

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.01.015

郭新送, 苏秀荣, 范仲卿, 等. 盐分胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花幼苗生长和抗氧化系统的影响. 土壤, 2021, 53(1): 112–117.

盐分胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花幼苗生长和抗氧化系统的影响^①

郭新送^{1,2}, 苏秀荣^{1,3*}, 范仲卿^{1,2}, 于晓东^{1,2}, 宋 挚^{1,2}, 朱福军^{1,2}, 丁方军^{1,2,3}

(1 农业部腐植酸类肥料重点实验室, 山东泰安 271000; 2 山东省腐植酸高效利用示范工程技术研究中心, 山东农大肥业科技有限公司, 山东泰安 271000; 3 山东农业大学化学学院, 山东泰安 271000)

摘 要: 为探究盐分胁迫下, 控释尿素配施腐植酸对棉花幼苗生长特性和植株体内抗氧化系统的影响, 以滨海盐化潮土(全盐含量 4.5 g/kg)为供试土壤, 设置普通尿素、控释尿素、普通尿素+腐植酸、控释尿素+腐植酸 4 个施肥处理, 以不施氮肥处理为对照进行棉花盆栽试验, 测定棉花植株生物产量、叶片叶绿素含量、叶片及根系抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性和过氧化物质(MDA、O₂⁻)含量。结果表明: 盐分胁迫下, 控释尿素+腐植酸配施处理有利于促进棉花幼苗期生物量的累积, 较其他处理地上部鲜、干物质质量分别提高 13.46%~69.46% 和 12.64%~82.23%, 差异显著($P<0.05$); 控释尿素+腐植酸配施处理植株叶片叶绿素 a 含量提高 11.84%, 显著高于控释尿素处理; 较普通尿素和控释尿素处理, 其配施腐植酸的处理棉花叶片和根系 SOD 活性提高了 3.41%~42.84%, POD 活性提高了 4.37%~37.87%, CAT 活性提高了 5.53%~64.61%, 其中控释尿素+腐植酸配施处理的 SOD、POD 以及 CAT 活性显著高于未施用腐植酸处理。可见, 盐分胁迫下, 控释尿素与腐植酸配施提高棉花的抗盐能力, 其主要通过提高棉花叶片叶绿素含量及叶片和根系的抗氧化酶活性, 来提高植株对盐分的耐受能力。

关键词: 盐分胁迫; 控释尿素; 腐植酸; 叶绿素; 抗氧化酶; 过氧化物质

中图分类号: S143.1+5; S156.4+2 **文献标志码:** A

Effects of Combined Application of Controlled-release Urea and Humic Acid on Growth and Antioxidant System of Cotton Seedlings Under Salt Stress

GUO Xinsong^{1,2}, SU Xiurong^{1,3*}, FAN Zhongqing^{1,2}, YU Xiaodong^{1,2}, SONG Zhi^{1,2}, ZHU Fujun^{1,2}, DING Fangjun^{1,2,3}

(1 Key Laboratory of Humic Acid Fertilizer, Ministry of Agriculture, Taian, Shandong 271000, China; 2 Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Efficient Utilization of Humic Acid, Shandong Agricultural University Fertilizer Science Tech. Co. Ltd., Taian, Shandong 271000, China; 3 College of Chemistry, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: In order to explore the effects of combined application controlled-release urea and humic acid on the growth and the antioxidant system of cotton seedlings under salt stress. A pot experiment was conducted with coastal saline soil (4.5 g/kg of total salt) under five treatments, including no nitrogen fertilizer (CK), common urea (U), controlled-release urea (CRU), common urea + humic acid (U+HA) and controlled-release urea + humic acid treatments (CRU+HA). Cotton biomass, chlorophyll content, antioxidant enzymes (SOD, POD, CAT) activity and peroxide (MDA, O₂⁻) content in cotton leaves and roots were measured. The results showed that under salt stress, compared with the other treatments, CRU+HA treatment promoted the biomass of cotton seedlings, among of which, the above ground fresh and dry weights increased significantly by 13.46%–69.46% and 12.64%–82.23%, respectively ($P<0.05$). Chlorophyll a content in cotton leaves increased by 11.84% under CRU+HA treatment, significantly higher than the CRU treatment. Compared with U and CRU treatments, U+HA and CRU+HA treatments promoted the activities of antioxidant enzymes in cotton leaves and roots, among of which, SOD, POD and CAT activities increased by 3.41%–42.84%, 4.37%–37.87% and 5.53%–64.61%, respectively. The activities of SOD, POD and CAT of CRU+HA treatment were significantly higher than those of the other treatments. In conclusion, under salt stress, CRU+HA improved the salt tolerance

