

不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土的改良效果研究

王晓洋¹, 陈效民¹, 李孝良^{1,2}, 刘祖香¹

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 安徽科技学院 城建与环境学院, 安徽 凤阳 233100)

摘 要: 针对江苏省滨海盐渍土的特点, 采用 4 种土壤改良剂, 通过改良剂单施和改良剂与石膏配施试验, 分析测定了施用这些改良剂后的土壤含盐量和 pH 值, 并测定了作物产量, 筛选出适宜于滨海盐渍土的最佳改良剂及组合。试验结果表明, 腐殖酸改良滨海盐渍土效果最好, 经腐殖酸(300 kg/hm²)处理后, 0—5、5—20 和 20—40 cm 土层盐分含量相对降低量分别为 38.2%、24.5% 和 13.9%。石膏能显著降低土壤盐分含量和提高作物产量, 经石膏(300 kg/hm²)处理后, 0—5、5—20 和 20—40 cm 土层盐分含量相对降低量分别为 18.8%、13.0% 和 4.9%, 油菜较对照增产 6.1%。腐殖酸与石膏配施是滨海盐渍土适宜的改良剂组合, 腐殖酸(300 kg/hm²)与石膏(300 kg/hm²)配施, 可使 0—5、5—20 和 20—40 cm 土层盐分含量相对降低量分别达 45.1%、38.9% 和 25.7%, 使油菜较对照增产 18.6%。

关键词: 滨海盐渍土; 盐碱土改良剂; 石膏; 油菜

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0128-05

中图分类号: S156.4⁺²

Improvement Effects of Combined Application of Different Amendments and Gypsum on a Coastal Saline Soil

WANG Xiao-yang¹, CHEN Xiao-min¹, LI Xiao-liang^{1,2}, LIU Zu-xiang¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2. College of Urban Construction and Environmental Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract: According to the characteristics of coastal saline soils in Jiangsu Province, the effects of four soil amendments were studied. Through single application of amendments and combined application of amendments and gypsum, soil salt content, soil pH value, and the output of crops were measured after the application of the amendments. The best amendment and combination suitable to the coastal soil in research area were selected. Results from the experiment showed that the effect of humic acid on the coastal saline soil was the best and after the treatment of humic acid(300 kg/hm²), the relative amounts of salt content in the soil layers of 0—5, 5—20 and 20—40 cm decreased by 38.2%, 24.5%, and 13.9%, respectively. Gypsum could significantly decrease the soil salt content and increase the output of crops. After the treatment of gypsum (300 kg/hm²), the relative amounts of salt content in the soil layers of 0—5, 5—20 and 20—40 cm decreased by 18.8%, 13.0% and 4.9%, respectively, and the yield of rape increased by 6.1% compared with that of CK. The combined application of Humic acid and gypsum was the best combination to the coastal saline soil. After the treatment of humic acid(300 kg/hm²) combined with gypsum(300 kg/hm²), the relative amounts of salt content in the soil layers of 0—5, 5—20 and 20—40 cm decreased by 45.1%, 38.9% and 25.7%, respectively, and the yield of rape increased by 18.6% compared with that of CK.

Keywords: coastal saline soil; saline-alkali soil amendment; gypsum; rape

我国盐渍土面积约 3.46×10^7 hm², 耕地盐碱化 7.60 × 10⁶ hm², 近 1/5 耕地发生盐碱化^[1]。滨海盐渍土作为盐渍化土壤重要的类型之一, 主要分布于沿海地区。由于受海潮和海水型地下水的双重影响, 沿海

收稿日期: 2011-06-22

修回日期: 2011-09-23

资助项目: 公益性行业(农业)科研项目“盐碱地农业高效利用配套技术模式研究与示范”(200903001); “江苏高校优势学科建设工程资助项目”资助

作者简介: 王晓洋(1986—), 男(汉族), 河南省南阳市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土资源与水土环境。E-mail: 2009103095@njau.edu.cn.

