西北农业学报 2018,27(10):1478-1484
Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica

网络出版日期:2018-10-31 doi:10.7606/j.issn.1004-1389.2018.10.011
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20181029.1107.010.html

生物基磺酸盐改良剂对盐碱土的改良效果及油葵生长的影响

李 娜[1],张峰举[2],许 兴[1],曹 兵[1],尹应武[3],张议丹[4]

(1.宁夏大学 农学院,银川 750021;2.宁夏大学 环境工程研究院,银川 750021;
3.厦门大学 化学化工学院,福建厦门 361005;4.北京紫光英力化工技术有限公司,北京 100085)

摘 要 为研发生态导向型盐碱地治理修复技术解决黄河河套宁夏平原土壤盐碱化,设计不同水平生物基磺酸盐改良剂用量(0、750、1 500、2 250、3 000 kg·hm^{-2})进行盆栽试验。结果表明,生物基磺酸盐改良剂可有效降低盐碱土 pH 和全盐质量分数,促进油葵生长发育,但施用量过高会起到相反作用。当生物基磺酸盐改良剂施用量为 2 250 kg·hm^{-2}时改良效果最佳:油葵蕾期土壤 pH、全盐质量分数最低达到 9.63 和 0.77 g·kg^{-1},较对照(CK)分别下降 6.14%和 62.07%;油葵叶片抗氧化保护酶过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性最高达到 90.15 U·g^{-1}·min^{-1}和 127.00 μg·g^{-1}·min^{-1},较对照分别提高 83.12%和 117.58%;叶片叶绿素质量分数、净光合速率最高达到 1.67 mg·g^{-1}和 26.91 μmol·cm^{-2}·min^{-1},较对照分别提高 38.02%和 19.97%;油葵叶片的膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)质量摩尔浓度最低达到 6.34 mmol·g^{-1},较对照降低 25.06%;油葵株高也在该处理达到最高,且与其他处理差异显著。因此,生物基磺酸盐改良剂可较好地改良宁夏平罗西大滩盐碱化土壤,其最佳施用量为 2 250 kg·hm^{-2}。

关键词 盐碱化土壤;改良剂;抗氧化保护酶;光合速率;油葵

中图分类号 S565.5 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2018)10-1478-07

土壤盐碱化导致土地退化问题是全球农业生产和生态环境保护面临的重要难题。世界范围受土壤盐碱化影响耕地面积约 3.4×10^8 hm^2,占总耕地面积的 23%[1]。土壤盐碱化导致的主要农作物产量损失每年达 1 200 亿美元[2]。另外,土壤盐碱化通常与土地退化、荒漠化过程相伴生,甚至相互诱发、相互转化,对生态环境构成严重威胁[3-4]。随着全球人口增长对土地资源、农作物生产和美好环境需要不断扩大,探索盐碱土壤有效防治措施对农业可持续发展、生态环境改善,推动区域乃至全球经济、社会和生态可持续发展具有重要意义。

盐碱化土壤治理的核心是减少土壤有害盐分,改善作物生长发育的土壤环境。盐碱地治理主要包括水利工程物理、改良剂化学、耐盐碱植物种植的生物和农艺耕作措施等,并在实践中强调水利工程措施基础作用和因地制宜化学、物理、生物等措施综合运用[5]。随着对盐碱化土壤认识的不断深入,土壤改良剂的功效备受重视和研究,已成为盐碱地治理系列方法和措施的重要组成部分[6]。生物基磺酸盐改良剂是北京紫光英力公司以林木枝条、秸秆、风化煤等生物质原料在温和条件下直接磺化生产稳定水溶性改良剂。研究表明,施用生物质磺酸盐改良剂能够降低设施土壤 pH 和全盐质量分数、改善土壤质量,促进番茄植株生长,提高果实品质与产量的效果[7],在盐碱化土壤治理中具有一定应用潜力。同时,种植耐盐植物的生物措施也被认为是未来盐碱地改良修复和高效利用的突破口[8]。油葵作为中国的四大油料作物之一,具有一定的耐盐性和较高的经济价值,有着盐碱地先锋作物的美誉[9]。因此,用油葵作为试验研究作物,可以在改良利用盐碱地的同时创造更好的经济效益。

