不同改良材料与水溶肥同施对盐碱土改良的影响

王明伟[1]，张西兴[2]，王子浩[2]，杜延全[2]

（1. 中化化肥有限公司 临沂农业研发中心，山东 临沂 276000；
2. 中化农业（临沂）研发中心有限公司，山东 临沂 276000）

［摘 要］为探讨不同改良材料与水溶肥同施对盐碱土改良的影响，设置对照单施水溶肥、水溶肥+聚丙烯酰胺（PAM）、水溶肥+混合材料（JY-A）和水溶肥+水解聚马来酸酐处理，对棉花收获时土壤性质和棉花生物量等指标的变化进行研究。结果表明，改良材料与水溶肥同施能够显著提高土壤的保水能力，促进大团聚体的形成，YJ-A和PAM效果最为明显，分别主要提高了＞1.00～2.00、＞5.00 mm级团聚体和＞0.50～1.00、＞2.00～5.00 mm级团聚体占比；JY-A与水溶肥滴灌能够最大限度地降低水溶性盐和水溶性钠含量，且提高了土壤有效磷含量。整体上，改良材料与水溶肥滴灌显著提高了棉花生物量，其中水溶肥+混合材料处理的生物量最高，农艺性状表现最优。

［关键词］盐碱土；改良材料；团聚体；水溶性盐；有效磷；棉花生物量
［中图分类号］S156.4 ［文献标志码］A ［文章编号］2097-4566（2025）01-0110-05

Effect of different improvement materials and co-application of water-soluble fertilizer on improvement of saline alkali soil

WANG Mingwei[1], ZHANG Xixing[2], WANG Zihao[2], DU Yanquan[2]

(1. *Linyi Agricultural R&D Center of Sinochem Fertilizer Co., Ltd., Linyi* 276000, *China*;
2. *Sinochem Agriculture (Linyi) R&D Center Co., Ltd., Linyi* 276000, *China*)

Abstract: To investigate the effects of different improvement materials and co-application of water-soluble fertilizers on the improvement of saline-alkali soil, the changes of soil properties and cotton biomass at harvesting time are studied by comparing the treatment of single water-soluble fertilizer, water-soluble fertilizer + polyacrylamide (PAM), water-soluble fertilizer +mixed material (JY-A) and water-soluble fertilizer+ hydrolyzed polymaleic anhydride. The results show that drip irrigation of improvement materials and water-soluble fertilizer can significantly improve the water retention capacity of soil and promote the formation of large aggregates, and the effects of JY-A and PAM are the most obvious, mainly increases ＞1.00-2.00, ＞5.00 mm aggregates and ＞0.50-1.00, ＞2.00-5.00 mm aggregates, respectively. JY-A and water-soluble fertilizer drip irrigation can reduce the total amount of water-soluble salt and water-soluble sodium, and increase the content of available phosphorus in soil. Overall, drip irrigation of improvement materials and water-soluble fertilizer significantly increases the biomass in the aboveground part, among which water-soluble fertilizer + mixed material treatment has the highest biomass and the best agronomic traits.

Key words: saline-alkali soil; improvement materials; aggregate; water-soluble salts; available phosphorus; cotton biomass

在干旱和半干旱地区，盐碱化是最常见的土地退化过程，如果土壤w(盐）在0.4%～3.0%，土壤结构性质和肥力将会变差[1]，最常见的是土壤中磷素的固定和不可利用性。盐碱过度累积会造成种子萌发、幼苗生长、根系生长、开花减少，造成产量损失[2-3]。因此，进行盐碱土壤改良及调控应对盐碱胁迫具有重要意义。研究发现，通过一些有机聚合物（如木质素磺酸盐、聚丙烯酰胺等）[4-7]可以改变土壤团聚结构[8-9]，调控土壤中的Na^+，降低土壤盐分和碱度，改善养分元素的吸收过程，提高植物抗性，促进农作物生长，提高农产品品质[10]。