通信作者: 陈效民(1957—), 男(汉族), 江苏省张家港市人, 博士生导师, 教授, 从事水土资源利用和土壤物理过程的研究。E-mail: xmchen@njau.edu.cn.

地区土壤具有盐分重、养分含量低的特性。地下水矿化度高、土壤盐碱化严重,地上和地下淡水资源缺乏,土壤盐碱化是影响盐土荒地和滩涂资源开发利用的主要障碍因素^[2]。土壤盐碱改良剂在一定程度上能够改善土壤的理化性状^[3-4],降低土壤含盐量。目前国内外的土壤盐碱改良剂品种繁多,不同改良剂的性质、组成、作用机理及在不同土壤类型上的施用效果相差较大,因此,选择合适的土壤改良剂关系到能否提高研究区的经济效益和生态效益^[5]。

本研究通过对禾康盐碱土改良剂、康地宝盐碱土改良剂、金满田生物菌剂和腐殖酸4种改良剂以及分别与石膏配施在滨海盐土耐盐作物油菜上的施用效果分析,探讨改良利用滨海盐渍土的途径,旨在筛选出适合研究区滨海盐渍土的改良剂及其组合,为改良剂的推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

4种改良剂分别为北京飞鹰绿地科技发展有限公司开发研制的禾康,中国农业大学研制的康地宝,山东德州阳光生物科技有限公司生产的金满田生物菌剂,安徽莱姆佳肥业有限公司生产的腐殖酸。石膏为市场上出售的农用脱硫石膏,主要成分为 CaSO_4 ,供试作物为油菜,品种为南盐油1号。

1.2 试验区概况

试验区位于江苏省沿海地区农科所下属沿海农业科技示范园,位于盐城市东台、大丰交界处的东川垦区内,面积为 400 hm^2 。试验区属北亚热带季风气候区,四季分明,寒暑显著,日照充足,雨水充沛。年平均气温 $14.6\text{ }^\circ\text{C}$,无霜期 220 d ,日照 $2\ 169.6\text{ h}$,年平均自然降水量 $1\ 051.0\text{ mm}$,年平均蒸发量 827.5 mm ,地下水水位 1.10 m 。试验区土壤pH值 8.14 ,有机质含量 9.2 g/kg ,电导率 $673\ \mu\text{S/cm}$,盐分以氯化物为主,盐分含量 2.45 g/kg ,属中度盐渍化滨海盐土。

1.3 试验设计

本试验采用 5×2 完全方案设计,试验设置改良剂处理组合和空白对照共10个处理(如表1所示)。每个处理3次重复,其中 G_1 表示禾康盐碱土改良剂, G_2 表示康地宝盐碱土改良剂, G_3 表示金满田生物菌剂, G_4 表示腐殖酸, G_5 表示空白, B_1 表示不施石膏, B_2 表示石膏用量为 300 kg/hm^2 ,CK为空白对照。设置小区区长 6 m ,宽 3 m ,面积 18 m^2 ,小区按随机区组排列,小区间距 0.5 m ,10个小区为一组,组间过道宽 1 m ,四周保护行宽 2 m 。

表1 土壤改良剂田间试验方案

处理	改良剂及用量	kg/hm ²
		石膏用量
$G_1 B_1$	禾康盐碱土改良剂 22.5	0
$G_1 B_2$	禾康盐碱土改良剂 22.5	300
$G_2 B_1$	康地宝盐碱土改良剂 22.5	0
$G_2 B_2$	康地宝盐碱土改良剂 22.5	300
$G_3 B_1$	金满田生物菌剂 30	0
$G_3 B_2$	金满田生物菌剂 30	300
$G_4 B_1$	腐殖酸 300	0
$G_4 B_2$	腐殖酸 300	300
CK	空白	0
$G_5 B_2$	空白	300