黄河河套宁夏平原是西北干旱区土壤盐碱化较为严重地区之一。宁夏平原现有耕地面积 44.11万 hm^2,其中盐碱化地占耕地总面积的

收稿日期:2018-03-04 修回日期:2018-07-16
基金项目:宁夏自然科学基金(NZ16007);宁夏重点研发计划(科技惠民)(2016KJHM24);国家重点研发计划(2016YFC0501307)。
第一作者:李 娜,女,硕士研究生,从事作物耕作与栽培研究。E-mail:leenanx@163.com
通信作者:张峰举,男,副研究员,主要从事农业资源环境与盐碱土壤治理研究。E-mail:tonyzfj@163.com

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

49.7%,土壤盐碱化已成为制约宁夏生态环境、农业和经济社会发展关键因素[10-11]。在运用生态理念综合治理实现干旱半干旱区盐碱地持续改良背景下,急需开发和引进生态友好型的盐碱土治理新技术、新材料和新方法[12]。生物基磺酸盐改良剂酸性强并富含天然的小分子纤维素、磺酸基、酚羟基、醇羟基活性基团,具有降碱促排盐功能,符合盐碱地生态改良发展趋势。为此,本研究探讨不同用量生物基磺酸盐改良剂对盐碱土的改良效果及油葵生长的影响,明确试验所用生物基磺酸盐改良剂在所研究土壤环境下的最佳施用量,旨在为生物基磺酸盐改良剂应用于土壤盐碱化治理提供理论参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　试验土壤　供试土壤采自黄河河套宁夏平原北部石嘴山市平罗县前进农场中度盐碱化荒地,用铁锹采集 0～20 cm 耕作土层土壤 600 kg。采集的土壤带到试验站后风干、碾碎、过 0.5 mm 筛、混合均匀后备用。供试土壤 pH 10.26,全盐质量分数4.53 g·kg^{-1},有机质质量分数 8.95 g·kg^{-1},碱解氮质量分数 26.4 g·kg^{-1},速效磷质量分数 12.2 g·kg^{-1},速效钾质量分数 170.6 g·kg^{-1}。

1.1.2　生物基磺酸盐改良剂　生物基磺酸盐改良剂由北京紫光英力公司提供,是厦门大学、北京紫光英力化工技术有限公司利用清洁化学技术制成多功能生物质水溶性高分子材料。其主要成分为小分子纤维素、半纤维素硫酸单酯盐、木质素磺酸盐和腐殖酸磺酸盐的混合物,其 pH 1.1、电导率 534 mS·cm^{-1}、氮磷钾总养分≥6%、有机质≥50%、腐植酸≥30%。

1.2　试验设计

采用单因素多重复试验设计,生物基磺酸盐改良剂施用量设 0 kg·hm^{-2}(CK)、750 kg·hm^{-2}(T1)、1 500 kg·hm^{-2}(T2)、2 250 kg·hm^{-2}(T3)和 3 000 kg·hm^{-2}(T4)5 个处理,重复 3 次。

盆栽试验在宁夏大学农学院温室进行。试验用花盆的规格为 34 cm×28 cm(直径×高),每盆按 1.45 g·cm^{-3}的体积质量填土 30.26 kg,并预留约 6 cm 边缘。按照试验设计计算每盆生物基磺酸盐改良剂用量,称量后与 250 mL 自来水混合均匀倒于试验盆表面。第 2 天按 900 m^3·hm^{-2}的量灌水 1 次,待土壤表面泛白时破碎精量播种油葵。油葵品种为'KWS204',每盆播种 9 粒种子。油葵出苗期不浇水,出苗后每隔 1 周按 1 200 m^3·hm^{-2}量浇水 1 次。出苗后计算出苗率,并在苗期取样 6 株用于生理生化指标测定,剩余 2 株生长至现蕾期测定光合、株高等指标,并结束试验。

1.3　测定指标与方法

1.3.1　土壤理化指标测定　将采集的土样风干,碾碎,过 1 mm 孔径筛,按 m(土):V(水)=1:5 与去离子水混合,振荡,过滤,取上清液测定。pH 测定采用酸度计法,全盐质量分数测定采用电导法[13]。依据宁夏盐碱土含盐量与电导率关系经验公式[14]计算土壤全盐质量分数:$y=0.160\,9x^2+2.917\,6x-0.014\,1$。式中,$x$ 为土壤的电导率,y 为土壤的全盐质量分数。