聚丙烯酰胺（PAM）是一种高分子聚合物，其

［收稿日期］2023-12-25； ［修回日期］2024-12-12
［作者简介］王明伟(1988-)，男，山东临沂人，农艺师，主要从事土壤改良和农作物营养配方研究。
［基金项目］公司自筹项目“土壤健康技术物化”

结构单元中含有酰胺基，易形成氢键，有良好的水溶性，可与许多物质产生亲和、吸附、水解、降解交联等化学反应[11]，当水分子与亲水基团结合，会形成厚度为0.5～0.6 nm的2～3个水分子层，呈现显著的絮凝、团聚作用，抑制土壤水分的蒸发[12]；且通过分子结构中的氢键与土壤颗粒间形成吸附力，增加土壤水稳性团聚体数量，形成一定数量的胶体物质，增强土壤的抗蚀性能和保水保肥能力，达到促进农作物增产的目的[13]。水解聚马来酸酐（HPMA）是有机脂肪酸聚合物，一种酸性黏稠液体，易溶于水，毒性小，无致癌、致畸作用，能被微生物降解，且降解物对人畜及水生动物无害，常被用作水体除垢剂[14]，有研究表明，HPMA改良盐碱土壤的主要机制是活化土壤中的Ca^{2+}，取代土壤胶体表面多余的Na^{+}，这使得土壤通透性更强、体积质量下降，土壤从黏、重变成轻、松的土壤[15]，而且可以降低土壤pH和盐分，促进植物生长[16]。PAM和HPMA在特定用量的情况下，可以改善土壤和提高农作物的抗性，但关于它们在不同应用场景的研究仍然较少，如与水溶肥料滴灌、多种不同有机聚合物混合施用等。

本研究选取水溶性和安全性较好的3种有机聚合材料，聚丙烯酰胺、混合材料（多种聚合物混合，JY-A）和水解聚马来酸酐，在棉花播种期间与水溶肥一起滴入土壤中，对比它们对盐碱土壤性质的影响以及对棉花苗期的作用。

1　材料与方法

1.1　试验土样基本理化性质

试验土样采自新疆喀什地区疏勒县巴合齐村，基本理化性质见表1。

表1　试验土壤的基本理化性质

Table 1　Basic physical and chemical properties of the test soil

pH	w(有效磷)/（mg·kg^{-1}）	w(有机质)/（g·kg^{-1}）	w(碱解氮)/（mg·kg^{-1}）	w(盐分)/（g·kg^{-1}）	w(水溶性钠)/（mg·kg^{-1}）
8.34	21.4	26.8	79.8	2.4	245.6

1.2　试验设计

试验共设计4个处理，3次重复，各试验处理肥料及聚合物种类、用量如表2所示。试验时间为2022年11月9日至2023年1月9日，试验农作物为棉花（品种为新陆77号），棉花现蕾前收获；试验地点为中化化肥有限公司临沂农业研发中心科研温室。

操作过程：将采集的土壤自然风干，过孔径2 mm筛，每盆装土大约10 kg，装土高度20 cm。每盆播种3颗棉花种子，出苗后间苗留1株。借鉴新疆干土播种方式，将无机水溶肥与不同改良材料进行模拟滴灌，冲水量按照干土质量的18%计算，试验过程中通过称量法进行补水。播种施肥后进行覆膜处理，每次浇水间隔15 d左右，其他培养条件一致。

表2　各处理肥料及聚合物用量

Table 2　Fertilizer and polymer application amounts for each treatment

处理	试验肥料及用量		聚合物种类及用量	
	肥料	每次用量/（kg·hm^{-2}）	种类	每次用量/（kg·hm^{-2}）
CK	无机水溶肥（8-30-22）	15		
T1	无机水溶肥（8-30-22）	15	聚丙烯酰胺（PAM）	1.5
T2	无机水溶肥（8-30-22）	15	混合材料（YJ-A）	1.5
T3	无机水溶肥（8-30-22）	15	水解聚马来酸酐（HPMA）	1.5