(1) 改良剂的施用。在油菜移栽前将改良剂与石膏施入土壤。禾康盐碱土改良剂、康地宝盐碱土改良剂为液体,每小区用量为 40.5 ml ,兑水 20 L 稀释后均匀喷施;金满田生物菌剂、腐殖酸和石膏为固体粉末,可直接均匀撒施,金满田生物菌剂每小区用量 54 g ,腐殖酸与石膏每小区用量 539.7 g 。各种改良剂用法参照施用说明。

(2) 作物种植。油菜采用先育苗后移栽的方法种植,移栽前每小区施无机肥 405 g 作底肥。移栽行距 50 cm ,株距 25 cm 。

1.4 测定项目与方法^[6]

(1) 土壤含盐量测定。用电导法,水土比 $5:1$ 。

(2) pH值测定。用pH计电位法,水土比 $1:1$ 。

(3) 生物量测定。用烘干法,分别于2010年3月14日、6月8日采集油菜新鲜植株样品用于干物质累积量和生物量测定。

(4) 作物产量测定。在油菜成熟期,按小区分别收获后脱粒计产。

2 结果与分析

2.1 施用不同改良剂对土壤盐分含量的影响

由表2可以看出,施用不同改良剂后,各小区土壤盐分含量在苗期、开花期和收获后与CK相比均有所降低,这说明所选的改良剂在降低滨海盐渍土盐分含量方面都有一定的效果。在油菜苗期与开花期盐分含量降低最多,这一方面是改良剂的作用,另一方面与该地区春季降雨较多,盐分随降水向下淋洗有关。此外,作物对地表的覆盖减少了地面的蒸发,这对防止地下水中盐分的上升有一定的作用,所以这一时期盐分含量降低最多。油菜收获后,由于气温升高,地面覆盖减少,地下水中的盐分又随水分沿毛管孔隙向上迁移,盐分含量又升高。经过一段时间的蒸发积盐,盐分稳定在一定的数值。

表 2 不同改良剂处理后土壤盐分含量变化

g/kg

处理编号	处理前(20091122)			苗期(20100314)			开花期(20100411)			收获后(20100608)		
	0—5	5—20	20—40	0—5	5—20	20—40	0—5	5—20	20—40	0—5	5—20	20—40
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
G ₁ B ₁	4.8	3.7	3.2	2.8	3.2	4.0	3.4	3.1	3.5	4.2	3.4	3.2
G ₁ B ₂	4.6	3.7	3.3	2.2	2.1	1.8	2.8	2.1	2.5	2.8	2.4	2.3
G ₂ B ₁	4.8	3.7	3.3	2.1	2.1	2.1	2.4	2.0	2.6	3.6	3.5	3.2
G ₂ B ₂	4.7	3.7	3.2	2.7	2.8	2.2	1.4	2.1	2.6	2.8	2.9	2.9
G ₃ B ₁	4.8	3.8	3.3	3.7	3.9	3.2	4.4	3.6	3.3	4.5	3.6	3.2
G ₃ B ₂	4.9	3.8	3.5	2.5	4.2	3.1	3.3	3.5	3.9	4.3	3.6	3.3
G ₄ B ₁	4.8	3.8	3.2	1.8	2.4	2.7	2.1	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8
G ₄ B ₂	4.8	3.7	3.3	1.6	1.8	2.0	2.0	1.8	2.0	2.6	2.3	2.4
CK	4.9	3.8	3.4	3.9	2.7	2.6	3.8	2.4	2.2	4.8	3.7	3.2
G ₅ B ₂	4.5	3.7	3.2	2.6	2.7	3.2	3.1	3.0	2.8	3.7	3.2	3.1

由于不可能选择含盐量完全一致的地块,即使在同一小区内不同地点含盐量也有一定的差异。因此,用土壤含盐量相对降低量来衡量更具有可比性^[7]。土壤含盐量相对降低量=(改良剂处理前土壤盐分含量-改良剂处理后土壤盐分含量)÷改良剂处理前土壤盐分含量。改良剂处理后土壤含盐量以油菜收获后经过一段时间蒸发,盐分稳定后取样所测结果为准。