①基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0200706)资助。

* 通讯作者(xrsu@sdau.edu.cn)

作者简介: 郭新送(1987—), 男, 山东新泰人, 硕士, 工程师, 主要从事土壤生态学方面研究。E-mail: guoxinsong1028@163.com

of cotton, mainly by increasing the chlorophyll content and antioxidant enzyme activity of leaves and roots.

Key words: Salt stress; Controlled-release urea; Humic acid; Chlorophyll; Antioxidant enzyme; Peroxidation substance

盐渍土是我国重要的后备耕地资源,其具有分布范围广、占地面积大、利用困难等特点,大多数为中低产田^[1]。以可溶性盐计,滨海盐渍化土种植粮食作物的土壤全盐含量超过 2 g/kg, 种植棉花的土壤全盐含量多数超过 4 g/kg, 达到中度盐渍化及以上水平。滨海盐渍化土壤盐分含量高、养分含量低,淡水缺乏,导致棉花种植存在成苗难、缺苗断垄严重、产量低等问题^[2]。通过一些措施调控,促进棉花幼苗生长,增强棉花抗盐碱能力,进而提高棉花产量,对于滨海盐碱地棉花种植具有重要意义。

施用氮肥可提高棉花对盐分的耐受性^[3]。氮肥的来源有多种,常用的为尿素,而在盐碱地上施用尿素在一定程度上加剧了盐害。李成亮等^[4]研究指出,包膜控释氮肥提高了植株上部叶片的叶绿素含量和实际光合效率,控释氮肥处理的棉花株高、茎粗、叶面积也均显著提高。另外,在盐胁迫下,施用腐植酸可促进作物对营养元素的吸收,尤其对种子萌芽、幼苗以及根系生长具有积极作用,从而促进作物生长^[5-7]。García^[8]及 Muscolo 等^[9]的研究表明,盐分胁迫下,

腐植酸提高了超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性,加强了对氧自由基的清除,从而增强了幼苗的抗盐碱能力。

盐渍土上应用控释尿素种植棉花的相关研究以及腐植酸提高棉花抗逆性的报道较为常见,但控释尿素和腐植酸配施在盐渍土上对棉花生长和抗氧化系统影响的系统研究却少见报道。本研究以滨海中度盐渍化土为供试土壤,采用盆栽试验,模拟盐分胁迫下的棉花栽培种植,研究尿素、控释尿素及其与腐植酸配施对棉花生长特性及植株抗氧化酶活性的影响,探索不同调控措施下棉花的抗盐机理,以期为中度盐渍化土的棉花高效栽培提供技术支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 供试土壤

供试土壤为滨海中度盐渍化潮土,采自滨州沾化县“渤海粮仓”示范区(地理坐标为 117°45'~118°21'E, 37°34'~38°11'N,)10~40 cm 土层,土壤基本化学性状如表 1 所示。

表 1 试验土壤化学性状
Table 1 Chemical properties of tested soil

土层(cm)	全氮(g/kg)	有机质(g/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH	电导率(μS/cm)	全盐(g/kg)
10~20	0.589	15.83	19.26	201.11	7.81	1 098.33	4.41
20~40	0.414	8.25	3.64	148.72	8.27	1 287.33	4.79