注：①改良材料为市场易于获取的产品；②干土播种后进行模拟滴灌，试验周期内共进行4次滴灌，前两次按照水溶肥（15 kg/hm^2）+聚合物（1.5 kg/hm^2）的用量滴灌，后两次只进行水肥滴灌，用量15 kg/hm^2。

1.3　指标分析

1.3.1　棉花生长指标测定

收获期测定株高、茎粗、生物量。

1.3.2　土壤理化性质测定

去除表层1 cm土壤，采用土钻法，在盆钵中间采取土样，取样深度0～15 cm，混匀，分两部分。一部分用于土壤团聚体测定，风干过程中注意按照自然裂缝将大颗粒掰开，使之完全过8 mm筛，采用湿筛法进行土壤团聚体分组测定，操作如下：称取100 g风干土样置于土筛中，于25 ℃水中浸泡5 min，并调整水位至土筛上移最高位时团聚体的高度；开启团聚体筛分仪（XY-100），在2 min内上下摆动50次，摆幅为3 cm。使土样依次过孔径为5.00、2.00、1.00、0.50、0.25 mm的筛子，分别获得＞5.00、＞2.00～5.00、＞1.00～2.00、＞0.50～1.00、＞0.25～0.50 mm水稳性大团聚体。各粒级团聚体于60 ℃烘干，称量。

另一部分自然风干，磨碎过孔径2 mm筛后进行相关指标测定。土壤水含量采用105 ℃烘干法测定；土壤pH采用电位法测定；土壤碱解氮采用碱解扩散法测定；土壤水溶性盐采用残渣法测定；土壤水溶性钠采用电感耦合等离子发射光谱法

（ICP-AES）测定；土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提法测定。所有测定方法参照《土壤农业化学分析法》[17]。

1.4 数据处理

数据分析采用 Microsoft Excel 2020 和 DPS9.0 进行。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同处理对收获期土壤水含量的影响

随着棉花的生长，间隔15 d进行一次灌溉，不同处理对收获期土壤水含量的影响见图1。由图1可知，不同处理下，收获期土壤水含量具有明显差异。与CK相比，T1、T2、T3处理能够显著提高土壤的水含量，其中T2处理水含量最高，较对照增加39.0%，且显著高于T3处理，相对增加量达到9.4%。

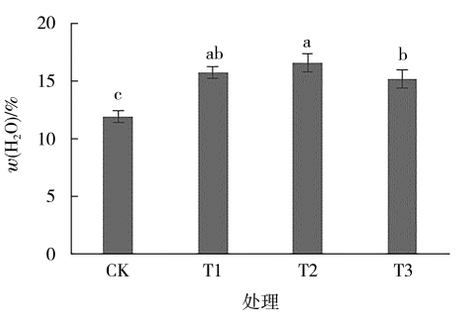


图1　不同处理下收获期土壤水含量

Fig. 1　Soil moisture content at harvest under different treatments

2.2 不同处理对土壤水稳性团聚体分级的影响

不同处理下土壤水稳性团聚体分级见图2。由图2可知，与对照比较，聚合物处理均可显著提高土壤中粒径＞0.25 mm团聚体占比，提高幅度分别为26.36%、23.22%、12.24%，其中T1表现最佳，显著高于T3处理，与T2处理无明显差异。从不同分级观察，与CK相比，T1、T2能够显著提高土壤中粒径＞0.50～1.00、＞1.00～2.00、＞2.00～5.00、＞5.00 mm团聚体的占比，提高幅度分别为44.53%～66.40%、30.98%～39.68%、28.98%～48.86%和15.35%～17.10%，而T3处理粒径＞0.50～5.00 mm团聚体占比显著增加，粒径＞0.25～0.50 mm团聚体占比显著降低。综合看T1处理＞0.50～1.00、＞2.00～5.00 mm团聚体占比最高，T2处理粒径＞1.00～2.00、＞5.00 mm团聚体占比最高。