施用脱硫石膏的目的是利用脱硫石膏中含有的Ca²⁺对土壤胶体吸附的Na⁺进行交换,并通过淋洗将其排出土体,以达到治碱改土的目的^[8]。从图1可以看出,CK较处理前0—5,5—20和20—40 cm土层盐分含量相对降低量分别为3.9%,3.7%和4.2%,施用石膏处理(G₅B₂)后0—5,5—20和20—40 cm土层盐分含量相对降低量分别为18.8%,13.0%和4.9%,由此可见,施用石膏可以显著降低土壤中盐分含量。

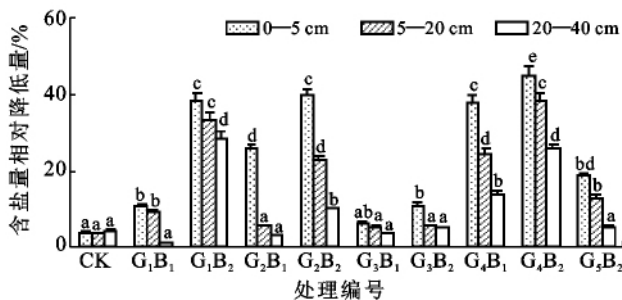


图 1 不同改良剂处理后土壤含盐量相对降低量

注:图内不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平。各处理编号所代表内容同表1。下同。

4种改良剂在降低土壤盐分含量方面的效果为:G₄>G₂>G₁>G₃,即腐殖酸在降低土壤盐分含量上效果最显著,经腐殖酸处理后0—5,5—20和20—40 cm土层盐分含量相对降低量分别为38.2%,24.5%和13.9%。禾康盐碱土壤改良剂与康地宝盐碱土壤改良剂在单施处理时,降低盐分含量的效果并不显著。而禾康盐碱土壤改良剂、康地宝盐碱土壤改良剂

和腐殖酸与石膏配施后,在降低盐分含量方面都比单施处理效果好,禾康盐碱土壤改良剂与康地宝盐碱土壤改良剂为高浓度的柠檬酸溶液,当石膏中Ca²⁺将土壤胶体吸附的Na⁺置换出来后,可以通过对钠离子吸附和络合作用而降低土壤盐分含量。其中,腐殖酸与石膏配施后,降低土壤盐分含量的效果最好,0—5,5—20和20—40 cm土层盐分含量分别降低了45.1%,38.9%和25.7%。盐渍土土体板结,养分贫瘠,加上盐碱因素,可能会抑制生物菌的活动,导致金满田生物菌剂无论单施还是与石膏配施,在降低盐渍土盐分方面,效果都不明显。

2.2 施用不同改良剂对土壤pH值的影响

由表3可以看出,CK处理后土壤的pH值较处理前在0—5,5—20,20—40 cm分别降低了0.04,0.08,0.07个单位,石膏处理(G₅B₂)后土壤的pH值较处理前在0—5,5—20,20—40 cm分别降低了0.05,0.09,0.08个单位,与CK相比无显著差异,G₁,G₂,G₃和G₄这4种改良剂与石膏配施较单独施用在降低土壤pH值上差异也不显著,原因可能是,一方面石膏水解显弱酸性,中和土壤碱性,降低pH值,另一方面,石膏和改良剂处理后土壤的盐分含量略有下降,土壤中HCO₃⁻的相对含量随盐分的降低而增加^[9],导致pH值升高;除G₃B₁处理外,G₁B₁,G₂B₁和G₄B₁处理后土壤pH值的降低量均较CK处理有显著差异,原因主要是禾康盐碱土壤改良剂、康地宝盐碱土壤改良剂均为高浓度的柠檬酸溶液,同腐殖酸一样,可通过酸碱中和作用使盐碱土pH值降低;4种改良剂在降低土壤pH值的效果上以腐殖酸最好,其次为康地宝盐碱土壤改良剂、禾康盐碱土壤改良剂、金满田生物菌剂。腐殖酸处理后土壤的pH值较处理前在0—5,5—20,20—40 cm分别降低了0.09,0.15,0.17个单位。

