

# 混合盐碱对紫花苜蓿苗期根系特征的影响\*

张晓磊<sup>1,2</sup> 刘晓静<sup>1,2\*\*</sup> 齐敏兴<sup>1,2</sup> 刘艳楠<sup>1,2</sup> 蒯佳林<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃农业大学草业学院 兰州 730070;

2. 草业生态系统教育部重点实验室/中美草地畜牧业可持续发展研究中心 兰州 730070)

**摘要** 为研究紫花苜蓿根系对混合盐碱胁迫的响应,探索紫花苜蓿对混合盐碱的适应特点,为紫花苜蓿在盐碱地的栽培实践提供理论依据。本试验以“甘农三号”紫花苜蓿为试验材料,采用两种中性盐 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 及两种碱性盐 NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 按不同比例混合成为 A(NaCl : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=1 : 1)、B(NaCl : NaHCO<sub>3</sub>=1 : 1)、C(NaCl : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : NaHCO<sub>3</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>=1 : 1 : 1 : 1)、D(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>=1 : 1)、E(NaHCO<sub>3</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>=1 : 1)5种混合盐,分别以 25 mmol·L<sup>-1</sup>、50 mmol·L<sup>-1</sup>、100 mmol·L<sup>-1</sup>、150 mmol·L<sup>-1</sup> 4种盐浓度,模拟出 20种盐度和碱度各不相同的混合盐碱条件对紫花苜蓿幼苗进行处理,测定了根系总长度、根系平均直径、根表面积、根尖数等指标,以了解紫花苜蓿根系在混合盐碱胁迫下的生长特性。结果表明,盐浓度为影响紫花苜蓿根系生长的主要因素。混合盐碱对根尖数的影响表现出明显的负效应,对根系平均直径的影响并不明显。随着混合盐浓度的升高,根系总长度、根表面积呈现先增大后减小的趋势。A、B处理的根长分别在盐浓度为 25 mmol·L<sup>-1</sup> 和 50 mmol·L<sup>-1</sup> 时达到最大值,分别比对照(0 mmol·L<sup>-1</sup>)增加 50.7%和 37.9%,而且差异均达到显著水平(P<0.05);在盐浓度达到 150 mmol·L<sup>-1</sup>时,A、B、C、D、E的根系总长度分别比对照减少 26.6%、37.7%、51.6%、37.0%和 55.7%,差异显著。A、C、D组处理下仅在 25 mmol·L<sup>-1</sup>时,根表面积显著增加,分别比对照增加 21.1%、43.4%和 12.7%;在浓度为 150 mmol·L<sup>-1</sup>时,E处理下根表面积显著减小,比对照减少 49.6%。表明低浓度混合盐碱对紫花苜蓿根系的生长影响不显著或具有一定的促进作用,高浓度胁迫下抑制根系的生长;在高盐浓度下随着碱性盐比例的增加,对紫花苜蓿根系生长的抑制作用越明显。

**关键词** 紫花苜蓿 混合盐碱胁迫 根系长度 根表面积 根尖数

中图分类号: S541+9; S-3 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2013)03-0340-07

## Alfalfa seeding root characteristics under complex saline-alkali stress

ZHANG Xiao-Lei<sup>1,2</sup>, LIU Xiao-Jing<sup>1,2</sup>, QI Min-Xing<sup>1,2</sup>, LIU Yan-Nan<sup>1,2</sup>, KUAI Jia-Lin<sup>1,2</sup>

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Sino-U.S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** Ecological environment and agricultural sustainability in present days China have been threatened by soil salinity. Plant roots have been the first to feel adverse soil stress conditions through different physiological processes. Study of alfalfa response to salt stress has mainly focused on the above-ground system or on the growth and physiological response to single salt stress. Alfalfa root response to complex saline-alkali stress has been rarely reported. The primary aim of this study was to determine the response of alfalfa root to saline-alkali conditions. The study also explored alfalfa growth and adaptation characteristics under complex saline-alkali stress conditions and provided theoretical bases for alfalfa cultivation in saline-alkali field. The *Medicago sativa* L. cv. “Gannong No.3” was investigated under complex saline-alkali stress conditions at seeding growth stage. 20 different alkali-saline stress conditions simulated saline-alkali soil conditions obtained by mixing two neutral (NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and alkaline (NaHCO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) salts in different proportions [A (NaCl : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in 1 : 1 ratio), B (NaCl : NaHCO<sub>3</sub> in 1 : 1 ratio), C (NaCl : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : NaHCO<sub>3</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in 1 : 1 : 1 : 1 ratio), D (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in 1 : 1 ratio) and E (NaHCO<sub>3</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in 1 : 1 ratio)] and concentrations (25 mmol·L<sup>-1</sup>, 50 mmol·L<sup>-1</sup>, 100 mmol·L<sup>-1</sup> and 150 mmol·L<sup>-1</sup>). To understand alfalfa root growth characteristics