1.3.2　油葵生理生化指标测定　油葵光合速率用 Li-6400 光合仪进行测量,叶绿素质量分数、可溶性蛋白质量分数、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性等参照《植物生理学实验指导》方法测定[15]。

1.4　数据统计与分析方法

采用 Excel 2013 对试验数据分析处理,用 SAS 8.1 进行单因素方差分析,处理间多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

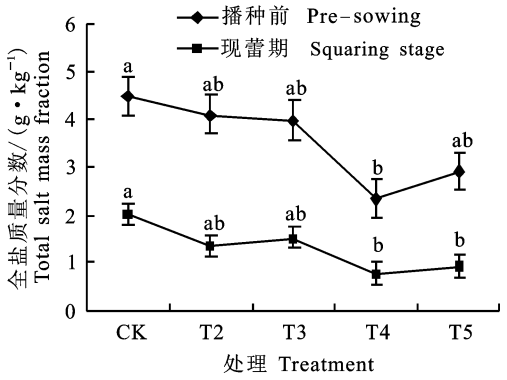
2　结果与分析

2.1　生物基磺酸盐改良剂对土壤理化性质的影响

2.1.1　对土壤全盐质量分数的影响　由图 1 可知,土壤全盐质量分数随生物基磺酸盐改良剂施用量增加呈先降后升趋势,且油葵现蕾期各处理土壤全盐质量分数明显小于播种前。油葵播种前经过 1 次灌水,T1、T2、T3、T4 土壤全盐质量分数较对照分别低 8.46%、11.14%、47.44%和 34.97%,其中 T3 土壤含盐量最低为 2.36 g·kg^{-1}。经过一段时期隔周灌水至油葵蕾期,T1、T2、T3、T4 土壤全盐质量分数较对照分别低 33.00%、24.63%、62.07%和 54.19%,处理 T3 全盐质量分数最低为 0.77 g·kg^{-1},且处理组均与对照差异显著。然而,从取样时间看,现蕾期各个处理土壤含盐质量分数较改良前降低 55.19%～83.00%,而油葵播前仅降低 0.88%～

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

47.90%。另外，无论播种前还是现蕾期，当生物基磺酸盐改良剂施用量为 2 250 kg·hm^{-2}时，土壤全盐质量分数最低，说明土壤的全盐质量分数和改良剂的施入量并不成正比的关系，生物基磺酸盐改良剂施入量过大时，土壤的全盐质量分数反而会增大。



不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著，下同

Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level, the same below

图 1 不同处理下土壤全盐质量分数变化

Fig. 1 Changes of soil total salt mass fraction under different treatments

2.1.2 对土壤 pH 的影响 由图 2 可知，土壤 pH 随生物基磺酸盐改良剂施用量增加呈降低趋势，且油葵现蕾期各处理土壤 pH 小于播种前。当生物基磺酸盐改良剂施用量为 750～3 000 kg·hm^{-2}时，油葵播种前土壤 pH 由改良前 10.26 降至 10.01～9.64，降低 2.44%～6.04%；现蕾期土壤 pH 由改良前 10.26 降至 9.92～9.63，降低 3.31%～6.14%。方差分析结果表明，无论油葵播种前还是现蕾期，当生物基磺酸盐