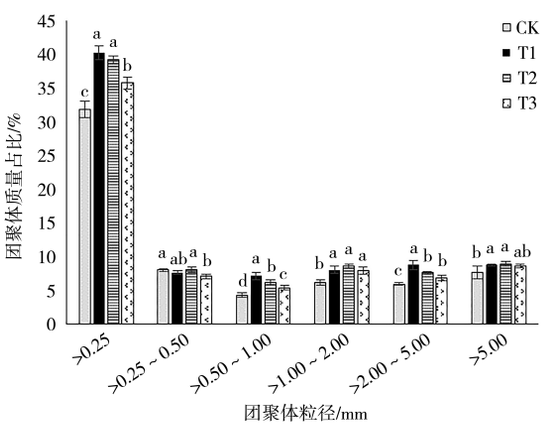


图2　不同处理下土壤水稳性团聚体分级

Fig. 2　Classification of soil water stable aggregates under different treatments

2.3 不同处理对盐碱土pH、盐含量及主要养分指标的影响

不同处理下土壤pH、盐含量、有机质、碱解氮、有效磷变化见表3。由表3可知，与CK相比，聚合物处理具有降低土壤pH的趋势，其中T2、T3处理pH显著降低了0.11～0.24；水溶性盐总量和水溶性钠也有明显地减少，降低幅度分别为0.50～0.62 g/kg和17～39 mg/kg，其中T2处理土壤降盐幅度最高。同时发现T2处理土壤有效磷含量最高，较对照提高了33.33%。聚合物处理碱解氮含量降低，但差异不显著。

表3　不同处理下土壤pH、盐含量、有机质含量、碱解氮含量、有效磷含量

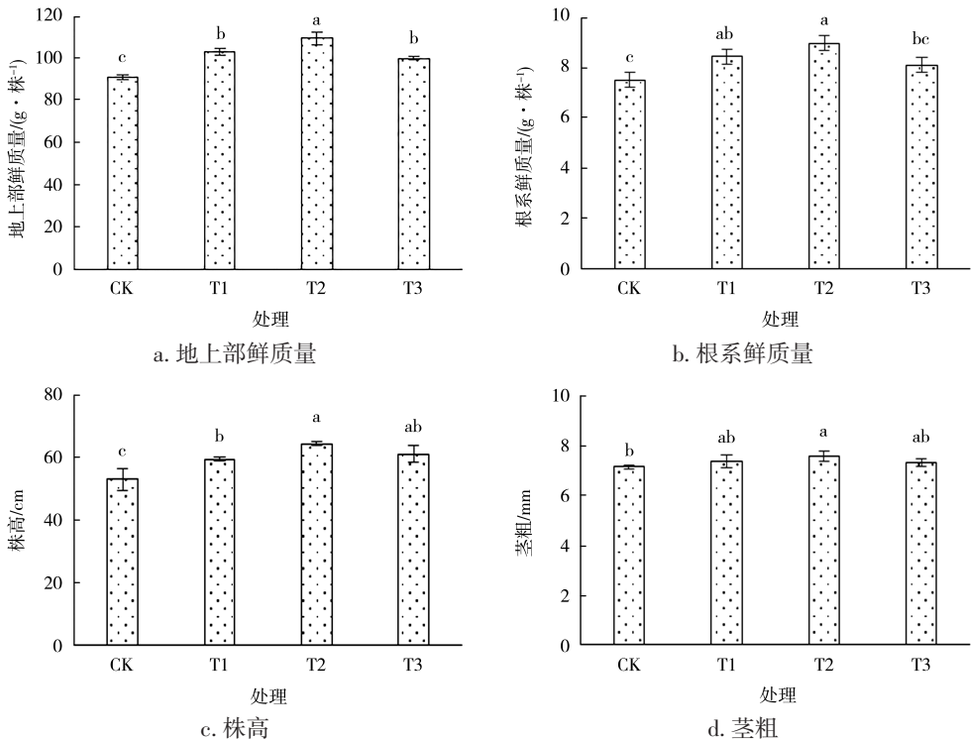
Table 3　Soil pH, salt content, organic matter content, alkaline hydrolyzed nitrogen content and available phosphorus content under different treatment conditions