1.2 供试作物

选用转 *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) 基因抗虫棉 (*Gossypium hirsutum*) K638 为供试作物。

1.3 供试肥料

供试氮肥为普通大颗粒尿素(含 N 量 460 g/kg)和控释尿素(含 N 量 440 g/kg, 24 h 释放率≤5%, 28 d 释放率≤50%, 控释期为 2 个月), 磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 量 160 g/kg), 钾肥为硫酸钾(含 K₂O 量 500 g/kg)。

腐植酸为风化煤原料制备,采自新疆奇台,腐植酸总量为 760 g/kg, E4/E6 为 4.6, 游离腐植酸占总酸 36.8%, 含水量 178~195 g/kg, 可溶性腐植酸(水浸提, 干基)1.5%, 成矿年代约 3 000 万年。活化的腐植酸制备:酸化反应,风化煤原料与水按照 1:5(m/m)称取置于液化反应釜中,加入 5% 水量的 20% H₂O₂ 溶剂,调节反应釜转速为 180~240 r/min,温度为

60℃, 恒温加热 60 min 反应制得。

以上原料均由山东农大肥业科技有限公司提供。

1.4 试验设计

试验地点设于山东农大肥业科技有限公司温室大棚,设置不施氮对照(CK)、普通尿素处理(U)、控释尿素处理(CRU)、普通尿素+腐植酸处理(U+HA)、控释尿素+腐植酸处理(CRU+HA),共 5 个处理,各处理的物料施用量见表 2。每盆装土 12 kg,底部用纱网覆盖出水口,并均匀铺满 1 kg 的细沙,所需施用的肥料、腐植酸与土壤混匀装盆。裸露的肥料颗粒应按入土壤中,每个处理重复 9 次,共 45 盆。各试验处理随机分布,每盆播种 6~10 粒棉花种子,种子埋于土表下 8~10 cm,定量浇水覆膜,待出苗长至两片真叶后,去膜间苗定植,每盆留 3 棵幼苗供采样检测。定植后管理措施一致,直至收获,取样时为破坏性取样。

表 2 试验处理
Table 2 Experimental treatments

处理代号	处理	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O(kg/hm ²)	尿素(g/盆)	控释尿素(g/盆)	过磷酸钙(g/盆)	硫酸钾(g/盆)	腐植酸用量(kg/hm ²)
CK	不施氮对照	180-90-135	-	-	2 531.5	607.5	0
U	普通尿素	180-90-135	562.5	-	2 531.5	607.5	0
CRU	控释尿素	180-90-135	-	616.1	2 531.5	607.5	0
U+HA	普通尿素+腐植酸	180-90-135	562.5	-	2 531.5	607.5	600
CRU+HA	控释尿素+腐植酸	180-90-135	-	616.1	2 531.5	607.5	600

1.5 测定项目及数据处理

分别于棉花出苗后 30、40、50 d 收获植株，并将植株地上部和地下部分开。根系用 5 mol/L CaCl₂ 冲洗，再用蒸馏水冲净，计量鲜物质量；然后于鼓风烘箱中 105℃ 下杀青 30 min，80℃ 烘干至恒重，测量干物质量，之后保存于纸质自封袋中以备其他指标测定。

叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪于上午 10 点，测定植株叶片倒 3 叶，避开叶脉的中心部位，按 SPAD 数值表征；叶绿素 a 及 b、类胡萝卜素采用分光光度法测定，测定波长分别为 665、649 和 470 nm，前处理为将叶片用 95% 的乙醇研磨，25 ml 定容遮光保存^[10]；超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性测定参照《植物生理生化实验原理和技术》^[11]，分别为氮蓝四唑(NBT)法、愈创木酚法；过氧化氢酶(CAT)活性测定参照《植物生理学实验指导》^[12]，为紫外吸收法；丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法^[13]；超氧阴离子(O₂⁻)产生速率测定采用羟氨氧化法^[14]。