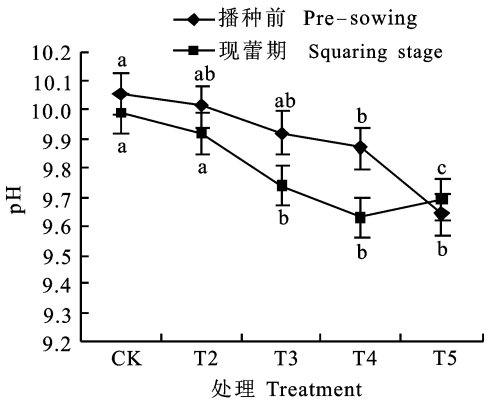


图 2 不同处理下土壤 pH 变化

Fig. 2 Changes of soil pH under different treatments

改良剂施用量达到并超过 2 250 kg·hm^2 时，T3、T4 处理与对照组间土壤 pH 达到显著差异。说明，生物基磺酸盐改良剂可降低土壤的 pH。

2.2 生物基磺酸盐改良剂对油葵叶片生理生化特性的影响

由表 1 可见，油葵苗期和现蕾期叶片叶绿素与可溶性蛋白质量分数随着生物基磺酸盐改良剂施用量增加呈现先升后降趋势。在苗期和现蕾期，T1～T4 处理叶绿素质量分数比 CK 分别高 −5.59%～24.48%和 4.96%～38.02%，且均以 T3 处理最高并与 CK 和 T4 间差异显著。当生物基磺酸盐改良剂施用量由 T1 增至 T3 时，苗期和现蕾期叶片的可溶性蛋白质量分数比 CK 分别高 −13.09%～29.98%和 21.73%～61.48%，而 T4 与 T3 相比则分别降低 31.12%和 27.95%，且 T3 与 CK 和 T4 间差异显著。说明，一定量的生物基磺酸盐改良剂能增加叶片中的叶绿素与可溶性蛋白质量分数，过量则会产生反作用。

表 1 不同处理下油葵叶片生理指标($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Physiological indexes of oil sunflower under different treatments

指标 Index	生育期 Growth period	CK	T1	T2	T3	T4
叶绿素质量分数/(mg·g^{-1}) Chlorophyll mass fraction	苗期 Seedling stage	1.43±0.27 b	1.35±0.15 b	1.52±0.34 b	1.78±0.23 a	1.40±0.19 b
	现蕾期 Squaring stage	1.21±0.15 c	1.39±0.09 b	1.62±0.21 a	1.67±0.16 a	1.27±0.19 bc
可溶性蛋白质量分数/(mg·g^{-1}) Soluble protein mass fraction	苗期 Seedling stage	14.51±2.84 bc	12.61±2.53 c	16.73±2.03 ab	18.86±2.88 a	12.99±1.34 c
	现蕾期 Squaring stage	13.76±1.49 c	16.75±3.18 b	21.04±1.26 a	22.22±3.27 a	16.01±2.26 bc
叶片净光合速率/(μmol·cm^{-2}·min^{-1}) Leaf net photosynthetic rate	苗期 Seedling stage	19.37±6.52 b	19.79±4.15 b	21.92±3.98 b	26.87±3.35 a	19.75±5.28 b
	现蕾期 Squaring stage	22.43±2.66 b	22.44±4.13 b	23.30±1.97 b	26.91±5.49 a	23.40±3.30 ab
CAT 活性/(U·g^{-1}·min^{-1}) CAT activity	苗期 Seedling stage	31.34±1.05 c	32.42±2.67 c	44.33±2.14 b	70.77±2.15 a	44.19±2.12 b
	现蕾期 Squaring stage	49.23±0.78 c	52.88±0.51 c	64.68±1.14 b	90.15±3.25 a	60.71±3.72 b
POD 活性/(μg·g^{-1}·min^{-1}) POD activity	苗期 Seedling stage	49.38±7.42 d	57.59±6.12 c	71.14±4.16 b	78.48±7.14 a	62.57±6.33 c
	现蕾期 Squaring stage	58.37±10.39 e	73.02±10.83 d	83.60±9.08 c	127.00±9.48 a	93.86±6.05 b
MDA 质量摩尔浓度/(mmol·g^{-1}) MDA molality	苗期 Seedling stage	11.09±1.72 a	9.45±0.82 b	9.26±0.42 b	7.98±0.65 c	9.00±1.81 bc
	现蕾期 Squaring stage	8.46±0.87 a	8.56±0.86 a	8.42±0.67 a	6.34±1.42 b	8.11±1.05 a

