测定; 机械组成采用吸管法测定; pH 采用酸度计法测定; 碱化度采用计算法测定; 全盐采用质量法测定; 分盐采用 EDTA 络合滴定法测定; CEC 采用乙酸钙交换法测定; 有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定; 碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用 Oslen 法测定; 速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度计法测定^[14]。

1.4 数据处理

测定数据采用 SAS 软件进行差异性显著分析。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性状

2.1.1 机械组成 研究区土壤普遍属于壤砂土或砂壤土, 土壤颗粒间孔隙大、小孔隙少、总孔隙度小、毛管作用弱、保水性弱, 但土壤通透性良好, 土壤孔隙中经常充满空气, 容易造成干旱, 而且由于通气性好, 好气性微生物活动旺盛, 土壤有机质分解快, 易释放有效养分, 使作物生长后劲不足。所以, 改善土壤的质地是改良该地区土壤的重要内容之一。

根据国际制分类标准, 从表 2 可知, 未施入改良剂的土壤属于壤砂土(砂粒: 850 ~ 1 000 g/kg; 粉粒: 0 ~ 150 g/kg; 黏粒: 0 ~ 150 g/kg), 施入脱硫废弃物后土壤质地有所改善, 但效果不佳; 施入专用改良剂改良后各处理砂粒含量均有不同程度的降低, 粉粒和黏粒含量则有不同程度的增加, 其中施用改良剂 I 处理土壤砂粒含量降幅最大, 黏粒增幅最大, 土壤由壤砂土改良为砂壤土(砂粒: 550 ~ 850 g/kg; 粉粒: 0 ~ 450 g/kg; 黏粒: 0 ~ 150 g/kg)。同一改良剂秋施效果明显优于春施。相同改良剂不同用量条件下对土壤质地的改良效果不同: 施用量越大, 土壤砂粒降幅越大, 粉粒和黏粒增幅越大。因此, 施用盐化土壤专用改良

剂后当年土壤中各颗粒组成比例适当, 这样可以使土壤具有良好的结构性、通透性和保水保肥性, 适于枸杞根系生长。

2.1.2 土壤体积质量和孔隙度 该地区土壤普遍体积质量小、孔隙度大, 持水性和保肥性差。未经改良的表层土壤(0~20 cm)体积质量与种植枸杞前基

本持平, 而施用专用改良剂后体积质量增大(增幅平均为 4.74%)。经过 3 种专用改良剂改良后的土壤孔隙度降低(表 3), 这样土壤孔隙分布合理, 不仅有利于养分状况的调节和枸杞根系的伸展, 还改善了土壤的保水保肥性能。改良剂 II 对土壤体积质量和孔隙度的改良效果最佳, 改良剂 I 次之。

表 2 土壤在不同处理方式下土壤机械组成(g/kg)变化情况

Table 2 Differences of soil texture in different treatments compared to CK's

处理	砂粒 0.2~0.02 mm	粉粒 0.02~0.002 mm	黏粒 <0.002 mm	质地名称
T1	0.00	0.00	0.00	壤砂土
T2	-6.96	1.27	9.46	壤砂土
T3	-45.87	22.90	19.65	砂壤土
T4	-50.53	34.39	18.18	砂壤土
T5	-56.09	53.41	16.92	砂壤土
T6	-27.54	30.46	0.23	砂壤土
T7	-41.39	42.74	-0.27	砂壤土
T8	-81.57	52.83	25.29	砂壤土
T9	-99.94	73.78	33.75	砂壤土

表 3 不同改良条件下土壤的体积质量和孔隙度变化

Table 3 Variation of soil bulk density and porosity in different treatments

指标	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
体积质量增长率(%)	0	0.83	3.40	6.72	5.90	4.23	1.22	2.54	7.32
孔隙度降低率(%)	0	0.86	3.96	6.84	6.03	3.97	1.81	2.2	7.06

2.2 土壤 pH、盐分含量

不施改良剂的处理 pH 值最高(pH = 8.97), 施用脱硫废弃物后土壤表层 pH 较对照下降了 0.51, 由于改良剂原料中含有工业酸性废弃物, 所以在脱硫废弃物的基础上施用改良剂后土壤 pH 继续下降, 平均下降幅度 0.59, 且改良剂施用量越大, pH 越低(施用量为 15 t/hm² 的处理 pH = 8.07)。