\* 甘肃省自然科学基金项目(1010RJZA157)和草业生态系统教育部重点实验室(甘肃农业大学)项目(CYZS-2011012)资助

\*\* 通讯作者: 刘晓静(1968—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为草坪及牧草营养与生理。E-mail: liuxj@gsau.edu.cn

张晓磊(1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为牧草抗性生理与营养吸收的研究。E-mail: gbmp01@163.com

收稿日期: 2012-07-29 接受日期: 2012-11-22

in mixed salt stress conditions, total root length, root surface area, average root diameter, root volume and root tip number were analyzed. The results showed that salt concentration was the main driving factor of alfalfa root growth. There was obvious negative effect of the saline-alkali conditions on root tip number and insignificant effect on average root diameter. As treatment concentration increased, total root length and root surface area initially increased followed by a decrease. At low concentration of  $\leq 50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , total root length under A ( $25 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) and B ( $50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) treatments respectively increased by 50.7% and 37.9% over CK ( $0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). At a concentration of  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , total root length under treatments A, B, C, D and E respectively dropped by 26.6%, 37.7%, 51.6%, 37.0% and 55.7% compared with CK; all of which were significantly lower than the CK. Root surface area under treatments A, C and D increased at  $25 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  concentration by 21.1%, 43.4% and 12.7% over CK. At  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  concentration, root surface area under treatment E dropped by 49.6% over CK. This suggested that low saline-alkali stress ( $\leq 50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) conditions promoted or insignificantly influenced alfalfa seedling root growth. However, high saline-alkali stress ( $\geq 50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) conditions inhibited alfalfa seedling root growth. Increasing alkaline salt under high salt concentration increased alfalfa root growth inhibition.

**Key words** Alfalfa (*Medicago sativa*), Complex saline-alkali stress, Root length, Root surface area, Root tip number

(Received Jul. 29, 2012; accepted Nov. 22, 2012)

目前, 土壤盐碱化是威胁我国生态环境和农业可持续发展的重要因素。由于人为不合理灌溉、过度使用化肥、砍伐森林、破坏植被以及温室效应导致的气候变暖等因素, 使土壤盐碱化问题日益严重<sup>[1]</sup>。我国西北地区盐碱地多为复合型盐碱地, 主要盐碱成分有  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 兼有  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 盐化与碱化作用往往相伴发生<sup>[2]</sup>。紫花苜蓿(*Medicago sativa*)属于中等耐盐碱植物, 并且具有调节土壤酸碱性<sup>[3]</sup>, 降低土壤容重、提高土壤孔隙度、增加土壤有机质<sup>[4]</sup>和改善土壤理化性质的作用, 同时, 紫花苜蓿作为一种优良牧草, 具有营养价值高、适口性好等特点, 在全国各地被广泛种植。因此, 合理开发与利用盐碱地区种植紫花苜蓿对于改善生态环境、促进我国畜牧业的可持续发展具有重要意义。

植物根系是植物生命活动中的重要器官, 具有固定植株、吸收和运输土壤中的水分及养分、合成和贮藏营养物质等重要功能<sup>[5]</sup>, 根系的形态分布直接影响植物对土壤中营养和水分吸收, 进而影响到植物地上部分的生长和生态功能的发挥<sup>[6]</sup>, 其构型与植物养分和水分吸收利用效率有着密切关系。植物根构型是指根系在土壤中的空间分布<sup>[7]</sup>。然而, 根系又是生态系统功能研究中最不确定的部分, 同时生态系统地上与地下过程的关联主要是通过根系实现的, 植物根系的形态、构型特性及分布等特征在一定程度上影响着该生态系统的碳过程、水分平衡以及矿质元素的生物地球化学循环<sup>[8]</sup>。植物根系是植物最先感受土壤逆境胁迫的部位, 通过不同生理或形态变化来响应逆境胁迫信号<sup>[9]</sup>。但是目前对于盐碱胁迫下植物的根系响应研究极少, 只在玉米(*Zea mays*)<sup>[10]</sup>、小麦(*Triticum aestivum*)<sup>[11]</sup>、黄瓜(*Cucumis sativus*)<sup>[12]</sup>等作物上有报道, 而对于紫花苜蓿的研究主要集中在地上部分以及单盐胁迫下紫花苜蓿生长和生理的响应, 对于混合盐碱胁迫下紫花苜蓿根