注：同行不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)，下同。

Note: Different letters in the same row meant significant difference at 0.05 level, the same below.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生物基磺酸盐改良剂对油葵叶片叶绿素的影响不但反映在其质量分数上,而且表现在其光合速率上。随着生物基磺酸盐改良剂施用量增加,苗期和现蕾期叶片净光合速率总体也呈先升高后降低的变化趋势(表 1)。当生物基磺酸盐改良剂用量按 T1、T2 和 T3 顺序增加时,苗期和现蕾期叶片净光合速率较 CK 依次高 2.17%、13.16%、38.72%和 0.04%、3.88%、19.97%。然而,当施用量增加至 T4 时,在苗期和现蕾期 T4 与 T3 相比却分别降低 26.50%和 13.04%,且 T4 与 T3 间差异显著。

在不同生育期(表 1)油葵叶片 CAT 和 POD 活性均随着生物基磺酸盐改良剂施用量增加呈升高后降低的变化趋势。当生物基磺酸盐改良剂施用量由 T1、T2、T3、T4 顺序增加时,苗期和现蕾期叶片 CAT 活性较 CK 分别依次高 3.45%、41.45%、125.81%、41.00%和 7.41%、31.38%、83.12%、23.32%,且施用量越多的 T4 与 T3 相比差异显著并反而分别降低 37.56%和 32.66%。另外,与 CK 相比,苗期 T1、T2、T3、T4 处理叶片 POD 活性提高 16.63%、44.07%、58.93%、26.71%,现蕾期 POD 活性提高了 25.10%、43.22%、117.58%、60.80%,且无论那个生育期 T3 处理的 POD 活性最强,并与其他各个处理间达到显著差异水平。由此说明说明适量的改良剂可以增强油葵叶片中的 CAT、和 POD 活性,增强代谢能力,防止叶片脂膜过度氧化,提高油葵叶片的抗逆能力。

与 CAT 和 POD 不同,随着生物基磺酸盐改良剂施用量增加,油葵叶片苗期 MDA 质量摩尔浓度总体呈降低的变化趋势,且在 T3 处理时降至最低。与 CK 相比,苗期各个处理 MDA 质量摩尔浓度分别降低 14.79%、16.50%、28.04%、18.85%,各处理间差异显著。现蕾期 T1、T2、T4 处理与 CK 差异不显著,T3 处理叶片 MDA 质量摩尔浓度较对照降低 25.06%,并且与各处理之间形成显著差异。可以看出,改良剂不同施用量对叶片 MDA 质量摩尔浓度的影响在苗期效果大于现蕾期,当改良剂的施用量为 2 250 kg·hm^{-2} 时,油葵叶片受到伤害程度最小。

2.3　生物基磺酸盐改良剂对油葵出苗率和株高的影响

油葵是典型的耐盐碱的作物,可以在 6‰以下的盐碱土中生存,本试验播种时土壤盐碱度均符合出苗条件,在水分充足情况下,均可以出苗[16]。由表 2 可见,虽然 T2 的出苗率最高,但 CK、T1、T2、T4 和 T3 间差异不显著,不同处理对油葵出苗率影响不明显。然而,随着生物基磺酸盐改良剂施用量增加,油葵苗期和现蕾期株高均呈现升高趋势。当生物基磺酸盐改良剂施用量增加时,苗期株高为 CK<T1<T2<T4<T3,现蕾期株高为 CK<T1<T2<T3<T4。与 CK 相比,T1、T2、T3、T4 苗期株高分别提高 19.40%、22.70%、32.09%、29.16%,现蕾期分别提高 16.15%、20.55%、34.38%、35.61%,且无论生育期 T4 与 T3 差异不显著,而 T4 与 CK、T3 与 CK 差异显著。因此,2 250 kg·hm^{-2} 和 3 000 kg·hm^{2} 的改良剂施用量均可促进油葵生长,过量则会产生抑制作用。

表 2　不同处理下油葵出苗率和株高($\bar{x}\pm s$)

Table 2　Seedling emergence rate and plant height of oil sunflower under different treatments

处理 Treatment	出苗率/% Seedling emergence rate	株高/cm Plant height	
		苗期 Seedling stage	现蕾期 Squaring stage
CK	88.88±1.00 a	16.39±1.37 d	21.12±2.56 c
T1	85.19±0.58 a	19.57±0.97 c	24.53±1.76 b
T2	92.59±0.58 a	20.11±1.30 bc	25.46±2.36 b
T3	88.89±1.00 a	21.65±1.71 a	28.38±2.13 a
T4	85.19±0.58 a	21.17±1.76 ab	28.64±2.27 a