土壤通体含盐量均很高, 且表聚现象严重, 0~20 cm 土层平均盐分含量达 8.38 g/kg, 土壤盐类以硫酸盐为主, 氯化物次之, 0.5 < Cl⁻/SO₄²⁻ < 1, 按照土壤盐渍化程度分级指标和盐分组成划分, 土壤类型属氯化物-硫酸盐盐土。单施脱硫废弃物的处理土壤 0~20 cm 土层的全盐含量有所增加(增量为 4.6%), 20 cm 以下土层全盐含量则有较大幅度的增加(增量为 11.5%); 施入脱硫废弃物和改良剂后, 2009 年 10 月测得 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土壤全盐

含量较之改良前分别下降了 36.9%、24.0%、19.6%、27.0%、17.4%, 经过 1 年改良后 1 m 土体含盐量下降了 19.7%, 且随着改良剂施用量的增大土壤全盐含量逐渐减小。

施用脱硫废弃物和改良剂后土壤八大盐分离子较之改良前在 0~20 cm 土层除 HCO₃⁻ 含量略有增加外, 其他离子含量均有所下降, Na⁺ 和 Cl⁻ 含量则在 1 m 土层内均有不同程度的下降, 其中 0~20 cm 土层下降最大, Na⁺ 含量由 11.15 cmol/kg 下降到 6.49 cmol/kg, 平均下降了 41.8%; Cl⁻ 含量由 8.81 cmol/kg 下降到 4.79 cmol/kg, 平均下降了 45.6%; K⁺ 平均下降了 27.6%, Mg²⁺ 平均下降了 24.9%, 但 Ca²⁺ 平均增加了 25.7%, SO₄²⁻ 平均增加了 19.5%。其他离子含量在 20 cm 以下土层则略有增加。

2.3 土壤有机质和养分

不同改良剂改良后 0~20 cm 土层有机质表现

为：改良剂 II > 改良剂 I > 改良剂 III > 脱硫废弃物 > 对照（表 4），所以施用改良剂后土壤有机质增加，从而改善了土壤的物理性质，促进了土壤团粒结构的形成，改善了土壤结构，协调了土壤水、肥、气、热状况，以及作物对盐碱、有毒物的缓冲能力^[13]。全 N、碱解 N、速效 P 和 CEC 的增加趋势和有机质的增加

趋势基本相同，改良剂 II 表现均最佳，施用改良剂 III 的处理速效 K 含量增幅最大，但与施改良剂 I、II 的处理并无显著差异。施用脱硫废弃物对土壤有机质和有效养分含量影响较小。专用改良剂秋施对土壤有机质和养分的促进明显优于春施；相同改良剂施用量越大土壤有机质和养分的增幅越大。

表 4 不同改良条件下各处理有机质和养分的变化情况

Table 4 Variations of soil organic matter and nutrients in different treatments

处理	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
T1	2.52 ± 0.32 b	0.40 ± 0.04 b	33.50 ± 3.78 b	7.47 ± 0.64 b	125.64 ± 12.75 b	20.71 ± 3.32 b
T2	2.80 ± 0.55 b	0.40 ± 0.04 b	35.08 ± 4.76 b	7.59 ± 0.87 b	138.18 ± 11.49 b	20.53 ± 1.67 b
T3	3.62 ± 0.36 a	0.45 ± 0.06 a	38.55 ± 6.00 a	8.09 ± 1.02 a	151.59 ± 15.76 a	23.21 ± 4.60 a
T4	3.67 ± 0.32 a	0.46 ± 0.06 a	40.93 ± 5.08 a	8.18 ± 1.09 a	157.14 ± 12.49 a	24.88 ± 6.66 a
T5	4.04 ± 0.55 a	0.44 ± 0.05 a	38.48 ± 9.46 a	7.47 ± 0.90 a	161.73 ± 15.52 a	28.12 ± 6.49 a
T6	3.50 ± 0.75 a	0.48 ± 0.08 a	33.38 ± 5.34 a	8.33 ± 0.98 a	128.22 ± 9.74 ab	21.14 ± 2.92 b
T7	2.98 ± 0.64 b	0.37 ± 0.06 b	40.03 ± 2.75 a	8.03 ± 1.25 a	126.88 ± 9.40 b	24.48 ± 4.70 b
T8	3.88 ± 0.32 ab	0.54 ± 0.07 a	44.66 ± 9.12 a	9.30 ± 1.21 a	167.46 ± 9.60 a	28.03 ± 4.34 b
T9	4.79 ± 0.77 a	0.58 ± 0.10 a	52.37 ± 4.34 a	9.72 ± 1.29 a	161.27 ± 8.19 a	30.42 ± 6.74 a

