

冬春季植被残体覆盖对内蒙古河套地区 盐碱土盐分的影响

肖弘扬, 温国昌, 林启美, 李贵桐, 赵小蓉
(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 春季是内蒙古河套地区土壤返盐和积盐最严重的季节。本研究在内蒙古河套地区典型盐渍化土壤上设置田间试验, 比较紫花苜蓿、羊草、碱茅、柳枝稷、草木樨、猪毛菜和燕麦植株残体冬春季地表覆盖下, 表层土壤 pH 及盐分含量的差异, 以期筛选出合适的冬春季植被。结果表明, 冬春季植被残体地表覆盖抑盐效果明显, 表层土壤 EC 值降低了 42% ~ 73%, 平均为 61%, 这可能是由于 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及 Cl^- 含量降低所致; 但土壤 pH 值、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量有所升高。总体来看, 多年生植被残体覆盖抑制盐分表聚的效果更好一些, 其中紫花苜蓿、羊草和柳枝稷, 较适于用作本地区冬春季地表覆盖植被。

关键词: 内蒙古河套; 盐碱土; 植被覆盖; 盐分

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A

Effects of winter and spring plant residue mulching on saline soil salt in Hetao Inner Mongolia

XIAO Hong-yang, WEN Guo-chang, LIN Qi-mei, LI Gui-tong, ZHAO Xiao-rong
(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Spring is the most serious season of soil salification in Hetao Inner Mongolia. A field experiment was conducted on top soil mulched by *Medicago sativa*, *Leymus chinensis*, *Puccinellia distans*, *Panicum virgatum*, *Melilotus* Mill, *Salsola collinag* and *Avena sativa* in Hetao Inner Mongolia to assess effects of residues from different plant specie on pH and saline during winter and spring for selecting appropriate winter and spring mulching vegetation in the area. The results indicated that the EC value of top soil decreased 42% ~ 73%, averagely reduced 61% by plant residue mulched in winter and spring. It might be related to decreased contents of Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} and Cl^- . However, the pH value, CO_3^{2-} and HCO_3^- content increased. In general, the perennial plants residue mulching have better effect on alleviating soil salinization. In addition, *Medicago sativa* L, *Leymus chinensis* and *Panicum virgatum* are suitable to be used as the regional mulching vegetation in winter and spring.

Keywords: Hetao Inner Mongolia; saline soil; plant residues multhing; salt

内蒙古河套地区是我国内陆盐碱土主要分布地区之一, 现有盐碱地面积约 $4.31 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[1]。本地区属于典型的半干旱大陆性气候, 年平均降雨量约为 140 ~ 330 mm, 年平均蒸发量约为 1 800 ~ 2 000 mm。春季多大风且干旱少雨, 地表蒸发十分强烈, 土壤解冻融化, 地下水位上升最高 1.0 m 以下, 大量盐分随着水分蒸发聚集到表层土壤^[2-3], 3—5 月初表层土壤积盐量可达全年土壤总积盐量的 80% 以上^[4]。因此, 春季播种前必须进行大水漫灌洗盐, 灌

溉量一般超过 $3\ 000 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占全年灌溉量一半左右^[5]。不仅消耗宝贵的黄河水资源, 而且退水时间比较长, 一般需要 2 周以上。本地区本来热量不充足, 延期播种将缩短作物生长时间, 显著降低产量^[6-8]。因此, 降低春季地表蒸发, 减轻盐分表聚, 成为本地区降低土壤盐渍化的技术关键之一^[9-10]。

降低春季地表蒸发的措施很多, 如把地切断毛细管; 种植生物藜降低风速, 其中增加地表覆盖较为简单而有效。农作物秸秆、地膜和植物残体等是常

收稿日期: 2016-11-11 修回日期: 2016-12-24
基金项目: 国家十二五科技支撑计划项目“河套地区盐碱地耐盐植物高效利用与生态修复模式研究与示范”(2013BAC02B06)
作者简介: 肖弘扬(1992—), 博士研究生, 主要从事土壤生物及生物过程研究。E-mail: xhy@cau.edu.cn。
通信作者: 林启美, 教授, 主要从事土壤生物及生物过程研究。E-mail: linqm@cau.edu.cn。