3　讨论与结论

土壤改良剂能有效地改善土壤理化性状和土壤养分状况,并能积极影响土壤微生物活动从而提高土壤的生产力,是盐碱土壤修复的重要措施之一[17]。含有纤维素、木质素等天然的有机高分子化合物的农作物秸秆材料被土壤微生物分解时能够释放有机酸、阳离子并增加有机质,从而起到

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

改良盐碱化土壤作用[18]。然而，由于大量秸秆还田于盐碱地存在腐熟时间长、起效慢等问题而在实践中应用困难[19]。近年来，随着人工合成的创新技术新发展，将农作物秸秆合成为土壤调理剂成为可能。本研究所用生物基磺酸盐改良剂是农作物秸秆通过清洁化学技术制成的多功能生物质水溶性高分子材料[20-21]。因而，利用生物基磺酸盐改良剂在改良盐碱土壤时，不但通过化学原理降低土壤的 pH，而且通过天然产物中的高分子化合物分解作用改善土壤结构促进盐分淋洗。刘馨等[7]研究表明，北京紫光英力公司提供的生物基水溶性有机肥能够明显降低设施土壤 pH 和电导率。本研究也明确生物基磺酸盐改良剂具有降低土壤 pH 和全盐质量分数的效果，但其效果与其施用量具有先升高后降低趋势，其原因在于生物质磺酸盐改良剂自身的全盐质量分数很大，当施用量过大时，会导致土壤电导率增加，而 2 250 kg · hm^{-2} 施用量是降低土壤 pH 和全盐质量分数的最佳用量。

植物体内的叶绿素质量分数、可溶性蛋白质量分数、光合速率、CAT、POD、MDA 等生理指标均反映了植物受逆境胁迫的程度[15]。当植物体受到盐胁迫后，CAT、POD 等酶的活性降低而不能清除体内的活性氧来保护酶系统，膜质过氧化则反映在 MDA 质量摩尔浓度的增加上[22]。本研究中生物基磺酸盐改良剂使油葵叶片的 CAT 和 POD 活性均不同程度提高，而 MDA 却不同程度下降，表明其施用不但降低土壤盐胁迫，而且增强油葵体内活性氧清除力，保护酶系统并维持细胞膜的稳定性和完整性，缓解盐碱胁迫对油葵细胞组织伤害，改善生长状态。表现在当生物基磺酸盐改良剂施用量为 1 500～3 000 kg · hm^{-2} 时，叶片叶绿素含量比 CK 高 −2.10%～38.02%，光合速率较 CK 提高 1.96%～38.72%。在呼吸消耗大致相同的情况下，植物光合能力越强，则光合产物积累的越多，植株的株高就越高。本研究中生物基磺酸盐改良剂施用量为 1 500～3 000 kg · hm^{-2} 时，油葵株高比 CK 提高 20.55%～35.61%。然而，当生物基磺酸盐施用量为 3 000 kg · hm^{-2} 时，叶片叶绿素含量、可溶性蛋白质量分数和株高相比 2 250 kg · hm^{-2} 有所降低，2 250 kg · hm^{-2} 用量下油葵生长发育特性最好。另外，植物对盐碱胁迫的缓解机制包括合成渗透调节物质、提高酶的抗氧化能力、对离子选择性吸收、营养平衡、改变代谢类型、调整生物量的分配等方法[22]，生物基磺酸盐改良剂对油葵 CAT、POD、MDA、叶绿素含量影响机制还需要深入研究。研究表明，施用生物基磺酸盐改良剂可有效降低土壤 pH 和全盐质量分数，促进油葵生长发育，但过量施用会起到相反效果。因此，生物基磺酸盐改良剂在宁夏平罗西大滩盐碱地最佳施用量为 2 250 kg · hm^{-2}。

参考文献 Reference:

[1] QADIR M, SCHUBERT S, GHAFOOR A, *et al*. Amelioration strategies for sodic soil: A review[J]. *Land Degradation & Development*, 2001, 12(4): 357-386.

[2] GHASSEMI F, JAKEMAN AJ, NIX HA. Salinisation of Land and Water Resources, Human Causes, Extent, Management and Case Studies[M]. Sydney: University of New South Wales Press, 1995.