系的响应更是鲜有报道。因此, 研究紫花苜蓿根系在混合盐碱胁迫下的生长特性, 对于探讨苜蓿在盐碱胁迫逆境环境中的生理作用具有重要意义, 为进一步研究紫花苜蓿耐盐碱胁迫生理机制奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试苜蓿品种是由甘肃农业大学草业学院提供的“甘农三号”紫花苜蓿(*Medicago sativa* L. cv. “Gannong No.3”), 种子用 0.1%  $\text{HgCl}$  消毒 10 min, 并用去离子水冲洗干净后播种。供试根瘤菌菌株为中华根瘤菌(12531), 由甘肃农业大学草业学院提供。

### 1.2 混合盐碱条件的模拟

将  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  按不同比例混合, 以碱性盐所占比例由小到大, 依次标为 A、B、C、D、E。每组内又设 5 个浓度处理, 其混合盐总浓度依次为  $0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $25 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $100 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。因此, 本试验共模拟出 20 种盐度及碱度各不相同的盐碱条件, 各处理的盐分组成及相应 pH 见表 1<sup>[13]</sup>。

### 1.3 沙培试验

随机挑选经表面杀毒的紫花苜蓿种子 15 粒, 播入直径 7 cm、高 8.5 cm、容积 350 mL、装入 250 g 干燥河沙的塑料花盆中, 覆盖 30 g 干沙, 置入盛有完全 Hoagland 营养液<sup>[14]</sup>的水培盒中, 使营养液自盆底向上缓慢渗透至沙表面。营养液每 7 d 换 1 次, 每日补水的方式为浇灌。真叶期后培养 5 周, 挑选长势相对均匀的盆栽进行混合盐碱胁迫处理, 每盆浇灌 5 mL, 每 5 d 处理 1 次, 共处理 3 次。

### 1.4 指标测定

胁迫处理 15 d 后, 将各处理的根系用清水洗净, 采用台式扫描仪(EPSON Experssion)将幼苗根系图像扫描并存入电脑, 再用 WinRHIZO 根系分析系统

表 1 各处理液的盐分组成、摩尔比及 pH  
Table 1 Salts composition, molar ratio and pH of solutions for mixed salt treatment

处理组 Treatment	盐分组成及摩尔比 Salt composition and molar ratio				pH			
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	处理浓度 Treatment salinity (mmol·L <sup>-1</sup> )			
					25	50	100	150
A	1	1	0	0	7.11	7.15	7.22	7.28
B	1	0	1	0	8.27	8.32	8.36	8.49
C	1	1	1	1	9.26	9.31	9.44	9.51
D	0	1	0	1	10.13	10.19	10.23	10.34
E	0	0	1	1	11.09	11.21	11.27	11.36

软件(Regent Instruments, Inc., Quebec, Canada)对根的图像进行分析,获得根系总长度、根表面积、根平均直径、根体积和根尖数等数据。

### 1.5 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 16.0 专业统计分析软件进行数据分析和差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根系总长度的影响

由图 1 可以看出,不同混合盐碱胁迫下,随着盐浓度的升高苜蓿根系总长度基本呈先升高后降低的趋势。低浓度混合盐胁迫下苜蓿根系总长度均会增长,随着碱性盐比例的增加根系增长趋势越不明显。说明低浓度盐可刺激苜蓿根系的生长,高浓度则抑制根系总长度的增加。A、B 处理对苗期苜蓿根长增加量分别在浓度为 25 mmol·L<sup>-1</sup>(A)和 50 mmol·L<sup>-1</sup>(B)时达到最大,且与对照(0 mmol·L<sup>-1</sup>)相比差异均达到显著水平( $P < 0.05$ ),分别比对照增加 50.7%和 37.9%。各组处理中高浓度混合盐碱对根长减少量与对照相比均达到显著水平,在浓度达到 100 mmol·L<sup>-1</sup>时,A、C、D、E 分别比对照减少 20.7%、26.5%、26.0%和 37.5%,B 组表现与对照差异不显著;浓度达到 150 mmol·L<sup>-1</sup>时,A、B、C、D、E 分别比对照减少 26.6%、37.7%、51.6%、37.0%和 55.7%。高浓度盐碱条件下由于根系处于高渗条件下,导致吸水困难,从而抑制了根系伸长,进而影响了植物根系对营养物质的吸收和转运。

### 2.2 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根表面积的影响

根系与土壤接触从土壤中吸收的水分以及矿质元素都依附于根系表面。由图 1 可知,在混合盐碱胁迫下,苜蓿根表面积随着盐浓度的增加呈先增后减趋势。A、C、D 组处理下仅在 25 mmol·L<sup>-1</sup>时根表面积显著增加,分别比对照增加 21.1%、43.4%和 12.7%,其他浓度与对照相比并无显著差异。高浓度下根表面积虽有减少趋势但与对照差异并不显著,仅在 E 处理下显著减少,比对照减少 49.6%。由此可

见低浓度盐可以促进根表面积的增加,从而有利于植物从土壤中吸收更多的水分及矿质元素来维持自身的生长与代谢;高浓度的碱性盐由于造成根际环境 pH 的升高从而使根系无法正常生长。