用的覆盖物,都能显著地降低盐分表聚^[11-12]。李新举等^[13]报道小麦秸秆覆盖可以阻断土壤水分向大气扩散,同时还可以增加光的反射率,降低地表温度,从而减少土壤水分蒸发,减轻盐分在地表聚集。谭军利等^[14]研究发现长期实行玉米秸秆覆盖栽培,不仅降低表层土壤盐分含量,底层土壤盐分含量也呈下降的趋势。河套地区植被类型很多,不同植被残体覆盖对土壤盐分表聚的影响,目前还缺乏数据。鉴于此,本研究在内蒙古河套地区典型盐渍土壤上种植 4 种多年生植物、1 种两年生植物和 2 种一年生植物,翌年春季采取表层土壤样品,比较不同植被残体覆盖下,表层土壤盐分含量的差异,以期了解不同植被残体覆盖下盐渍化土壤冬春季盐分表聚的影响,筛选出合适的冬春季覆盖地表的植被类型。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验采取单因素完全随机试验设计,设置草木樨(*Melilotus* Mill)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L)、羊草(*Leymus chinensis*)、碱茅(*Puccinellia distans*)、柳枝稷(*Panicum virgatum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、燕麦(*Avena sativa*)残茬覆盖及裸地 8 个处理,每个处理 3 次重复,比较不同植株残茬冬春季地表覆盖下,表层土壤 pH、EC 及盐分离子含量的差异。试验地点位于内蒙古鄂尔多斯市十二连城乡东不拉村黄河滩盐碱地,试验于 2013 年春季开始,土壤 pH 9.67, EC 值 $1.6 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 盐分离子组成及含量分别为 Na^+ $14.47 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 K^+ $0.27 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Ca^{2+} $0.73 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Mg^{2+} $0.87 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 CO_3^{2-} $0.00 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 HCO_3^- $1.47 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 SO_4^{2-} $3.93 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Cl^- $1.65 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 植被残体类型

2013 年春季种植的 1 种两年生植物草木樨,当年秋季收获期的地上部生物量 $11.10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 4 种多年生植物分别为紫花苜蓿、羊草、碱茅、柳枝稷,当年秋季收获期的地上部生物量分别为 1.87 、 5.54 、 $0.86 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $3.34 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 2 种一年生植物分别为猪毛菜和燕麦,地上部生物量分别为 $6.09 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $4.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。每种植物播种面积 360 m^2 。植株残茬留作地表覆盖。2014 年冬春季植被残体覆盖度分别为紫花苜蓿 95%、羊草 100%、碱茅 95%、柳枝稷 100%、草木樨 80%、猪毛菜 95%、燕麦 70%,几乎无植被的裸地作为对照。

1.3 土壤样品采集与处理

2014 年 4 月中旬,从 7 种植被覆盖的样地,用土

钻“S”形随机采取 0~10 cm 土层土壤,每个土样取 15 土钻,混合均匀后,四分法取约 2 kg,每种植被 3 次重复。采集的土壤室内风干后过筛,并拣除植物根系和石块,测定土壤 pH、EC 和八大盐分离子(Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-})。

1.4 测定项目与方法

pH 值用无 CO_2 去离子水浸提(2.5:1 水土比), UB-7 精密 pH 计测定。EC 用去离子水浸提(5:1 水土比),雷磁 DDS-307A 电导仪测定。8 大盐分离子用无 CO_2 蒸馏水浸提(水土比 5:1), K^+ 、 Na^+ 用火焰光度法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 滴定法测定, SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定法测定, Cl^- 用硝酸银滴定法测定, HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 用双指示剂-中和滴定法测定^[15]。