表 3 改良剂处理对土壤 pH 值的影响

项目	土层深度/cm	不同改良剂处理									
		CK	G ₁ B ₁	G ₁ B ₂	G ₂ B ₁	G ₂ B ₂	G ₃ B ₁	G ₃ B ₂	G ₄ B ₁	G ₄ B ₂	G ₅ B ₂
处理前	0—5	7.91	7.92	7.89	7.98	7.91	7.95	7.87	7.91	7.97	7.89
	5—20	8.08	8.07	8.09	8.14	8.13	8.07	8.06	8.11	8.09	8.05
	20—40	8.37	8.41	8.39	8.43	8.38	8.37	8.39	8.44	8.44	8.36
处理后	0—5	7.87	7.83	7.74	7.88	7.82	7.91	7.82	7.82	7.88	7.84
	5—20	8.00	7.95	7.98	7.97	7.97	7.98	7.94	7.96	7.95	7.96
	20—40	8.30	8.30	8.32	8.30	8.28	8.28	8.32	8.27	8.24	8.28
pH 值降低	0—5	0.04a	0.09b	0.15c	0.10b	0.09b	0.04a	0.05a	0.09b	0.09b	0.05a
	5—20	0.08a	0.12b	0.11b	0.17c	0.16c	0.09a	0.12b	0.15c	0.14c	0.09a
	20—40	0.07a	0.11b	0.07a	0.13b	0.10b	0.09a	0.07a	0.17c	0.20c	0.08a

2.3 不同改良剂处理对油菜生长的影响

由表 4 可以看出,施用 4 种改良剂后,油菜在苗期与成熟期的生物积累量与收获产量都比对照高,这表明土壤改良剂能为油菜的生长提供比较适宜的环境条件,主要是降低土壤含盐量,促进了作物的生长和产量的提高。4 种改良剂处理后,油菜的单株干重与 CK 相比均有显著差异。在油菜苗期, G₁B₁, G₂B₁, G₃B₁ 和 G₄B₁ 处理后油菜单株干重较 CK 分别增加了 23.0%, 42.3%, 22.8%, 34.5%, 石膏处理 (G₅B₂) 后油菜单株干重较 CK 增加了 22.2%, 所有处理组合中,以腐殖酸与石膏配施 (G₄B₂ 处理) 油菜的单株干重最大,为 6.8 g, 较 CK 增加了 51.7%; 在油菜成熟期, G₁B₁, G₂B₁, G₃B₁, G₄B₁ 处理后油菜单株干重较 CK 分别增加了 6.8%, 18.2%, 2.4%, 20.0%, 石膏处理 (G₅B₂) 后油菜单株干重较 CK 增加了 4.5%, 所有处理中也以腐殖酸与石膏配施 (G₄B₂ 处理) 油菜的单株干重最大,为 167.9 g, 较 CK 增加了 25.3%。

表 4 改良剂处理对油菜生物量及产量的影响

处理编号	苗期		成熟期		
	单株鲜重/g	单株干重/g	单株鲜重/g	单株干重/g	油菜产量/(kg·hm ⁻²)
G ₁ B ₁	53.3	5.5c	493.3	143.1c	3 198d
G ₁ B ₂	46.7	5.0d	506.4	155.6b	3 182d
G ₂ B ₁	62.8	6.4ab	534.4	158.3b	3 184d
G ₂ B ₂	62.2	6.2ab	501.4	143.9c	3 311c
G ₃ B ₁	49.5	5.5c	444.4	137.2cd	2 998de
G ₃ B ₂	55.6	5.8bc	479.2	141.9c	3 102de
G ₄ B ₁	58.1	6.0b	531.7	160.8ab	3 427b
G ₄ B ₂	66.9	6.8a	562.5	167.9a	3 513a
CK	42.3	4.5d	408.6	134.0d	2 962e
G ₅ B ₂	54.4	5.5c	456.9	140.0c	3 142d