注：同列数据字母不同表示处理间差异达到 p<0.05 显著水平。

2.4 产量与经济效益

2009 年该试验地枸杞果实总共采摘 13 次，图 1 为 13 次的干果产量曲线。对照处理产量最低；施用脱硫废弃物和 3 种改良剂均可以提高枸杞产量，但单施脱硫废弃物增产效果很弱（增产 2.64%），与对照处理无显著性差异；施用专用改良剂产量增幅较大（较

对照平均增加 20.79%），其中施用改良剂 II 后枸杞产量最高，但施用改良剂 I ~ III 后累计干果产量 3 个处理间无显著差异。秋施和春施改良剂 I 干果产量分别比对照处理高 18.53% 和 10.03%；改良剂 I 施用量为 3.75、7.50、11.25 和 15 t/hm² 的处理产量分别较对照提高 7.70%、18.53%、23.74% 和 35.73%。

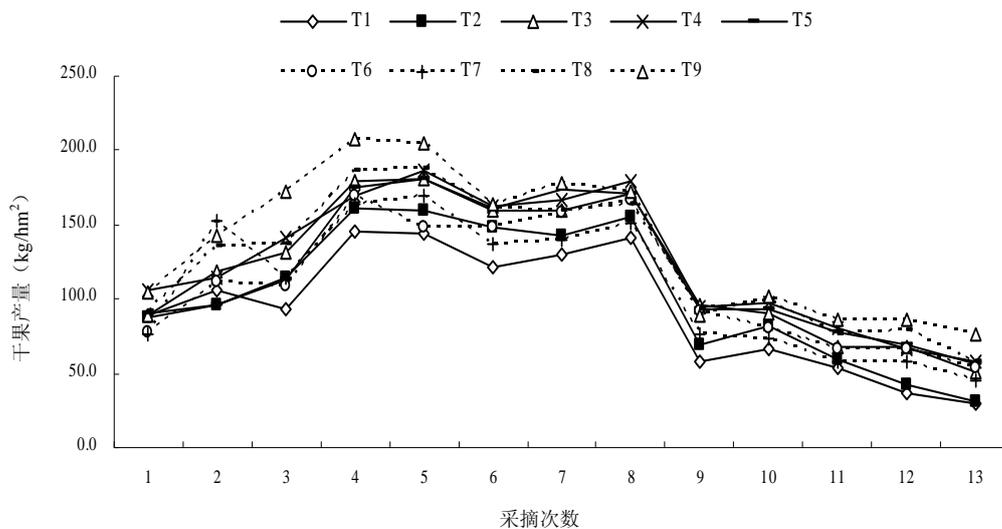


图 1 不同改良条件下枸杞干果产量

Fig. 1 Yield of *Lycium barbarum* L.'s dried fruit in different treatments

本文直接经济效益是指单纯枸杞干果产量的收入,最终经济效益则是干果产量收入减去鲜果采摘费用和改良剂成本,其他相同农艺措施费用不扣除。从不同改良条件下枸杞经济效益的比较来看(图 2a):施用脱硫废弃物的直接经济效益略高于对照,但最终经济效益与对照基本持平;3 种改良剂中改良剂 II 的直接经济效益和最终经济效益分别比对照提高 23.6% 和 15.6%,与不经过改良剂的处理呈显著性差异,改良剂 I 和改良剂 III 直接经济效益低于改良剂 II,平均较对照提高 10.05%,但考虑改良剂成本后最终经济效益均高于改良剂 II(平均为 18.25%)。春

施改良剂的处理最终经济效益也比对照提高 10.0%。施用量越大直接经济效益越高(图 2b),但最终经济效益为施用量 11.25 t/hm² 的最高。但是脱硫废弃物和专用改良剂改良土壤后土壤理化性状不会在短期内回归到未改良前的状态,故其当年的经济效益并不能代表长期经济效益。整体来看,采用专用改良剂 II 改良的处理土壤理化性状和经济效益都较未经改良的处理有不同程度的增加,这样既改良了土壤,提高了当地耕地质量、增加了农民收入,又解决了几种工农业废弃物的二次利用问题,兼顾了环境效益。