[3] 林年丰，汤 洁. 松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析[J]. 第四纪研究，2005，25(4)：474-483.
LIN N F, TANG J. Study on the environment evolution and the analysis of causes to land salinization and desertification in songnen plain[J]. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(4): 474-483.

[4] 林年丰，汤 洁，斯 蔼，等. 松嫩平原荒漠化的 EOS_MODIS 数据研究[J]. 第四纪研究，2006，26(2)：265-273.
LIN N F, TANG J, SI A, *et al*. Study on desertification of songnen plain by EOS-MODIS data [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(2): 265-273.

[5] 徐鹏程，冷翔鹏，刘更森，等. 盐碱土改良利用研究进展[J]. 江苏农业科学，2014，42(5)：293-298.
XU P CH, LENG X P, LIU G S, *et al*. Research progress of amelio-ration use of saline-alkaline soil[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(5): 293-298.

[6] 纪立东，杨建国，樊丽琴，等. BGA 土壤调理剂在盐碱障碍型土壤上的应用效果研究[J]. 中国农学通报，2012，28(12)：135-141.
JI L D, YANG J G, FAN L Q, *et al*. Study on the effect of BGA soil conditioner on saline-alkaline obstacle soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(12): 135-141.

[7] 刘 馨，周海霞，田兴武，等. 生物基水溶肥对温室番茄生长与土壤环境的影响[J]. 北方园艺，2018(2)：130-136.
LIU X, ZHOU H X, TIAN X W, *et al*. Effects of bio-based water solubie fertilizer on tomato growth and soil environment in greenhouse[J]. *Northern Horticulture*, 2018(2): 130-136.

[8] 肖克飚. 宁夏银北地区耐盐植物改良盐碱土机理及试验研究[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2013.
XIAO K B. Experimental study on mechanism of halophyte-remediation in alkali-saline soil in the north region of

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Yin-chuan city Ningxia province[D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University,2013.

[9] 邹　璐. 盐碱地施用脱硫石膏对土壤理化性质和油葵生长的影响[D]. 北京:北京林业大学,2012.
ZOU L. Effects of desulfurized gypsum application on saline-alkali soil physicaland chemical properties and growth parameters of oil-sunflower[D]. Beijing: Beijing Forestry University,2012.

[10] 肖国举,张　强,李　裕,等. 冬季增温对土壤水分及盐碱化的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(8):46-51.
XIAO G J,ZHANG Q,LI Y,*et al*. Effect of winter warming on soil moisture and salinization[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2011,27(8):46-51.

[11] 尹志荣,张永宏,桂林国,等. 宁夏银北盐碱地枸杞节水技术改良[J]. 西北农业学报,2012,21(11):185-190.
YIN ZH R,ZHANG Y H,GUI L G,*et al*. Water-saving techniques for improvement of *Lycium barbarum* L. production in Ningxia Yinbei saline land[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2012,21(11):185-190.

[12] 杨劲松,姚荣江,王相平,等. 河套平原盐碱地生态治理和生态产业发展模式[J]. 生态学报,2016,36(22):7059-7063.
YANG J S,YAO R J,WANG X P,*et al*. Research on ecological management and ecological industry development model of saline-alkali land in the Hetao Plain,China[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2016,36(22):7059-7063.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:178-200.
BAO SH D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis[M]. Beijing:China Agriculture Press,2000:178-200.

[14] 何文寿,刘阳春,何进宇. 宁夏不同类型盐渍化土壤水溶盐含量与其电导率的关系[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(1):111-116.
HE W SH,LIU Y CH,HE J Y. Relationships between soluble salt content and electrical conductivity for different types of salt-affected soils in Ningxia[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2010,28(1):111-116.

[15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:208-223.
GAO J F. Experimental Guidance for Plant Physiology[M]. Beijing:Higher Education Press,2006:208-223.

[16] 王利民,陈金林. 盐碱土改良利用技术研究进展[J]. 浙江林学院学报,2010,27(1):143-148.
WANG L M,CHEN J L. Research progress of improvement and utilization of saline and alkali soil[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*,2010,27(1):143-148.