试验数据处理、制图采用 Excel 2003 软件，统计分析采用 SPSS 22.0 软件，差异显著性检验($P < 0.05$)采用最小显著极差法(LSD)。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花幼苗生长的影响

盐胁迫下，不同处理的棉花幼苗长势差异显著(表 2)。棉花出苗后 50 d 内普通尿素与控释尿素处理的棉花株高、茎粗无显著差异，但均显著高于对照处理。普通尿素与控释尿素配施腐植酸处理的棉花株高、茎粗均显著高于未施腐植酸处理，其中控释尿素配施腐植酸处理的棉花株高、茎粗较其他处理分别提高了 1.33%~15.69% 和 1.63%~26.98%。在棉花出苗后 50 d 内，未配施腐植酸情况下，控释尿素处理的棉花叶片 SPAD 值显著高于普通尿素处理；配施腐植酸情况下，普通尿素与控释尿素处理对棉花 SPAD 值的影响差异不显著，而施用腐植酸处理的棉花叶片 SPAD 值显著高于未施用腐植酸处理。

表 3 不同处理棉花幼苗株高、茎粗和叶片 SPAD
Table 3 Plant heights, stem diameters and leaf's SPADs of cotton seedlings under different treatments

处理	出苗后 30 d			出苗后 40 d			出苗后 50 d		
	株高(cm)	SPAD	茎粗(mm)	株高(cm)	SPAD	茎粗(mm)	株高 (cm)	SPAD	茎粗(mm)
CK	19.0±0.7 c	38.0±0.3 d	2.4±0.1 b	23.0±0.2 c	37.2±1.1 d	2.6±0.2 b	26.4±1.0 c	42.5±0.8 d	3.4±0.3 c
U	21.0±0.5 b	40.3±0.1 c	2.4±0.3 b	24.3±1.2 b	40.3±0.5 c	2.8±0.3 b	28.4±0.7 b	45.7±1.0 c	3.8±0.4 b
CRU	21.4±0.3 b	40.9±0.7 b	2.4±0.7 b	24.6±0.5 b	41.3±0.5 b	3.0±0.4 a	28.8±0.9 b	47.6±0.6 b	3.8±0.5 b
U+HA	22.9±1.0 a	42.4±1.3 a	2.5±0.5 a	25.2±1.7 ab	43.0±1.4 a	3.0±0.6 a	30.1±1.6 a	49.6±1.9 a	4.1±0.7 ab
CRU+HA	23.4±0.9 a	43.2±0.8 a	2.5±0.7 a	25.7±1.3 a	44.1±0.8 a	3.1±0.5 a	30.5±1.3 a	50.7±1.5 a	4.3±0.1 a

注：表中同列不同小写字母表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平，下同。

2.2 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花幼苗生物量的影响

棉花出苗后 50 d，测得植株生物量如表 4 所示。与普通尿素处理相比，控释尿素处理的地上部鲜、干物质量分别提高了 13.57%~43.81% 和 12.65%~39.48%，差异显著，地下部鲜、干物质

量未达差异显著性水平。与未施用腐植酸处理相比，普通尿素与控释尿素配施腐植酸处理的地上部鲜、干物质量和地下部鲜、干物质量分别提高了 17.85%~49.37% 和 17.58%~61.77%，达到差异显著性水平。表明盐分胁迫下，腐植酸促进棉花幼苗生长，表现为地下部和地上部生物量增加，

表 4 不同处理棉花幼苗生物量(g/盆)
Table 4 Biomass of cotton seedlings under different treatments

处理	鲜物质量		干物质量	
	地上部	地下部	地上部	地下部
CK	27.92 ± 0.91 e	3.51 ± 0.12 c	8.33 ± 0.17 e	0.70 ± 0.03 c
U	39.74 ± 0.47 d	4.23 ± 0.11 b	10.41 ± 0.21 d	0.91 ± 0.02 b
CRU	57.15 ± 1.53 c	4.32 ± 0.19 b	14.52 ± 0.37 c	0.95 ± 0.03 b
U+HA	59.36 ± 1.01 b	5.15 ± 0.13 a	16.84 ± 0.55 b	1.07 ± 0.03 a
CRU+HA	67.35 ± 1.16 a	5.54 ± 0.15 a	16.97 ± 0.43 a	1.05 ± 0.04 a