从不同改良剂处理对油菜干物质积累量的结果可以看出,4 种改良剂以腐殖酸处理 (G₄B₁) 对油菜干

物质积累量提高最多,石膏处理 (G₅B₂) 也能显著提高油菜的干物质质量,以腐殖酸与石膏配施 (G₄B₂) 油菜的干物质积累量达到最大。这是因为腐殖酸是一类多环稠环有机化合物,可以通过吸附、交换和酸碱中和等作用使盐碱土盐分和 pH 值降低,交换性钠离子降低,从而改善土壤的理化性状,提高有机质的含量,达到增强土壤肥力和改良盐碱土土壤性质的目的。石膏是 CaSO₄ 和 CaSO₃ 的混合物,含有丰富的 S, Ca, Si 等植物必需和有益的矿质营养^[10-11], 能够有效地提高作物的生长发育^[12-13]。同时,石膏中所含高价离子的介入可降低土壤胶体表面由于负电荷相互排斥而产生的电位势,促进土壤胶体由于相互吸附而凝聚,有利于土壤团粒结构的形成,增加孔隙度,降低土壤容重,提高土壤持水性能,改善作物根系的生长环境,从而促进作物的生长发育^[14]。

4 种改良剂处理后,油菜的产量与 CK 相比都有提高。G₁B₁, G₂B₁, G₃B₁ 和 G₄B₁ 处理后油菜的收获产量与 CK 相比分别增加了 8.0%, 7.5%, 1.2% 和 15.7%, 除 G₃B₁ 处理外, G₁B₁, G₂B₁ 和 G₄B₁ 处理对油菜产量的提高均达到显著性水平,其中以 G₄B₁ 处理油菜增产效果最为显著,达 3 427 kg/hm²。石膏处理 (G₅B₂) 后油菜的产量为 3 142 kg/hm², 较 CK 增产 6.1%, 除禾康盐碱土改良剂与石膏配施 (G₁B₂) 油菜产量变化不显著外, G₂, G₃ 和 G₄ 与石膏配施均较单施显著提高了油菜的产量,其中以腐殖酸与石膏配施 (G₄B₂) 处理油菜的收获产量最高,达 3 513 kg/hm², 与 CK 相比增产了 18.6%。

从不同改良剂对油菜干物质积累量与产量的影响来看,4 种改良剂以腐殖酸改良效果最好,改良剂与石膏组合处理中以腐殖酸与石膏配施 (G₄B₂ 处理) 效果最好。

3 结论

(1) 土壤盐碱改良剂能降低土壤盐分含量,并提

高作物干物质积累量和产量。施用改良剂后,土壤盐分含量相对降低量与对照相比差异显著,且作物的产量也都高于对照。不同改良剂处理后土壤含盐量降低程度和作物增产效果不同,以腐殖酸处理降低土壤盐分含量和提高作物产量效果最好,其次是禾康盐碱土改良剂、康地宝盐碱土改良剂和金满田生物菌剂。

(2) 石膏处理能显著降低土壤盐分含量,提高作物干物质积累量和产量,与改良剂配施后能取得更好的效果,但是石膏在降低土壤 pH 值上效果不显著,因此,施用石膏改良滨海盐渍土时要防止土壤发生碱化。

(3) 腐殖酸与石膏配施是适宜于滨海盐渍土的最佳改良剂组合。腐殖酸与石膏配施处理后土壤盐分含量和 pH 值降低最多,作物干物质积累量和产量最高,所以在本研究区腐殖酸与石膏配施具有最佳的土壤改良利用效果,是适宜于研究区滨海盐渍土的最佳改良剂组合。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 张文渊. 江苏沿海地区盐渍土改良利用的治理措施[J]. 中国农业资源与区划,2000,21(5):43-45.
- [3] 孔明杰,曾繁森. 高聚物土壤改良剂的研究进展[J]. 土壤通报,2000,31(5):199-202.
- [4] 孙义祥,黄晓澜,张祥明,等. 土壤改良剂对辣椒营养元