[17] 缑倩倩,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.
GOU Q Q,HAN ZH W,WANG G H. Research progress on soil salinization in arid irrigated area of northwestern China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2011,27(29):246-250.

[18] LI F H,KEREN R. Calareous Sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation:a laboratory study[J]. *Pedosphere*,2009,19(4):465-475.

[19] 安丰华,王志春,杨　帆,等. 秸秆还田研究进展[J]. 土壤与作物,2015,4(2):57-63.
AN F H,WANG ZH CH,YANG F,*et al*. The research progress of straw returning[J]. *Soil and Crop*,2015,4(2):57-63.

[20] 尹应武,纪桂鹏,张双艳,等. 从植物体中提取纤维的绿色工艺:2009100850147[P]. 2010-12-01.
YIN Y W,JI G P,ZHANG SH Y,*et al*. Green process for extracting fiber from plants: CN, 2009100850147[P]. 2010-12-01.

[21] 尹应武,王正银,孙　瑞,等. 一种植物体制浆并联产有机肥的方法:2011101674099[P]. 2012-12-26.
YIN Y W,WANG ZH Y,SUN R,*et al*. One method for plant pulping and co-production of organic fertilizer:CN,2011101674099[P]. 2012-12-26.

[22] 王佺珍,刘　倩,高娅妮,等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报,2017,37(16):5565-5577.
WANG Q ZH,LIU Q,GAO Y N,*et al*. Review on the mechanisms of the response to salinity-alkalinity stress in plants[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2017,37(16):5565-5577.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Effects of Bio-based Sulfonateamendments Application on Saline-alkali Soil Amelioration and Oil Sunflower Growth

LI Na[1], ZHANG Fengju[2], XU Xing[1], CAO Bing[1], YIN Yingwu[3] and ZHANG Yidan[4]

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Institute of Environmental Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China; 4. TH-UNIS Insight Co., Ltd., Beijing 10085, China)

Abstract In order to develop key technologies of ecological adaptation to amend saline-alkali soil in the Yellow River Hetao Ningxia Plain, a pot experiment was conducted with different bio-basedsulfonate amendments (BBSA) application dosages (0, 750, 1 500, 2 250, and 3 000 kg · hm^{-2}). Results revealed that pH value, total salt mass fraction (TSC) of the saline-alkaline soil was significantly decreased and oil sunflower growth was improved by applying the BBSA. However, excessive application of BBSA could increase TSC, which restrain the growth of plants. When the amount of BBSA was 2 250 kg · hm^{-2}, pH value and TSC of soil was the lowest (9.63 and 0.77 g · kg^{-1}), and decreased by 6.14% and 62.07% than the control, respectively. At this dosage, the highest CAT and POD activity of oil sunflower leaves reached 90.15 U · g^{-1} · min^{-1} and 127.00 μg · g^{-1} · min^{-1}, which was 83.12% and 117.58% higher than that of the control. Compared with the control, the maximum chlorophyll content and photosynthetic intensity of oil sunflower leaves reached 1.67 mg · g^{-1} and 26.91 μmol · cm^{-2} · min^{-1}, and increased by 38.02% and 19.97%, respectively. The MDA molality of oil sunflower leaves reached the minimum of 6.34 mmol · g^{-1}, which was 25.06% lower than the control. In addition, its plant height attained the maximum value which was significant difference compared with other dosages. It is concluded that BBSA could improve the saline-alkali soil in Ningxia, and 2 250 kg · hm^{-2} BBSA application dosage was suitable for this saline-alkaline soil improvement.

Key words Saline-alkali soil; Amendments; Antioxidant protective enzyme; Photosynthetic rate; Oil sunflower

Received 2018-03-04 **Returned** 2018-07-16

Foundation item Ningxia Natural Science Foundation (No. NZ16007); Key R&D Project of Ningxia Science and Technology Department (No. 2016KJHM24); National Key R&D Program of China (No. 2016YFC0501307).

First author LI Na, female, master student. Research area: plant physiological ecology, crop cultivation. E-mail: leenanx@163.com

Corresponding author ZHANG Fengju, male, associate research fellow. Research area: agricultural resources environment, saline-sodic soil management. E-mail: tonyzfj@163.com

(责任编辑:史亚歌 Responsible editor: SHI Yage)

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net