为棉花后期生殖生长提供保障，控释尿素与腐植酸配施效果更明显。

2.3 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花叶片光合色素的影响

棉花出苗后 50 d, 取样测定棉花叶片光合色素含量, 结果(表 5)显示, 盐胁迫下施用普通尿素和控释尿素处理间的棉花叶片叶绿素 a、叶绿素 b 以及类胡

萝卜素含量差异不显著。与未施用腐植酸处理相比, 普通尿素和控释尿素配施腐植酸处理的叶绿素 a 含量分别提高 5.37% 和 11.84%, 其中控释尿素配施腐植酸处理与控释尿素处理之间差异显著; 普通尿素和控释尿素配施腐植酸处理的叶绿素 b 含量分别提高 8.16% 和 12.13%, 但与未施用腐植酸处理的差异不显著。

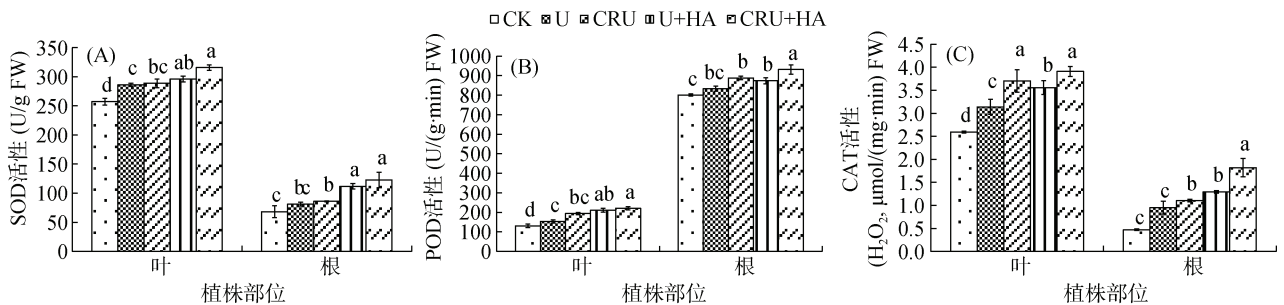
表 5 不同处理棉花叶片光合色素含量
Table 5 Photosynthetic pigment contents in cotton leaves under different treatments

处理	叶绿素 a(mg/g)	叶绿素 b(mg/g)	类胡萝卜素(mg/g)	叶绿素 a/b
CK	1.25 ± 0.06 c	0.43 ± 0.02 c	0.32 ± 0.04 a	2.54 ± 0.22 c
U	1.49 ± 0.06 b	0.49 ± 0.02 b	0.30 ± 0.01 a	3.05 ± 0.15 b
CRU	1.52 ± 0.13 b	0.50 ± 0.03 ab	0.33 ± 0.02 a	3.14 ± 0.06 ab
U+HA	1.67 ± 0.05 ab	0.53 ± 0.04 ab	0.32 ± 0.01 a	3.20 ± 0.20 ab
CRU+HA	1.70 ± 0.01 a	0.57 ± 0.01 a	0.33 ± 0.01 a	3.34 ± 0.07 a

2.4 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花叶片和根系抗氧化酶活性的影响

盐胁迫下, 不同处理对棉花叶片和根系抗氧化酶活性影响差异显著(图 1)。整体来看, 不同处理棉花叶片 SOD 和 CAT 活性显著高于根系, 而 POD 活性

表现为根系高于叶片。与普通尿素处理相比, 控释尿素处理的棉花叶片和根系 SOD 活性提高 3.32% ~ 9.72%, POD 活性提高 4.76% ~ 26.93%, CAT 活性提高 9.94% ~ 32.12%, 其中控释尿素处理的棉花叶片和根系 CAT 活性显著高于普通尿素处理。