处理	pH（土水质量比为1.0:2.5）	w（水溶性盐）/（g·kg⁻¹）	w（水溶性钠）/（mg·kg⁻¹）	w（有机质）/（g·kg⁻¹）	w（碱解氮）/（mg·kg⁻¹）	w（有效磷）/（mg·kg⁻¹）
CK	8.32 ± 0.06a	2.54 ± 0.09a	228.6 ± 5.6a	26.1 ± 0.8a	100.5 ± 4.4a	23.2 ± 2.4c
T1	8.27 ± 0.06ab	1.97 ± 0.22b	211.8 ± 15.1b	26.3 ± 0.6a	96.3 ± 5.3a	26.1 ± 2.2bc
T2	8.21 ± 0.04b	1.92 ± 0.13b	189.6 ± 3.5c	26.5 ± 0.4a	94.7 ± 6.1a	30.8 ± 2.1a
T3	8.08 ± 0.05c	2.04 ± 0.03b	198.8 ± 6.1bc	27.0 ± 0.5a	97.6 ± 5.2a	27.9 ± 1.7ab

2.4 不同处理对棉花生物量和农艺性状的影响

不同处理下棉花的生物量、株高、茎粗见图3。由图3可知，与CK相比，T1、T2处理能够显著提高地上部鲜质量和根系鲜质量，增加幅度分别为13.41%～20.31%和12.16%～19.41%，且T2处理两者最大，显著高于T3处理，而T3处理对根系的促

进作用不明显。对株高、茎粗的统计发现，与CK相比，不同处理可以显著提高棉花的株高，提高幅度为12.22%～21.63%，但只有T2处理显著促进了植株的茎粗增加，增加幅度为6.10%。



a. 地上部鲜质量　b. 根系鲜质量

c. 株高　d. 茎粗

图3　不同处理下棉花的生物量、株高、茎粗

Fig. 3　Biomass, plant height and stem diameter of cotton under different treatments

3　讨论

3.1　不同处理对土壤性质的影响

相比直接施肥，改良材料有利于土壤团聚体的形成，PAM、JY-A处理能够显著增加＞0.25 mm大团聚体的数量。研究表明，PAM是一种具有絮凝作用的聚合物，可以促进大团聚体的形成，而JY-A在这方面也具有相似的作用。本试验中发现不同改良材料对不同粒径团聚体的影响不同，PAM促进了＞0.50～1.00 mm、＞2.00～5.00 mm团聚体的增加，JY-A提高了＞1.00～2.00 mm、＞5.00 mm团聚体含量。这些团聚结构的变化，会直接影响根系的生长及水分的运移，PAM、JY-A处理在经过一定时间干旱后，土壤水含量绝对值较对照增加了3.83%～4.67%，这有助于提升棉花的抗旱性。

改良材料对盐碱土的改良，一方面是自身的官能团能够吸附或者置换盐基离子，从而直接降低土壤耕层盐离子浓度，在滴灌作用下，盐基离子会随着滴灌运移到地下土壤。而土壤大团聚体结构的改善，有利于非毛细管孔隙形成，可以缓解土壤返盐现象[18]。本研究中，PAM、JY-A、HPMA都有降低土壤水溶性盐含量的能力，但由于物质组成、结构和进入土壤后的复杂变化不同，它们对盐碱的改良具有较大的差异，整体看JY-A在改变耕层盐度方面效果最佳，HPMA具有更高的改善土壤pH的能力。