1.5 数据处理及分析

所有指标用烘干土壤质量表示,为 3 个试验重复的平均值。用 SPSS Statistics 17.0 软件对数据进行单因素方差分析和相关性分析。

2 结果分析与讨论

2.1 不同植被覆盖对土壤 EC 值和 pH 值的影响

裸地土壤 EC 值高达 $2.94 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$,相当于盐分含量 $16.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (换算系数为 5.55)^[16];而植被残体覆盖的土壤 EC 只有 $0.84 \sim 1.69 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$,相当于盐分含量 $4.66 \sim 9.38 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,只有裸地土壤的 28.7%~57.5%,平均为 39%。尤其是多年生植被残体覆盖的土壤,其 EC 值平均只有裸地土壤的 31%(图 1)。EC 值与地表覆盖度存在显著的线性负相关关系($r = 0.96$, $P < 0.01$),即地表植被残体覆盖度越高,土壤 EC 值就越低。显然,冬春季地表覆盖能够大幅度地降低了地表蒸发,从而降低了盐分向表层土壤聚集,且植物残体覆盖度越高,地表蒸发越弱,盐分表聚也就越少,EC 值就越低。相关研究也显示,地表秸秆或麦草覆盖具有明显的抑制盐分表聚的作用,随着秸秆覆盖量的增加,土壤蒸发的抑制率逐渐增大,土壤表层的含盐量也相应降低^[9,17]。

裸地土壤 pH 8.83,而植被覆盖的土壤 pH 8.88~9.27,比裸地土壤高 0.6%~5.1%,平均高 3.2%(图 1)。尤其是羊草和猪毛菜覆盖的土壤 pH 值达 9.25 和 9.27,比裸地土壤高出 0.42~0.45 个单位,而其他植被覆盖的土壤与裸地土壤没有显著性差异。土壤 pH 值与地表覆盖度呈显著的正相关关系($r = 0.71$, $P < 0.05$),说明在一定范围内,地表覆盖度越高,土壤 pH 也越高。但是,土壤 pH 值与 EC 值

之间没有显著的相关性($r = 0.64, P > 0.05$),这说明酸碱度不仅与盐分总量有关,而且还取决于盐分种类。盐基离子中, Na^+ 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 是导致土壤 pH 升高的主要原因,其离子含量多表现为春季

休闲期高于收获期^[18-19]。有植被覆盖的土壤,尤其是羊草和猪毛菜残体覆盖的土壤,可能含有比较多的碱性物质,尤其是苏打盐类,这些盐分可能与植物冠层的淋出盐分有关^[20]。