### 2.3 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根系平均直径的影响

由图 2 可知,混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根系平均直径影响较小,虽然随着盐浓度增减呈现先增后减的趋势,但是与对照相比差异并不显著,处理液中仅含高浓度 NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(150 mmol·L<sup>-1</sup>)情况下会明显抑制根系增粗的现象。

### 2.4 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根体积的影响

由图 2 可知,C、D、E 处理在低浓度混合盐碱下可促进根体积生长,在浓度为 25 mmol·L<sup>-1</sup>时,根体积分别比对照增加 35.4%、48.4%和 37.0%。在高浓度下虽然有抑制的趋势,但与对照相比差异不显著。说明在低浓度混合盐碱条件下,植物向根系输送的碳同化产物增加,促进根系生长,用以维持根系对矿质元素及水分的吸收,供给植物光合同化。

### 2.5 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根尖数的影响

根尖是根系生长最活跃的区域,植物对矿质离子的吸收主要是通过根尖进行离子交换和主动吸收。由图 3 可以看出,各处理下随着混和盐浓度的升高,根尖数呈下降的趋势,在高浓度胁迫下 A、B、C、D、E 组根尖数比对照显著减少,100 mmol·L<sup>-1</sup>时分别比对照减少 12.7%、17.2%、24.3%、17.1%、35.2%;150 mmol·L<sup>-1</sup>时分别比对照减少 14.6%、55.1%、27.2%、17.3%、53.5%。C 组处理在浓度为 50 mmol·L<sup>-1</sup>时根尖数比对照显著增加。在高浓度条件下,根尖数随着碱性盐的比例增减呈现逐渐减少的趋势。说明碱性盐比中性盐对根尖生长具有更强的抑制效应。

### 2.6 方差分析

5 个处理组即本试验设计的不同混合盐碱组合 A、B、C、D、E,以碱性盐比例代表碱胁迫强度,以每一处理的总盐度代表其盐胁迫强度,分别对紫花苜蓿根系各项指标与盐、碱胁迫之间的关系进行双

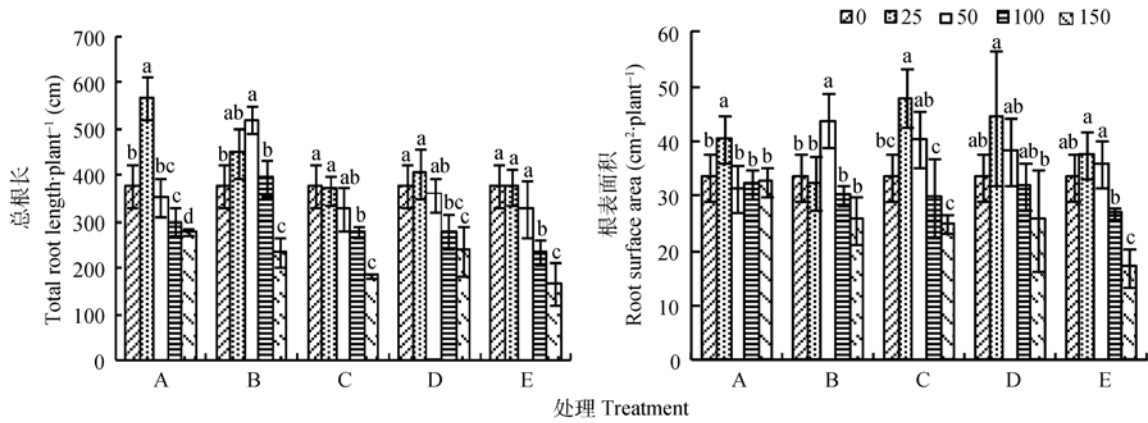


图 1 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿总根长和根表面积的影响

Fig. 1 Effects of complex saline-alkali stress on the total root length and root surface area of alfalfa at seedling stage

图例中 0、25、50、100 和 150 分别表示混合盐总浓度( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 下同。The numbers of 0, 25, 50, 100, 150 in legend are stand for total concentrations of complex saline-alkali. The same below.