(图中不同小写字母表示同一部位不同处理间差异达 P<0.05 显著水平, 下同)

图 1 不同处理棉花叶片和根系 SOD(A)、POD(B)和 CAT(C)活性

Fig.1 Activities of SOD(A), POD(B) and CAT(C) in cotton leaves and roots under different treatments

一般情况下, 施用腐植酸会提高植株内 SOD 和 CAT 活性^[15]。盐胁迫下, 施用腐植酸与未施用腐植酸处理对棉花叶片和根系抗氧化酶活性影响差异较大。与

未施用腐植酸处理相比, 施用腐植酸处理的棉花叶片和根系 SOD 活性提高了 3.41% ~ 42.84%, 叶片和根系中差异均显著; POD 活性提高了 4.376% ~ 37.87%, 其中

叶片中差异显著; CAT 活性提高了 5.53% ~ 64.61%, 其中根系中差异显著。控释尿素配施腐植酸的协同作用对提高盐胁迫下棉花植株抗氧化酶活性最为显著。

2.5 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花叶片和根系过氧化物含量的影响

盐分、干旱、缺素等逆境环境中, 植物在生长过程中体内代谢均可能发生紊乱, 打破原有平衡, 从而

产生大量有害物质, 例如过氧化物 MDA、 O_2^- 等, 使得原有氧化还原平衡受损^[16]。盐分胁迫下, 与普通尿素处理相比, 控释尿素处理的棉花植株 MDA 含量降低了 6.01% ~ 30.85%, 同时棉花植株 O_2^- 产生速率也降低了 2.04% ~ 9.74%, 其中控释尿素与普通尿素配施腐植酸处理间的棉花叶片 MDA 含量和 O_2^- 产生速率差异显著(图 2)。

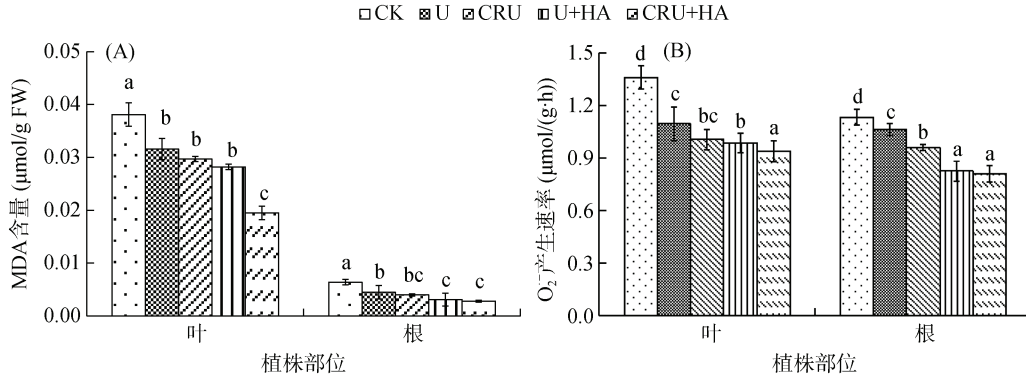


图 2 不同处理棉花叶片和根系 MDA(A)含量和 O_2^- (B)产生速率

Fig. 2 MDA (A) contents and O_2^- (B) production rates of cotton leaves and roots under different treatments

盐分胁迫下, 施用腐植酸显著降低了棉花叶片和根系 MDA 含量和 O_2^- 产生速率。与普通尿素与控释尿素配施腐植酸处理棉花植株 MDA 含量分别降低 10.76% ~ 34.34% 和 27.50% ~ 31.11%, 差异显著; O_2^- 产生速率分别降低 6.58% ~ 9.98% 和 15.72% ~ 22.34%, 差异显著。表明在盐胁迫下, 腐植酸在一定程度上降低植物体内过氧化物质的积累, 也可能增施腐植酸的官能团消除了部分过氧化物质, 控释尿素降低了棉花生长期土壤盐分的累积, 从而控释尿素与腐植酸配施的效果表现更明显。