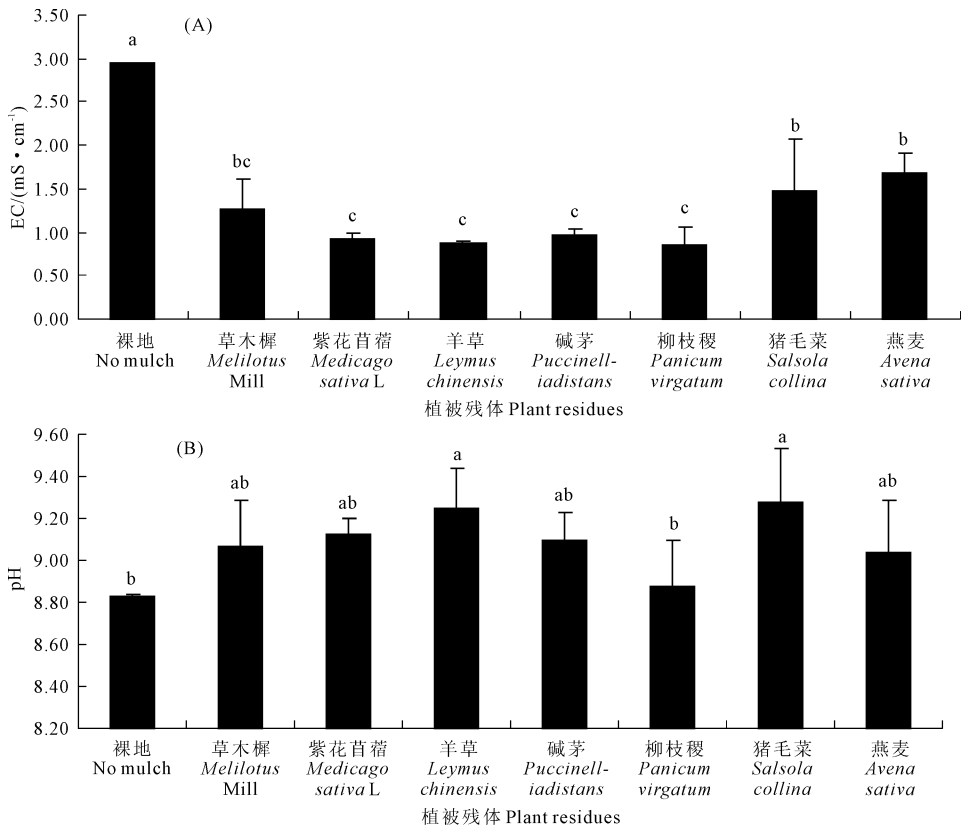


图 1 不同植被残体覆盖下 0~10 cm 土层土壤 EC 值(A)和 pH 值(B)的差异
Fig.1 The difference in EC values(A) and pH values(B) of the soils collected from 0~10 cm surface covered with different plant residues

2.2 不同植被覆盖对土壤主要盐分离子含量的影响

植物残体覆盖对表层土壤盐分离子含量产生显著的影响(表 1)。植物残体覆盖显著地降低了表层土壤阳离子含量,其中, Na^+ 含量降低了 48%~67%,平均为 56%,多年生植被残体覆盖的效果较好,其中碱茅残体覆盖降低的幅度最大; K^+ 含量降低了 62%~81%,平均为 73%,不同植被残体覆盖的差异比较小,其中柳枝稷和猪毛菜残体覆盖降低的幅度大一些; Ca^{2+} 含量降低了 60%~78%,平均为 72%,不同植被残体覆盖的没有显著性差异; Mg^{2+} 降低了 9%~42%,平均为 22%,不同植被残体覆盖的差异很大,其中羊草降低的幅度最大,而碱茅残体覆盖降低的幅度最小。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量均与地表植物覆盖度存在显著的线性负相关关系($P < 0.01$),即地表植被残体覆盖度越高,表层土壤的阳离子含量就越低,EC 值也越低,阳离子含量与

EC 值之间显著的线性负相关关系($P < 0.01$)就说明了这一点。但是, Na^+ 等阳离子含量与 pH 值之间没有显著的相关性($P > 0.05$),说明土壤 pH 并不取决于土壤阳离子浓度,而可能取决于阴离子浓度。

植被残体覆盖对表层土壤 SO_4^{2-} 含量没有显著的影响($P > 0.01$) (表 1),但显著地降低了阴离子 Cl^- 含量,较裸地土壤下降了 66%~87%,平均为 77%,柳枝稷和紫花苜蓿残体覆盖降低的幅度最大; Cl^- 含量与 pH 值之间没有显著的相关性($r_{\text{Cl}^-} = 0.71, P_{\text{Cl}^-} > 0.05$)。与其他离子不同,植被残体覆盖的表层土壤 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量显著提高,其中 CO_3^{2-} 从未检出,最多提高到 $0.07 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, HCO_3^- 含量也增加了 11%~71%,平均增加了 43%,猪毛菜和紫花苜蓿残体覆盖的增加幅度较大。 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量均与 pH 值之间存在显著的线性正相关关系($P < 0.01$)。这显然与这些植物凋落物在地表分解有关,凋落物被微生物分解过程中,释放出的