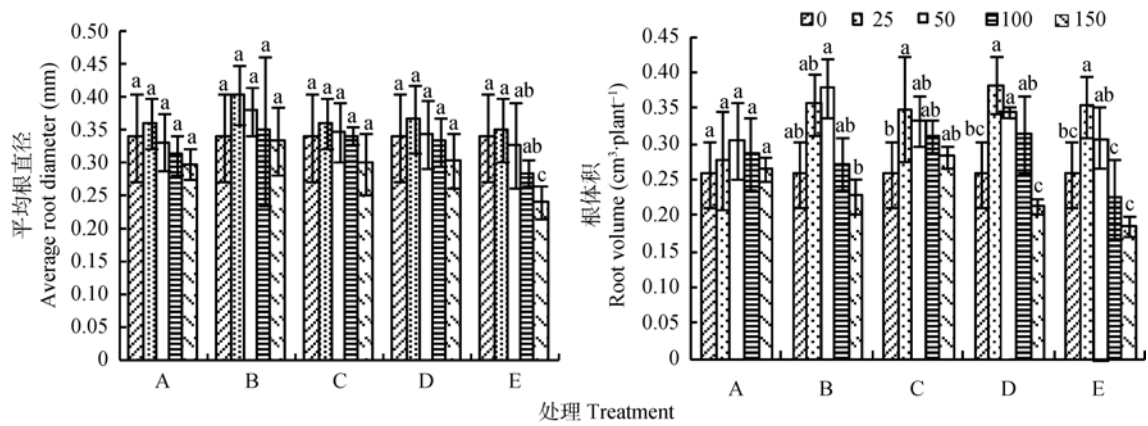


图 2 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿平均根直径和根体积的影响

Fig. 2 Effects of complex saline-alkali stress on the average root diameter and root volume of alfalfa in seedling stage

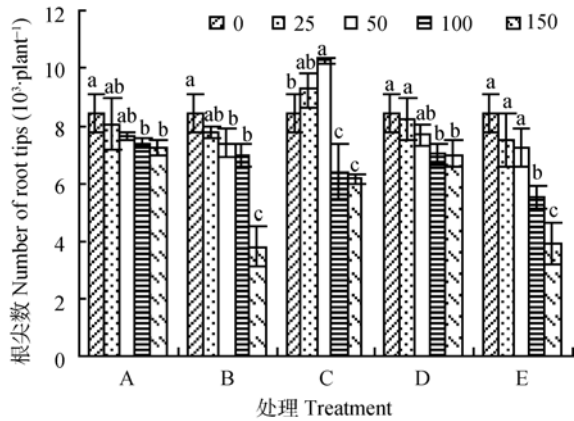


图 3 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根尖数的影响

Fig. 3 Effects of complex saline-alkali stress on the number of root tips of alfalfa in seedling stage

因素方差分析(表 2)。表中  $F = \text{方差}(\text{MS}) / \text{误差}(\text{Error})$ ,  $F$  值越大差异越大。双因素方差分析结果表现为, 各项指标盐浓度的  $F$  值远大于处理组, 即盐胁迫对紫花苜蓿根系生长的影响远大于高 pH 对根系造成的影响。由此表明, 盐浓度为影响紫花苜蓿根系生长

的主要因素。

### 3 讨论与结论

根系是植物从土壤中吸收水分和矿质营养的主要器官, 因此土壤造成的胁迫首先是由根系感受的。在感受到逆境信号后根系会做出相应反应, 并通过信号传导对有关基因的表达进行时间和空间的调整, 通过改变代谢途径和方向而影响碳同化产物在不同器官中的分配比例, 最终又会影响根系生长, 并从形态和分布上来适应环境胁迫<sup>[10]</sup>。根系的生长受遗传和环境因素共同影响<sup>[15]</sup>。有关环境对苜蓿根系生长特性的影响主要集中在养分和水分的影响<sup>[16-17]</sup>, 有关盐碱胁迫对紫花苜蓿根系生长和分布的影响鲜见报道。

本试验研究表明, 混合盐碱对紫花苜蓿根系总长度和根表面积影响较大, 在混合盐浓度  $\leq 50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 苜蓿根长及表面积不同程度地增加。而在混和盐浓度高于  $100 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 苜蓿的总根长及根表面积逐渐减小, 而且与对照相比差异显著

表 2 双因素方差分析结果  
Table 2 Result of two-way variance analysis (ANOVA)

	差异来源 Difference sources	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F
根长 Root length	处理组 Treatment	109 037.10	4	27 259.28	16.30
	盐浓度 Salinity	413 836.50	4	103 459.10	61.87
	处理组×盐浓度 Treatment × salinity	115 696.50	16	7 231.03	4.32
	误差 Error	83 616.76	50	1 672.34	
根表面积 Root surface area	处理组 Treatment	246.40	4	61.599 95	2.32
	盐浓度 Salinity	2 258.74	4	564.684 8	21.25
	处理组×盐浓度 Treatment × salinity	888.00	16	55.50	2.09
	误差 Error	1 328.46	50	26.569 27	
根平均直径 Average root diameter	处理组 Treatment	0.02	4	0.005 477	2.02
	盐浓度 Salinity	0.05	4	0.011 279	4.17
	处理组×盐浓度 Treatment × salinity	0.01	16	0.000 648	0.24
	误差 Error	0.14	50	0.002 706	
根体积 Root volume	处理组 Treatment	0.02	4	0.004 524	1.76
	盐浓度 Salinity	0.13	4	0.033 552	13.07
	处理组×盐浓度 Treatment × salinity	0.05	16	0.002 814	1.10
	误差 Error	0.13	50	0.002 568	
根尖数 Root tips	处理组 Treatment	25 905 648.00	4	6 476 412	19.00
	盐浓度 Salinity	87 045 789.00	4	21 761 447	63.85
	处理组×盐浓度 Treatment × salinity	37 457 155.00	16	2 341 072	6.87
	误差 Error	17 041 634.00	50	340 833	