3 讨论

3.1 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花生长特性的影响

少量盐分能刺激作物生长和促进作物对营养元素的吸收, 但当土壤盐分含量过高时则对作物产生毒害作用。盐胁迫下, 通过施肥措施可在一定程度上缓解盐害。辛承松等^[17]研究发现, 在盐胁迫环境的影响下, 施用氮肥可有效缓解盐害对棉花生长的抑制, 且控释氮肥效果更为明显。本试验供试土壤的全盐含量为 4.6 g/kg, 达到中度盐胁迫水平(全盐含量 >3 g/kg), 控释尿素与普通尿素相比, 显著提高了棉花幼苗地上部鲜、干物质量, 且差异显著。翟勇等^[6]研究表明, 施用腐植酸可促进作物根系, 尤其是毛细根系生长, 从而促进作物对营养元素的吸收, 利于其

生长。本试验研究表明, 在盐胁迫下, 配施腐植酸均显著提高了棉花幼苗地上部和地下部干、鲜物质量, 其中控释尿素配施腐植酸处理较其他处理的棉花地上部鲜、干物质量分别提高 13.46 ~ 69.46% 和 12.64% ~ 82.23%, 差异显著。表明盐胁迫下控释尿素配施腐植酸的协同作用更有利于促进幼苗期棉花生长和生物量的累积。

盐胁迫下, 植物根系耐受能力下降, 养分吸收少, 叶片叶绿素和类胡萝卜素含量下降, 长期处于盐胁迫下, 叶片会失绿, 甚至死亡^[15]。张江辉等^[18]研究表明, 在盐胁迫条件下, 随着棉花生长, 其叶片叶绿素总量、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量均呈逐渐下降的趋势。施用氮肥可在一定程度上促进棉花叶片叶绿素合成, 从而促进光合物质积累。本研究中, 与对照相比, 施用普通尿素和控释尿素均能提高光合色素含量, 棉花叶片叶绿素 a、b 含量以及叶绿素 a/b 显著增加, 而对类胡萝卜素含量的影响不显著。施用腐植酸可促进叶片叶绿素形成, 显著提高叶片叶绿素含量, 增加养分的合成^[6]。Marosz^[16]研究表明, 在盐渍化土壤上施用腐植酸, 尤其是经过酸活化处理的腐植酸能够降低土壤浸提液的电导率。本研究供试腐植酸通过过氧化氢活化, 其结构特征与酸活化相似, 其也降低了土壤盐分的累积量, 从而促进作物幼苗的生长, 在尿素与腐植酸配施的过程中表现一致, 普通尿素和控释尿素配施腐植酸处理的叶绿素 a 含量分别提高 5.37% 和 11.84%。

3.2 盐胁迫下控释尿素配施腐植酸对棉花抗氧化系统的影响

研究表明, 盐胁迫下, 植株叶片、根系 CAT 活性升高, 而 POD、SOD 活性降低^[19]。刘连涛等^[20]研究指出, 施用氮肥可提高植株体内的抗氧化酶活性, 其中控释尿素较普通尿素能显著提高叶片抗氧化酶活性。本研究中, 盐胁迫下, 施用控释尿素处理的棉花叶片和根系 SOD 活性较普通尿素处理提高 3.32%~9.72%, POD 活性提高 4.76%~26.93%, CAT 活性提高 9.94%~32.12%, 其中控释尿素处理的棉花叶片和根系 CAT 活性显著高于普通尿素处理。腐植酸会通过刺激植物各器官中蛋白质和酶的合成, 提高植物体内 SOD、CAT、SOD 的活性^[15]。本研究中, 普通尿素和控释尿素配施腐植酸处理的棉花叶片和根系 SOD 活性提高了 3.41%~42.84%, POD 活性提高了 4.376%~37.87%, CAT 活性提高了 5.53%~64.61%, 其中控释尿素配施腐植酸处理的 SOD、POD 以及 CAT 活性显著高于未施用腐植酸处理。