- 素积累的影响[J]. 安徽农业科学,1999,27(2):148-149.
- [5] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京:中国林业出版社,1986:68-74.
- [6] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [7] 张凌云,赵庚星,徐嗣英,等. 滨海盐渍土适宜土壤盐碱改良剂的筛选研究[J]. 水土保持学报,2005,19(3):21-23.
- [8] Choudharya O P, Josana A S, Bajwaa M S, et al. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions[J]. Field Crops Research, 2004,87(2/3):103-116.
- [9] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [10] 田霄鸿,南雄雄,赵晓进,等. 施用硫磺和 ALA 对碱性盐土上作物生长发育及土壤性质的影响[J]. 生态环境,2008,17(6):2407-2412.
- [11] 徐胜光,李淑仪,蓝佩玲,等. 燃煤烟气脱硫副产物对花生作物营养效应及其机理[J]. 生态环境,2003,12(4):415-418.
- [12] 李茜,孙兆军,秦萍,等. 燃煤烟气脱硫废弃物和糠醛渣对盐碱土的改良效应[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(4):70-73.
- [13] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇. 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.
- [14] 王金满,杨培岭,张建国. 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.

(上接第 110 页)

- [5] Bhuvanesh Gupta, Nilesh Revagade, Jöns Hilbom. Poly(lactic acid) fiber: an overview[J]. Progress in Polymer Science, 2007,32(4):455-482.
- [6] 周丹丹. 生物可降解聚乳酸(PLA)材料在防沙治沙中的应用研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [7] 周丹丹,虞毅,胡生荣,等. 沙袋沙障凹曲面特性研究[J]. 水土保持通报,2009,29(4):22-25.
- [8] 袁立敏,高永,虞毅,等. PLA 沙障对土壤硬度的影响[J]. 中国水土保持科学,2010,8(4):90-94.
- [9] 韩春冬,高君亮,虞毅,等. PLA 沙障对毛乌素沙地新月形沙丘土壤水分的影响[J]. 内蒙古林业科技,2010,36(4):1-4.
- [10] 容敏智,卢珣,章明秋. 全植物纤维复合材料的生物降解性能研究[J]. 中国塑料,2006,20(8):64-68.
- [11] Yutaka Tokiwa, Buenaventurada P Calabia. Biodegradability and biodegradation of poly(lactide) [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2006,72(2):244-251.
- [12] Alauzet N, Garreau H, Bouché M, et al. Earthworms and the degradation of lactic acid-based stereocopolymers[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2002,10(1/2):53-58.
- [13] 余序芬,鲍燕萍,吴兆平,等. 纺织材料实验技术[M]. 北京:中国纺织出版社,2004:232-233.
- [14] Tomonori Ishigaki, Wataru Sugano, Michihiko IKE, et al. Effect of UV irradiation on enzymatic degradation of cellulose acetate[J]. Polymer Degradation and Stability, 2002,78(3):505-510.
- [15] 魏晓丽. 聚丙烯土工布纤维老化性能研究与测试[D]. 天津:天津工业大学,2003.
- [16] 张敏,崔春娜,宋洁,等. 聚乳酸降解的影响因素和降解机理的分析[J]. 包装工程,2008,29(8):16-18.
- [17] 邹俊,狄东华,周海骏,等. 聚-L-乳酸/超细 β -磷酸三钙复合材料的降解研究[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版,2006,20(5):76-80.
- [18] 王华林,盛敏刚,史钱钧,等. PLA 及 PLA 复合材料降解性能研究进展[J]. 高分子材料科学与工程,2004,20(6):20-23.