( $P < 0.05$ ), 这说明一定混合盐浓度可以促进根系的伸长以及根表面积的增加, 而高浓度盐碱对根系的伸长和根表面积的增加起到显著抑制作用。弋良朋等<sup>[8]</sup>在研究 NaCl 对梭梭和钠猪毛菜根系影响中也得出相似结论。由于根系总长度以根长及根系密度为基础, 所以能够反映根系的总体特征。土壤与植物根部之间的水势差是植物根部吸收水分的驱动力, 而根表面积是植物利用土壤养分能力的一个重要指标, 根的伸长与根毛的产生可以大大增加根的吸收面积。有研究表明, 根系是吸收水肥的主要器官, 与地上部相比, 根系生产相同单位干物质质量需要的能量是地上部的 2 倍<sup>[18]</sup>。只有健壮根系才能保证植物更大范围地从土壤中吸收水分和营养, 从而达到高产。混合盐碱胁迫对紫花苜蓿根系平均直径影响并不显著, 对根尖数的影响表现为明显抑制作用, 即随着混合盐碱浓度的升高根尖数逐渐减少, 仅有低浓度的 C 处理表现出促进作用, 出现这一现象可能是由于离子拮抗作用所致。

盐碱土对植物的毒害主要包括盐胁迫和高 pH 胁迫及这两种因素相互作用产生的复合毒害, 由于高 pH 的影响, 碱胁迫可直接危害作物根系并影响其对营养物质的吸收以及植物内部的离子平衡, 比盐胁迫危害更大<sup>[19]</sup>。当植物生长于高 pH 的盐碱地条件下, 细胞间质的 pH 升高, 阻碍细胞壁的疏松, 进而阻碍细胞延伸, 影响植物生长。过高的土壤 pH

会在一定程度上抑制根毛发生, 进而影响植物对水分和养分的吸收和植物的正常生长发育<sup>[20]</sup>。尤其是根际土壤 pH 的改变可以从多方面影响植物的根际环境, 诸如根际土壤中矿质养分的化学和生物学有效性、根系对营养元素的吸收利用、根系细胞膜的透性、根系的生长状况以及根际酶的活性等<sup>[21]</sup>。本研究发现, 随着碱性盐比例的增加, 植物的根长、根表面积、根体积和根尖数均受到比中性混合盐更强的抑制作用, 尤其是在高浓度情况下表现更为明显。不同混合盐对苜蓿的影响稍有差异, 这可能是由于不同类型的盐碱对苜蓿的作用机理不同。

本研究还发现, 一些苜蓿幼苗在高浓度以及高比例的碱性混合盐胁迫下, 根部有腐烂变黑现象。这可能是由于根际环境中盐分积聚所造成的高渗透势以及碱性盐的高 pH 造成根系周围矿质营养状况及氧气供应能力的严重破坏, 根系在高 pH 条件下合成并积累了过量的有机酸<sup>[20]</sup>, 导致植物细胞内离子平衡及正常的代谢被破坏<sup>[22-23]</sup>。有研究表明, 一些非盐生植物<sup>[24-25]</sup>和荒漠盐生植物<sup>[21]</sup>根际有盐分积聚现象。盐分积聚使根际环境的渗透势升高, 造成了根系对水分和矿质营养的吸收困难, 从而严重影响了植物根系的构建。