刘连涛等^[20]研究指出控释尿素降低了膜质化产物 MDA 的含量, 减缓了叶片衰老速度; 郭伟和于立河^[15]研究指出腐植酸在一定程度上可调节植物体内的活性氧自由基, 并降低植物体内 MDA 含量。本研究中, 控释尿素与腐植酸配施显著降低了盐胁迫下棉花叶片和根系 MDA 含量和 O₂⁻ 产生速率。以上结果表明, 盐胁迫下, 控释尿素和腐植酸具有协同抗逆作用, 控释尿素配施腐植酸可通过提高棉花体内抗氧化酶的活性, 降低植物体内过氧化物质的累积量, 来提高植物耐盐能力。

4 结论

滨海盐化潮土的棉花盆栽试验结果显示, 施用控释尿素和增施腐植酸均促进盐胁迫下棉花幼苗的生长。5 个处理中, 以控释尿素配施腐植酸效果最为明显, 其显著提高了棉花幼苗的生物量, 较其他处理地上部鲜、干物质量分别提高 13.46%~69.46% 和 12.64%~82.23%。控释尿素配施腐植酸提高了棉花幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 含量, 提高了盐胁迫下棉花植株抗氧化酶活性, 降低了植物体内过氧化物质的累积量, 从而提高了棉花耐盐能力。

参考文献:

[1] 高婧, 杨劲松, 姚荣江, 等. 不同改良剂对滨海重度盐渍土质量和肥料利用效率的影响[J]. 土壤, 2019, 51(3): 524-529.

[2] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.

[3] 马宗斌, 严根土, 刘桂珍, 等. 施氮量对黄河滩区棉花叶片生理特性、干物质积累及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 849-857.

[4] 李成亮, 黄波, 孙强生, 等. 控释肥用量对棉花生长特性和土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 295-305.

[5] 田宪艺. 外源 NO-SA-Ca 与有机肥对冬小麦盐胁迫的缓解效应及其机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.

[6] 翟勇, 李玮, 史力超, 等. 腐殖酸尿素对滴灌棉花产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国棉花, 2016, 43(5): 27-31.

[7] 梁太波, 王振林, 刘娟, 等. 灌溉和旱作条件下腐植酸复合肥对小麦生理特性及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 900-904.

[8] García A C. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(13): 3125-3134.

[9] Muscolo A, Sidari M, Attinà E, et al. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(1): 75-85.

[10] Knudson L L, Tibbitts T W, Edwards G E. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration[J]. Plant Physiology, 1977, 60(4): 606-608.

[11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[12] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[13] Heath R L, Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics [J]. 1968, 125: 189-198.

[14] Shi Q H, Zhu Z J. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/2/3): 317-326.

[15] 郭伟, 于立河. 腐植酸浸种对盐胁迫下小麦萌发种子及幼苗生理特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(1): 90-96.

[16] Marosz A. Effect of fulvic and humic organic acids and calcium on growth and chlorophyll content of tree species grown under salt stress[J]. Dendrobiology, 2009, 62(1): 47-53.

[17] 辛承松, 董合忠, 唐薇, 等. 滨海盐渍土抗虫棉养分吸收和干物质积累特点[J]. 作物学报, 2008, 34(11): 2033-2040.

[18] 张江辉, 白云岗, 张胜江, 等. 两种化学改良剂对盐渍化土壤作用机制及对棉花生长的影响[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 384-388.

[19] 韩冰, 孙锦, 郭世荣, 等. 钙对盐胁迫下黄瓜幼苗抗氧化系统的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(12): 1937-1943.

[20] 刘连涛, 李存东, 孙红春, 等. 氮素营养水平对棉花衰老的影响及其生理机制[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1575-1581.