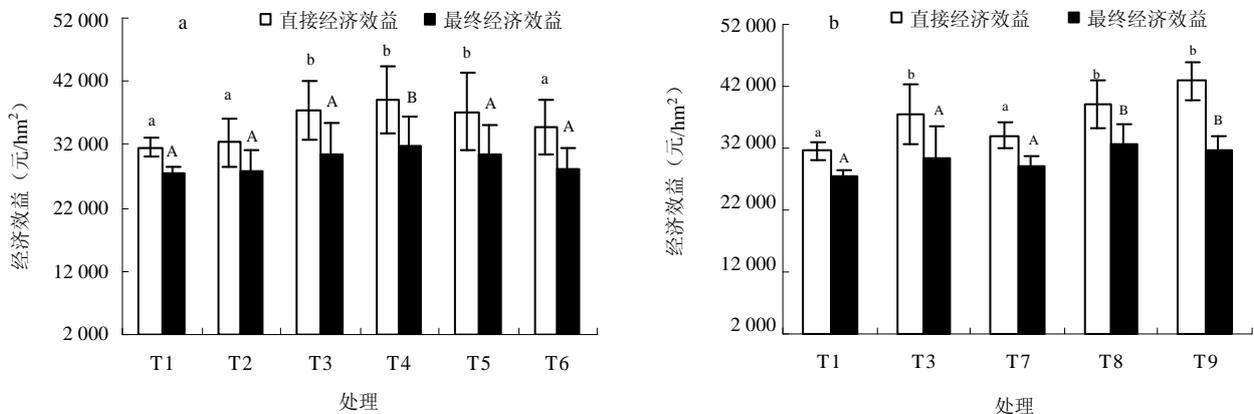


图 2 不同改良条件下枸杞的直接经济效益和最终经济效益

Fig. 2 Variations of economic benefit in different treatments

3 讨论与结论

枸杞适宜生长在肥沃、地势干燥、排水良好的沙壤土上。宁夏红寺堡扬黄灌区的地理位置基本满足枸杞生长的要求,但土壤含盐量高、砂粒含量相对过大、土壤贫瘠是其重要的制约因素。针对该地区土壤特点,本文专用改良剂主要原料选用来源广泛且价格低廉的工农业废弃物等,试验证明施用专用改良剂后土壤砂粒含量降低,黏粒和粉粒含量增加,且粉粒增幅普遍大于黏粒降幅,土壤质地由对照的壤砂土转变为砂壤土;土壤体积质量平均增加 5.34%,孔隙度降低 5.61%,使土壤的物理性质得到改善。这是由于专用改良剂原料中含有大量的腐殖酸类物质,可使土壤微团聚体增加,改善了土壤体积质量、孔隙度、空气含量以及渗透速度等物理性质,提高土壤的蓄水保墒能力^[15]。供试脱硫废弃物 pH 5.09,专用改良剂 pH 6.27,都是酸性,所以施入后土壤 pH 下降;但脱硫废弃物中含有

大量的 Ca²⁺ 和 SO₄²⁻,所以单独施入后土壤无论表层还是下层 Ca²⁺ 和 SO₄²⁻ 有所增加,Na⁺ 和其他一些阳离子被 Ca²⁺ 代换后随灌溉或降水下移到下层或随水流出地块,故其含量大幅度下降;专用改良剂原料中含有大量的腐殖酸类物质,具有较强的离子交换能力,表面吸附性能及凝聚溶胶的作用,所以施入后土壤盐分会有不同程度的下降。该地区土壤为砂壤土,土壤通透性良好,秋季采样前有大约 10 mm 的降雨,所以灌水后下层土壤盐分含量高于上层。秋季枸杞落叶后采集地下水样品,测定结果表明地下水中 Cl⁻、Mg²⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻ 含量较改良前均有不同程度的增加,依次增加了 33.3%、25.1%、13.9%、13.5%。Na⁺、K⁺ 变化较小,也充分说明土壤盐分已逐渐进入地下水中。单施脱硫废弃物可以降低土壤 pH^[16,19],但对土壤有机质和有效养分含量影响很小^[19]。由于原料中有农业废弃物,所以施入改良剂后土壤有机质和养分含

量也有不同程度的增加, 其中改良剂 II 增效最显著, 说明原料在改善土壤结构的同时还可增加土壤养分和有机质含量。这样既增加了土壤养分供作物吸收, 也提高了作物的抗盐碱能力和缓冲能力。施用专用改良剂 II 的作物产量、当年直接经济效益都最高, 改良剂 I 和 III 效果基本相同, 当考虑到改良剂原料成本后, 施用改良剂 I 的当年最终经济效益最大。专用改良剂施用量为 11.25 t/hm^2 的处理最终经济效益低于施用量为 15 t/hm^2 的处理。但本试验只研究探讨了施用专用改良剂后土壤理化性状和产量的变化情况, 由于改良剂施入后土壤理化性状的改善不是短期的, 所以未来几年的最终经济效益比未经改良的土壤会有更大的差异, 具体改良效果还有待进一步深入研究。