综上所述, 混合盐碱胁迫下对紫花苜蓿根系的生长不仅仅表现为负效应, 研究中还发现低浓度混合盐碱对紫花苜蓿根系的生长具有一定的促进作用,

而高浓度胁迫抑制根系的生长; 混合盐碱对根系平均直径的影响并不明显; 对根尖数的影响表现为负效应, 且随着碱性盐比例的增加这种抑制作用呈加强趋势; 可能由于不同盐对植物的胁迫机理不同使得不同盐组合对苜蓿根系的影响稍有不同。较高盐浓度为抑制苜蓿根系生长的主要因素。由于试验条件的限制, 对于盐碱胁迫下的根系空间分布、走向以及根系自身对盐碱的调节能力还有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 王善仙, 刘宛, 李培军, 等. 盐碱土植物改良研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(24): 1-7  
Wang S X, Liu W, Li P J, et al. Advances of researches in plant-improvement of saline-alkaline soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(24): 1-7
- [2] 徐芬芬, 罗雨晴. 混合盐碱胁迫对芹菜种子萌发的影响[J]. 生物加工过程, 2012, 10(1): 63-66  
Xu F F, Luo Y Q. Effects of complex saline-alkali stress on seed germination in *Apium graveolens*[J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2012, 10(1): 63-66
- [3] 张国盛, 黄高宝, 张仁陟, 等. 种植苜蓿对黄绵土表土理化性质的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(5): 88-93  
Zhang G S, Huang G B, Zhang R Z, et al. The effects of lucerne on top soil properties of Huangmian soil[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(5): 88-93
- [4] 王继和, 杨自辉, 胡明贵, 等. 干旱区盐渍化土地综合治理技术研究[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 64-66  
Wang J H, Yang Z H, Hu M G, et al. Research of the comprehensive technologies on transformation and utilization of saline land in arid areas[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(1): 64-66
- [5] 梁泉, 廖红, 严小龙. 植物根构型的定量分析[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 695-702  
Liang Q, Liao H, Yan X L, et al. Quantitative analysis of plant root architecture[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(6): 695-702
- [6] 毛齐正, 杨喜田, 苗蕾. 植物根系构型的生态功能及其影响因素[J]. 河南科学, 2008, 26(2): 172-176  
Mao Q Z, Yang X T, Miao L. The ecological roles and influencing factors of plant root architecture[J]. Henan Science, 2008, 26(2): 172-176
- [7] Lynch J P. Root architecture and plant product[J]. Plant Physiology, 1995, 109: 7-13
- [8] 弋良朋, 马健, 李彦. 盐胁迫对3种荒漠盐生植物苗期根系特征及活力的影响[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(2): 86-94  
Yi L P, Ma J, Li Y. Characteristics and vitality of the roots in the seedling stage in the three desert plants under salt stress[J]. Science in China (Earth Sciences), 2006, 36(2): 86-94
- [9] 童辉, 孙锦, 郭世荣, 等. 等渗  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  和  $\text{NaCl}$  胁迫对黄瓜幼苗根系形态及活力的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(3): 37-41  
Tong H, Sun J, Guo S R, et al. Effects of iso-osmotic  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{NaCl}$  stress on root morphology and activity of cucumber seedlings[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(3): 37-41
- [10] 姚彩艳, 汪晓丽, 盛海君, 等.  $\text{NaCl}$  和 PEG 胁迫对玉米幼苗根系生长的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 28(4): 42-46  
Yao C Y, Wang X L, Sheng H J, et al. Effects of osmotic stress caused by  $\text{NaCl}$  or polyethylene glycol on root growth of maize at seedling stage[J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2007, 28(4): 42-46
- [11] 陈新红, 叶玉秀, 周青, 等. 盐胁迫对小麦幼苗形态和生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(33): 14408-14410  
Chen X H, Ye Y X, Zhou Q, et al. Effect of salt stress on morphological and physiological characteristics in wheat seedlings[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2008, 36(33): 14408-14410
- [12] 段九菊, 郭世荣, 康云艳, 等. 盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和多胺代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 57-64  
Duan J J, Guo S R, Kang Y Y, et al. Effects of salt stress on cucumber seedlings root growth and polyamine metabolism[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 57-64
- [13] 闫永庆, 刘兴亮, 王崑, 等. 白刺对不同浓度混合盐碱胁迫的生理响应[J]. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1213-1219  
Yan Y Q, Liu X L, Wang K, et al. Effect of complex saline-alkali stress on physiological parameters of *Nitraria tangutorum*[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(10): 1213-1219
- [14] Hoagland D, Arnon D I. The water-culture method for growing plants without soil[J]. California Agricultural Experiment Station Bulletin, 1938(1): 1-39
- [15] Bates T R, Lynch J P. Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability[J]. Plant Cell and Environment, 1996, 19(5): 529-538
- [16] 李文晓, 张岁岐, 丁圣彦, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5140-5150  
Li W Y, Zhang S Q, Ding S Y, et al. Root morphological variation and water use in alfalfa under drought stress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(19): 5140-5150
- [17] 高艳, 田秋英, 石凤翎, 等. 黄花苜蓿与蒺藜苜蓿对土壤低磷胁迫适应策略的比较研究[J]. 植物生态学报, 2011, 35(6): 632-640  
Gao Y, Tian Q Y, Shi F L, et al. Comparative studies on adaptive strategies of *Medicago falcata* and *M. truncatula* to phosphorus deficiency in soil[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(6): 632-640
- [18] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际系统盐分分布特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 827-832  
Yi L P, Ma J, Li Y. Salt distribution patterns in rhizosphere system of desert halophytes[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(5): 827-832
- [19] Passioura J B. Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1988, 15(5): 687-693
- [20] Riley D, Barber S A. Salt accumulation at the soybean [*Glycinemax* (L.) Merr.] root-soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal, 1970, 34(1): 154-155
- [21] 沈其荣, 王建林. 两种不同耐盐大麦根际中离子的分布特征[J]. 土壤学报, 1993, 30(4): 366-373  
Shen Q R, Wang J L. Distribution characteristics of ions in the rhizosphere of two barley varieties with different salinity tolerance[J]. Acta Pedologica Sinica, 1993, 30(4): 366-373
- [22] Thompson D I, Edwards T J, Van Staden J. A novel dual-phase culture medium promotes germination and seedling establishment from immature embryos in South African *Disa*