CO₂ 溶于水产生 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻; 所产生的有机盐通常都是弱酸盐, 如葡萄糖酸钙(Calcium gluconate) 与乙酸钙(Calcium oxalate) 分解后实际转化为 CaCO₃, 水解后呈碱性反应, 使 pH 上升^[21]。Cl⁻ 含量与

地表植物覆盖度存在显著的线性负相关关系($P < 0.01$), 即地表植被残体覆盖度越高, 土壤表层 Cl⁻ 含量就越低, 而其他阴离子含量与植被覆盖度之间没有显著的相关性($P > 0.05$)。

表 1 不同植被残体覆盖下 0~10 cm 土层土壤主要盐分离子含量/(cmol·kg⁻¹)
Table 1 The concentrations of salt ions in the surface soil grown with different plant residues

植被残体 Plant residues	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
裸地 No mulch	14.94a	0.16a	1.63a	0.78a	0.00b	0.38d	5.02a	1.30ab
草木樨 <i>Melilotus</i> Mill	6.66bcd	0.05bc	0.65b	0.16bc	0.02ab	0.55abcd	1.27b	1.37a
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L	5.57bcd	0.04bcd	0.37b	0.12c	0.00b	0.62ab	0.79b	1.30ab
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	6.56bcd	0.04cd	0.38b	0.07c	0.02ab	0.52abcd	1.37b	1.23b
碱茅 <i>Puccinellia distans</i>	4.87d	0.04bcd	0.52b	0.33b	0.00b	0.42cb	0.77b	1.32ab
柳枝稷 <i>Panicum virgatum</i>	5.05cd	0.03d	0.36b	0.14bc	0.00b	0.58abc	0.63b	1.27ab
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	7.79b	0.03d	0.39b	0.18bc	0.07a	0.65a	1.54b	1.33ab
燕麦 <i>Avena sativa</i>	7.36bc	0.06b	0.57b	0.18bc	0.04ab	0.47bcd	1.73b	1.33ab

注: 同一列不同字母表示同一指标不同植被之间的显著性差异($P < 0.05$)。
Note: The different letters in the same column indicate the significant difference between two data ($P < 0.05$).

从以上分析可知, 冬春季植物残体地表覆盖, 能够有效地阻止盐分随蒸发向地表聚集, 从而降低表层土壤盐分离子含量。不少研究者获得相似的结果^[17,22]。但是, 不同覆盖植被的影响有差异, 也因阴离子和阳离子的种类而异。总体来看, 多年生植被残体覆盖的抑盐效果更好一些。本试验中, 羊草、柳枝稷等多年生植被种植当年的地上部生物量和覆盖度都明显高于一年生植被。生物量越大, 地表覆盖度越高, 降低风速和抑制地表水分蒸发的效果就越好, 从而降低地下水中的盐分沿着毛细管随水向地表集聚^[17]。此外, 多年生植物根系及其代谢活动可以加速土壤 CaCO₃ 的溶解, 释放的 Ca²⁺ 替代 Na⁺, 促进 Na⁺ 等盐分离子淋洗, 降低盐分含量^[23]; 柳枝稷等多年生植物在盐分胁迫下通过增加根系生物量来达到适应性生长, 在种植当年其 0~10 cm 土层的地下部生物量已显著高于燕麦等一年生植物, 根系吸收养分离子, 也是土壤盐分离子降低的原因之一。但枯枝落叶腐解, 以及微生物代谢活动, 也产生更多的可溶性碳酸盐, 提高土壤 pH 值。从试验当年的结果看, 紫花苜蓿、羊草及柳枝稷等多年生牧草较适于用作本地区冬春季地表覆盖植被。

3 结 论

在内蒙河套地区, 冬春季植被残体地表覆盖, 显著降低表层土壤 EC 值和 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 及 Cl⁻ 含量, 但提高土壤 pH 值和 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 含量。总体来看, 多年生植被残体覆盖抑制盐分表聚的效

果更好一些, 其中紫花苜蓿、羊草和柳枝稷, 较适于用作本地区冬春季地表覆盖植被。

参 考 文 献:

[1] 张雁平, 胡春元, 董 智, 等. 河套灌区盐碱地造林树种选择的研究[J]. 内蒙古林业科技, 2008, 34(2): 25-27, 31.
[2] 吴月茹, 王维真, 王海兵, 等. 黄河上游盐渍化农田土壤水盐动态变化规律研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 80-84.
[3] 田 均, 阎秉义. 内蒙河套灌区土壤冻结期水盐动态的探讨[J]. 土壤肥料, 1988, (3): 9-15.
[4] 李 昂. 不同绿色覆盖模式的抑盐效应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
[5] 李 亮, 史海滨, 贾锦风, 等. 内蒙古河套灌区荒地水盐运移规律模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 31-35.
[6] 胡焕焕, 刘丽平, 李瑞奇, 等. 播种期和密度对冬小麦品种河农 822 产量形成的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 490-496.
[7] 潘 洁, 姜 东, 戴廷波, 等. 不同生态环境与播种期下小麦籽粒品质变异规律的研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 467-473.
[8] 田志刚, 田俊芹, 曹治彦, 等. 播种期对夏玉米产量及主要性状的影响[J]. 河北农业科学, 2006, 10(4): 14-15.
[9] 纪永福, 蔺海明, 杨自辉, 等. 解冻期覆盖盐渍土地表对土壤盐分和水分的影晌[J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 17-23.
[10] 毕远杰, 王全九, 雪 静. 覆盖及水质对土壤水盐状况及油菜产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(13): 83-89.
[11] 梁银丽. 黄土区地面覆盖的主要类型及其保水效应[J]. 水土保持通报, 1997, 17(1): 27-31.
[12] 孙 博, 解建仓, 汪 妮, 等. 秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐影响的试验研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 48-51.
[13] 李新举, 张志国, 李永昌. 秸秆覆盖对盐渍土水分状况影响的模拟研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 2-34.

植物在辐射条件下,活性氧自由基的产生能力增强,酶促活性氧自由基清除系统开启^[18]。本研究中,无芒雀麦种子 3 种保护酶(SOD、POD、CAT)活性在干旱环境下辐射响应不同,随辐射剂量的增加整体变化趋势呈先升后降。这与郑宾国^[19]的研究结果一致,辐射剂量在 100 Gy 时,SOD、POD 达到最大值,随之下降,说明低剂量辐射未使得 SOD、POD 酶活性系统受到损坏,可以清除体内过多的氧化性物质,因此酶活性上升。但辐射剂量过大时,SOD、POD 酶活性系统受到损害,逐渐失去抵御氧化性物质的能力。这与何玮对甜高粱的研究结果相符。CAT 活性可作为植物在其的指示性指标,其变化较为敏感。结果显示,低剂量辐射条件下,其幼苗主要靠 3 种保护酶协同作用下,共同消除自由基。但随着剂量的增加,活性氧积累量的增加致使部分酶失活,导致三种酶活性同时出现下降的趋势。

本研究从多项指标综合分析无芒雀麦种子萌发期抗旱性,但由于植物在不同生长阶段抗旱性不尽相同,干旱对⁶⁰Co-γ 辐射无芒雀麦萌发期研究,不能完全代表田间育苗实际情况,还要进一步进行田间苗期耐旱实验。本试验为利用⁶⁰Co-γ 射线辐射来提高无芒雀麦的耐旱性提供了理论依据。

参 考 文 献:

[1] 杨慧玲,曹志平,董 鸣,等.沙埋对无芒雀麦种子萌发和幼苗生长的影响[J].应用生态学报,2007,18(11):2438-2443.

[2] 张 雪,刘青松,师文贵,等.25 份无芒雀麦种质资源遗传多样性的 ISSR 分析[J].中国草地学报,2014,36(3):104-107.

[3] Song J, Ren M, Song C, et al. The effect of ⁶⁰Coγ-rays on the crystal structure, melting and crystallization behavior of poly(butylene succinate)[J]. Polymer International, 2011,53(11):1773-1779.