随水灌溉的聚合物在亲水官能团的作用下，会引起土壤离子强度和pH的变化，尤其对钠离子、钾离子、钙镁的吸附变化，同时与土壤养分相互作用下，其对养分的吸附效能可达到养分缓释的效果[19-20]，本研究中土壤有效磷的提高可能也与此有关，但相对于PAM，JY-A有更好的表现，可能是由于JY-A是多种聚合物的结合体，拥有多样性的活性官能团结构。

3.2　不同改良材料对棉花生长的影响

将改良材料与水溶肥一起通过滴灌的方式进行追肥，能够显著提高棉花的生物量，PAM、JY-A两种改良材料对棉花根系的生长促进作用也比较明显，这主要与它们对土壤团聚结构的改善、盐度的降低、有效磷含量提升有关，且JY-A在促进地上部生物量方面优势较为明显；考虑到HPMA降低pH方面的作用，未来两种或多种聚合物结合应用可能会有更好的应用效果。同时结合水肥滴灌技

术，接近实际种植，具有重要的生产指导意义。

4 结论

（1）改良材料施用显著提高了棉花地上部生物量，尤其JY-A对大团聚体的提升，能够有效促进根系生长和对养分的吸收，提高农艺性状。

（2）改良材料与水溶肥同施，提高了洗盐降盐的潜力，利于0～15 cm土层水溶性盐降低，以及有效磷提升，有助于棉花生长。

（3）改良材料与水溶肥同施，具有实际的可操作性，下一步将结合大田试验进一步观察JY-A如何影响盐基离子运移，以及磷素如何提升等问题。

［参考文献］

［1］ GUAN Y X, LIU G H, WANG J F. Saline-alkali land in the Yellow River Delta: amelioration zonation based on GIS［J］. Journal of Geographical Sciences, 2001,11(3):313-320.

［2］ 鲁晓宇,郭家鑫,陶一凡,等.不同盐碱胁迫对棉花营养元素吸收转运以及代谢的影响［J］.中国生态农业学报(中英文),2023,31(3):438-451.
LU X Y, GUO J X, TAO Y F, et al. Effects of different salt and alkali stress on absorption, transportation, and metabolism of nutrient elements in cotton［J］. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023,31(3):438-451.

［3］ 郭家鑫,鲁晓宇,陶一凡,等.棉花在盐碱胁迫下代谢产物及通路的分析［J］.作物学报,2022,48(8):2100-2114.
GUO J X, LU X Y, TAO Y F, et al. Analysis of metabolites and pathways in cotton under salt and alkali stresses［J］. Acta Agronomica Sinica, 2022,48(8):2100-2114.

［4］ AN M J,WANG X L,CHANG D D, et al. Application of compound material alleviates saline and alkaline stress in cotton leaves through regulation of the transcriptome［J］. BMC Plant Biology, 2020,20(1):462.

［5］ 张文新,张文超,王淑娟,等.脱硫石膏对碱化土壤胶体絮凝的影响［J］.土壤,2021,53(3):555-562.
ZHANG W X, ZHANG W C, WANG S J, et al. Effect of Flue Gas Desulphurization Gypsum on Colloidal Flocculation in Sodic Soil［J］. Soils, 2021,53(3):555-562.

［6］ 刘东发,张豫川,高旭龙,等.木质素磺酸钙改良黄土的结构性机理［J］.兰州大学学报(自然科学版),2023,59(4):468-475.
LIU D F, ZHANG Y C, GAO X L, et al. The structural mechanism of calcium lignosulfonate loess［J］. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences),2023,59(4):468-475.

［7］ ZHAN B H,ZAI J S,ZHAO H L,et al. Effects of Soil Amendments on Coastal Saline-Alkali Soil Improvement and the Growth of Plants［J］. Advanced Materials Research, 2013,2203(634-638):152-159.