(Orchidaceae) species[J]. Plant Growth Regulation, 2007, 53(3): 163-171

[23] 刘杰, 张美丽, 张义, 等. 人工模拟盐、碱环境对向日葵种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(10): 1818-1825  
Liu J, Zhang M L, Zhang Y, et al. Effects of simulated salt and alkali conditions on seed germination and seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.)[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(10): 1818-1825

[24] 霍平慧, 师尚礼, 李剑锋, 等. 碱胁迫对超干处理紫花苜蓿种子出苗和成苗的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 655-660  
Huo P H, Shi S L, Li J F, et al. Germination and seedling growth of ultra-dried alfalfa seed under alkali stress[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(3): 655-660

[25] 赵彦坤, 张文胜, 王幼宁, 等. 高 pH 对植物生长发育的影响及其分子生物学研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 783-787  
Zhao Y K, Zhang W S, Wang Y N, et al. Research progress in physiology and molecular biology of plant responses to high pH[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 783-787

## 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 2013 年博士招生目录

中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心前身为始建于 1978 年的中国科学院石家庄农业现代化研究所。2002 年, 与中国科学院遗传与发育生物学研究所进行整合, 成立了“中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心”, 保留独立事业单位法人资格。拥有中国科学院院士 1 人, 引进中国科学院“百人计划”人才 4 名。

研究中心沿北纬 38 度带分别在河北省元氏县、栾城县和南皮县建立了 3 个野外试验台站, 形成了从山地丘陵—山前平原区—滨海平原区具有不同生态类型的农业科学研究基地。其中栾城生态农业系统试验站于 2005 年晋升为国家首批野外试验台站, 同时也是中国科学院生态网络台站成员和国际 GTOS 成员。此外中心还拥有中国科学院农业水资源重点实验室、河北省节水农业重点实验室。

自 2002 年进入中国科学院知识创新工程以来, 面向国家水安全、粮食安全、生态环境安全的重大战略需求和农业资源与生态学前沿领域, 以农业水资源高效利用为重点, 在节水理论与技术、农业生物技术、生态系统及信息管理等领域, 开展应用基础研究, 集成创新资源节约型现代农业模式, 为区域农业持续发展做出了基础性、战略性、前瞻性贡献。

招生专业: 生态学学术型硕士、博士研究生; 生物工程全日制专业学位硕士研究生。

研究生在相关研究领域取得了突出成绩, 学生毕业后赴国内外大学、科研院所等企事业单位就职、升学或从事博士后研究工作。所有学生在学期间不仅不收取任何学费, 非定向生还享有相应的奖/助学金, 硕士生每年 25 000 元左右, 博士生每年 35 000 元左右, 定向生和委培生也可申请三助奖酬金。此外, 部分优秀学生每年可获得中国科学院研究生院奖学金、冠名奖学金等奖励。

学生住宿条件优越, 宿舍宽敞明亮(每间两人), 具有独立卫生间、空调, 食堂伙食可口且价位适中。热忱欢迎相关专业有志青年踊跃报考及推免!

单位代码: 80156      地址: 石家庄市槐中路 286 号      邮政编码: 050022  
联系部门: 人教部门      电话: 0311-85801050, 85814366      联系人: 王老师, 毛老师

学科、专业名称(代码) 研究方向	指导教师	预计招生人数	考试科目	备注
071300 生态学		11		以国家下达计划数为准
01 区域农业耗水模拟	沈彦俊		①英语一②生态学③气象学与气候学	
02 山地水循环与农业可持续发展	张万军		同上	
03 生态水文	杨永辉		同上	
04 盐渍区水土资源高效利用	刘小京		①英语一②生态学③土壤学	
05 小麦水分高效利用基因克隆与功能研究	张正斌		①英语一②分子生物学③植物生理学	
06 小麦遗传育种	李俊明		同上	
07 小麦优异基因的发掘和利用	安调过		同上	
08 植物发育及抗逆生理	刘西岗		同上	
09 植物抗逆分子机理研究	李霞		同上	
10 植物免疫信号转导	吕东平		同上	
11 作物水分生理及节水调控	刘孟雨		同上	