红寺堡扬黄灌区种植枸杞是当地农民的主要经济来源, 但土壤的次生盐渍化现象相当严重, 当地利用次生盐渍化土壤专用改良剂, 具有低成本、环保、高效、施用方法简单等特点, 这不仅可以增产增收, 而且可以为工农业废弃物的资源化利用提供技术支撑, 实现工农业经济的循环发展做贡献。

参考文献:

- [1] 李钰, 何文寿, 张学, 罗建航. 枸杞土壤肥力与合理施肥技术研究进展. 农业科学研究, 2006, 27(2): 62-65
- [2] 黄震华, 徐菱华. 作物耐盐极限及土壤盐渍化分级标准研究. 宁夏农林科技, 1989(4): 179-184
- [3] 杨涓, 许兴, 魏玉清, 张荣霞. 盐胁迫对枸杞果实糖代谢及相关酶的影响. 宁夏农学院学报, 2004, 25(3): 28-31
- [4] 魏玉清, 许兴, 王璞. 土壤盐胁迫下宁夏枸杞的生理反应. 中国农学通报, 2005, 21(9): 213-217
- [5] Story R, Wyn Jones RG. Quaternary ammonium compounds in plant in relation to salt resistance. Phytochemistry, 1977, 16: 4427
- [6] 惠红霞, 许兴, 李前荣. 外源甜菜碱对盐胁迫枸杞生长及膜脂过氧化的影响. 西北农林科技大学学报, 2004, 32(7): 77-84
- [7] 唐利, 郭亚莉. 干旱半干旱地区移民开发可持续发展探析—以宁夏红寺堡为例. 社科纵横, 2009, 24(3): 23-25
- [8] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845
- [9] 余世鹏, 杨劲松, 刘广明, 邹平. 基于BP人工神经网络的长江河口地区土壤盐分动态模拟及预测. 土壤, 2008, 40(6): 976-979
- [10] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 刘广明. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍状况分析. 土壤, 2008, 40(2): 288-292
- [11] Clark RB, Ritchey KD, Baligar VC. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land. Fuel, 2001, 80: 821-828
- [12] Sakai Y, Matsumoto S. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains. Soil Sediment Contamination, 2004, 13(1): 65-80
- [13] 肖国举, 罗成科, 张峰举, 秦萍. 脱硫石膏施用时期和深度对改良碱化土壤效果的影响. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 197-203
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [15] 张俊华, 贾科利, 孙兆军. 宁夏银北地区盐化土壤改良成效研究. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 232-235
- [16] 李茜, 孙兆军, 秦萍, 罗成科, 沈振荣. 燃煤烟气脱硫废弃物和糠醛渣对盐碱土的改良效应. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 70-73
- [17] 肖国举, 罗成科, 白海波, 张峰举, 秦萍, 孙兆军. 脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻施用量研究. 生态环境学报, 2009, 6(7): 323-327
- [18] 张峰举, 肖国举, 罗成科, 秦萍, 李彦. 脱硫石膏对次生碱化盐土的改良效果. 河南农业科学, 2010(2): 49-53
- [19] 张俊华, 孙兆军, 贾科利, 何文寿. 燃煤烟气脱硫废弃物及专用改良剂改良龟裂碱土的效果. 西北农业学报, 2009, 18(5): 208-212

Improvement Effect of Secondary Stalination Soil in Irrigation Region of Yellow River of Hongsipu, Ningxia

ZHANG Jun-hua¹, JIA Ke-li²

(1 *Development Center of New Technique Application and Research, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;*

2 Resources and Environment College of Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The field experiment by planting *Lycium barbarum* L. in secondary stalination soil improved by desulfurization gypsum and special soil amendment in irrigation region of Yellow River of Hongsipu, Ningxia. We analyzed the effect of improvement that indicated that desulfurization gypsum improved slightly physical and chemical properties of soils. Desulfurization gypsum and special soil amendment decreased sand content but increased silt and clay contents, and the soil bulk density increased by 5.34%, soil porosity decreased by 5.61%, average; both soil pH and total salt content were decreased by different degrees; organic matter, nutrients and crop yield increased significantly, and the effect of amendment II was best. However, the net economical benefit of desulfurization gypsum and special soil amendment II were highest when the cost of soil amendments were considered. The improvement effect of amendment applied in autumn was better than in spring obviously; the improvement effect of physical and chemical properties of soils were better when the rate was higher, and the yield and direct economical benefit were higher. However, the net economical benefit was the highest of 11.25 t/hm² treatment.

Key words: Irrigation region of Yellow River, Secondary stalination soil, Special amendment