[4] 陈积山,朱瑞芬,高 超,等.苜蓿和无芒雀麦混播草地种间竞争研究[J].草地学报,2013,21(6):1157-1161.

[5] Shuya Wei, Wei Hu, Xiaomin Deng. A rice calciun – dependent protein ⁶⁰Co – γ positively regulates drought stress tolerance and spikelet fertility[J]. BMC Plant Biology, 2014,(14):133-136.

[6] 张 娜,赵宝平,张艳丽,等.干旱胁迫下燕麦叶片抗氧化酶活性等生理特性变化及抗旱性比较[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):166-171.

[7] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006.

[8] 王婧泽,高树仁,孙丽芳,等.3 个玉米自交系对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):89-95.

[9] 熊秋芳,陈玉霞,张雪清,等.⁶⁰Co-γ 辐射对萝卜种子萌发和幼苗生长的影响[J].浙江农业科学,2014,(3):356-359.

[10] Ansari O, Chogazardi H R, Sharifzadeh F, et al. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (Secale montanum) as affected by drought stress[J]. Cercetari Agronomice in Moldova, 2012,45(2):43-48.

[11] 李文鹤,何 淼,卓丽环.PEG-6000 处理对野菊种子萌发期抗旱性的影响[J].种子,2010,29(11):51-54.

[12] 杨玮辰,牛惠杰,张跃进,等.干旱胁迫对蒙古黄芪种子萌发及生长生理的影响[J].种子,2015,34(3):30-35.

[13] Kaya C, Tuna L, H. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress condition[J]. Journal of Plant Nutrition, 2006,29(8):1469-1480.

[14] 高 睿,马 淼,赵红艳.⁶⁰Co-γ 辐射对光果甘草种子耐盐性影响的研究[J].农学报,2016,6(7):77-82.

[15] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell and Environment, 2002,25(2):239-250.

[16] 张 玉,白史旦,李达旭,等.⁶⁰Co-γ 辐射对菊苣种子发芽及幼苗生理的影响[J].草地学报,2013,21(1):147-151.

[17] 滕 娟,熊俊芬,何忠俊,等.⁶⁰Co-γ 辐射对三七幼苗生理特性的影响[J].云南农业大学学报自然科学,2015,30(3):445-449.

[18] 李 波,徐婉玉,彭 丹,等.卫星搭载苜蓿种子叶片愈伤组织对逆境胁迫的响应[J].干旱地区农业研究,2015,33(6):167-171.

[19] 郑宾国,崔节虎,彭伟功,等.不同 γ-射线辐照剂量对鱼腥藻生长及生理特性的影响[J].西北农林科技大学学报自然科学版,2013,41(8):182-188.



(上接第 26 页)

[14] 谭军利,康跃虎,焦艳平,等.滴灌条件下种植年限对大田土壤盐分及 pH 值的影响[J].农业工程学报,2009,25(9):43-50.

[15] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000:14-199.

[16] 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.

[17] 孙 博,解建仓,汪 妮,等.不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):246-250.

[18] 肖克飏.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.

[19] 颜 宏,赵 伟,尹尚军,等.羊草对不同盐碱胁迫的生理响应[J].草业学报,2006,15(6):49-55.

[20] 郭继勋,祝廷成.羊草草原枯枝落叶分解的研究——枯枝落叶分解与生态环境的关系[J].生态学报,1993,13(3):214-220.

[21] 李志安,邹 碧,丁永祯,等.植物残茬对土壤酸度的影响及其作用机理[J].生态学报,2005,25(9):2382-2388.

[22] 柏会子,王 洋,石 海,等.秸秆不同还田方式对土壤蒸发特性影响[J].土壤与作物,2012,1(4):241-247.

[23] Zhao C Y, Wang Y C, Song Y D, et al. Biological drainage characteristics of alkalized desert soils in north-western China[J]. Journal of Arid Environment, 2004,56(1):1-9.