［8］ ALBALASMEH A A, HAMDAN E H, GHARAIBEH M A, et al. Improving aggregate stability and hydraulic properties of sandy loam soil by applying polyacrylamide polymer［J］. Soil & Tillage Research, 2021,206:104821.

［9］ 严建立,章明奎,王道泽.不同调理剂改良低丘新垦耕地土壤物理性状的效果［J］.中国农学通报,2021,37(2):67-73.
YAN J L, ZHANG M K, WANG D Z. Different Amendments: Effect on Soil Physical Properties of Newly Reclaimed Land in Low Hilly Region［J］. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(2):67-73.

［10］ GONG X Q, SHI S T, DOU F F, et al. Exogenous melatonin alleviates alkaline stress in malus hupehensisrehd by regulating the biosynthesis of polyamines［J］. Molecules, 2017,22(9):1542.

［11］ 张海欧.浅谈不同材料在盐渍化土壤改良中的应用［J］.农学学报,2019,9(12):39-42.
ZHANG H O. Application of Different Materials in the Saline-alkali Soil Improvement［J］. Journal of Agriculture, 2019, 9(12):39-42.

［12］ 员学锋,汪有科,吴普特,等.PAM对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析［J］.水土保持学报,2005(2):37-40.
YUAN X F, WANG Y K, WU P T, et al. Effects and Mechanism of PAM on Soil Physical Characteristics［J］. Journal of Soil and Water Conservation, 2005(2):37-40.

［13］ 孙波,吕春娟.聚丙烯酰胺在土壤改良中的应用［J］.水土保持应用技术,2020(6):23-26.
SUN B, LYU C J. Application of Polyacrylamide in Soil Improvement［J］. Technology of Soil and Water Conservation, 2020(6):23-26.

［14］ 李艳红,王文杰,贺海升,等.水解聚马来酸酐对森林暗棕壤和草地退化盐碱地土壤胶体表面结构与组成的影响［J］.土壤,2015,47(6):1181-1191.
LI Y H, WANG W J, HE H S, et al. HPMA Effects on Surface Structures and Colloids Composition of Dark-brown Forest Soils and Degraded Saline-alkali Grassland［J］. Soils, 2015,47(6):1181-1191.

［15］ 王文杰,贺海升,祖元刚,等.施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响［J］.生态学报,2009,29(5):2272-2278.
WANG W J, HE H S, ZU Y G, et al. Dynamics of soil alkali-salinity and growth of poplar saplings after krilium-addition in heavy soda saline-alkali soil in field［J］. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(5):2272-2278.

［16］ 廖欢,侯振安.盐碱胁迫对不同棉花品种生长及离子组含量分布的影响［J］.新疆农业科学,2020,57(2):219-232.
LIAO H, HOU Z A. Effects of saline alkali stress on the growth and ionic content distribution of different cotton varieties［J］. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020,57(2):219-232.

［17］ 鲁如坤.土壤农业化学分析方法［M］.北京:中国农业科技出版社,2000.

［18］ 张曼玉,杨海昌,张凤华,等.秸秆还田方式对盐碱土壤微观结构和理化性质的影响［J］.节水灌溉,2022(5):65-70.
ZHANG M Y, YANG H C, ZHANG F H, et al. Effects of different straw returning methods on changes of soil structure in saline-alkali soil［J］. Water Saving Irrigation, 2022(5):65-70.

［19］ HE X S, LIAO Z W, HUANG P Z, et al. Characteristics and performance of novel water-absorbent slow release nitrogen fertilizers［J］. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(3):338-346.

［20］ LI H, SUI L, NIU Y. Preparation and properties of a double-coated slow-release urea fertilizer with poly(propylene carbonate), a sodium polyacrylate hydroscopicity resin and sodium, alginate［J］. Chemistry Select, 2018,3(26):7643-7647.