植物营养与肥料学报 2001,7(2):211~217
Plant Nutrition and Fertilizer Science

NaCl 胁迫对苜蓿和羊草苗期生长及养分吸收的影响

李品芳[1], 侯振安[2], 龚元石[1]
(1 中国农业大学资源与环境学院土壤和水科学系, 北京 100094;
2 新疆石河子大学农学院农业科学系, 新疆石河子 832003)

摘要:通过模拟试验研究了 NaCl 胁迫对苜蓿和羊草苗期生长及养分吸收的影响。结果表明,NaCl 胁迫对苜蓿生长及养分吸收的影响明显高于羊草。在稳定供水条件下,羊草生长的临界土壤溶液 NaCl 浓度为 254mmol/L,临界土壤总盐量为 0.59%;苜蓿生长的临界土壤溶液 NaCl 浓度为 130mmol/L,临界土壤总盐量为 0.35%。苜蓿的光合能力受盐胁迫的影响比羊草大,尤其是日最大净光合速率随盐度水平的增加明显降低。随土壤含盐量的增加,苜蓿和羊草植株 N、P 含有率变化较小,但积累量显著减少;K 的比吸收率显著降低,植株 K 含量减少;植株 Na 的 SAR 随土壤盐分增加显著提高,Na 含量不断积累增加,植株 K/Na 降低。

关键词:苜蓿;羊草;NaCl;净光合速率;比吸收率
中图分类号:S54;Q945.78　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2001)20-0211-07

草地盐渍化是草场退化的主要原因之一[1]。长期以来由于过分开发和管理粗放使草场盐渍化日益严重,不仅影响农牧业生产潜力的发挥,导致直接经济损失,而且造成严重的生态环境问题。在盐渍生境中,植物生长受到盐分离子和许多矿质养分离子之间交互作用的影响,造成植物体内养分吸收、利用和分配的不平衡,同时也增加了植物对必需营养元素的需求。盐渍土壤中高浓度的盐分离子,特别是 Na^+ 和 Cl^- 对植物的危害较重,极易造成植物的营养失调。Na^+ 和 Cl^- 对植物造成的伤害可以通过干扰 N、P、K、Ca、Mg 等矿质元素的吸收而表现。在整株水平,盐胁迫通常导致 Na^+ 和 Cl^- 含量的增加以及 K^+、Ca^{2+}、NO_3^- 和无机磷(Pi)浓度的降低[2~5]。

苜蓿和羊草是我国干旱草原牧业生产中最具代表性的两种牧草。近年来国内开展了一些羊草耐盐性的研究[6,7],但关于盐分对苜蓿矿质营养吸收和利用的影响及其与生长关系的报道较少。为此,开展了 NaCl 胁迫对苜蓿和羊草生长与营养元素吸收利用的影响进行了比较研究,探讨 NaCl 胁迫下苜蓿和羊草的营养吸收特性及其对生长的影响,为开发利用盐渍化草场和发展草业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自内蒙古察哈尔右翼前旗的盐化草甸土。土壤质地为砂壤土,pH8.39,有机质 23.90g/kg,

收稿日期:1999-11-16
基金项目:国家自然科学基金(39800110)项目资助。
作者简介:李品芳(1936—),女,内蒙古自治区人,副教授,主要从事土地退化及其防治技术的研究。

全氮 1.35g/kg，碱解氮 105.20mg/kg，速效磷(P)4.58mg/kg，速效钾(K)126.93mg/kg。供试牧草为紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和羊草(*Leymus Chinesis*)，草种由中国农业大学绿洲草业发展中心提供。

1.2 试验设计

试验在中国农业大学科学园温室内(温度 30℃，相对湿度 40.8%)进行，使用长宽 30cm×10cm、高 50cm 的土箱(PVC 塑料板材)，底层装入 5cm 厚的细石子，上垫玻璃丝布一层，然后按土壤容重 1.5g/cm^3 分层装土 45cm，土箱底部连接马氏瓶用于定水位持续供水，水位固定在土箱下部 45cm 处。供试土壤在装箱前均匀拌入 NaCl 进行一次性盐化处理。试验设 4 个盐度水平：1)NaCl 26 mmol/L(对照，T0)；2) NaCl 125 mmol/L(T1)；3) NaCl 216 mmol/L(T2)；4) NaCl 308 mmol/L(T3)。不同处理的盐分含量与离子组成见表 1。

表 1 不同处理土壤水溶性盐分含量与离子组成

Table 1 Contents of soil salt and ions in different treatments

处理	总盐(%)	Ecw	离子含量 Ions contents(cmol/kg)						
Treat.	Tot.salt	(mS/cm)	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
T0	0.172	0.41	0.54	0.84	0.96	0.39	0.98	0.36	0.68
T1	0.339	0.80	0.54	4.02	0.87	0.35	3.98	0.37	0.73
T2	0.516	1.18	0.56	6.85	1.01	0.37	6.91	0.39	0.75
T3	0.690	1.56	0.57	9.73	1.09	0.36	9.85	0.39	0.79

供试苜蓿和羊草在室内进行育苗，待苗龄 20d 后挑选长势均匀一致的苗移入土箱，每箱 40 株，每个处理重复 3 次。待马氏瓶水位稳定后，每天记录马氏瓶读数，计算苜蓿和羊草的蒸散量。在处理 15d 时用 BAU 便携式光合测定仪测定苜蓿和羊草的单叶净光合速率，30d 后采集植株样品，测定植株的茎叶和根的鲜重和干重，并分析植株的化学元素含量。

1.3 分析方法和数据处理

植株样品采用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮法处理。全 N 用比色法测定；全 P 用钒钼黄比色法测定；K 和 Na 用火焰光度计法测定。

土壤盐分测定用 5∶1(水土比)水提液。电导率用 DDS11—A 型电导率仪测定；CO_3^{2-}、HCO_3^- 用双指示剂滴定法；Cl^- 用 $AgNO_3$ 滴定法；SO_4^{2-} 用 EDTA 间接滴定法；K^+、Na^+ 用火焰光度计法；Ca^{2+}、Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法。

茎叶干重日相对生长速率 RGR(mg/d)计算[8]：

RGR=(处理前茎叶干物质重—处理结束后的茎叶干物质重)/处理时间

根系对矿质元素有效吸收性用比吸收率 SAR ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) 表示[9]，计算公式如下：

比吸收率(SAR)= 植株某矿质元素累积率 / 根系干重

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对苜蓿和羊草生长的影响

不同 NaCl 胁迫条件下，苜蓿和羊草株高、干物质积累和茎叶干重日相对生长速率(RGR)的变化情况见表 2。从表 2 可看出，随盐处理水平的增加，苜蓿和羊草株高和干物质量均显著降低。植株含水量也表现出同样趋势，T0 处理(土壤全盐量 0.172%，NaCl 26mmol/L)植株茎叶和根系的含水量都高于盐处理，但根系含水量差异不显著。从茎叶干重日相对生长速率(RGR)来看，随盐度水平的增加(土壤全盐 0.17%～0.69%)，苜蓿和羊

草的 RGR 显著降低，苜蓿减少 39.5%～77.5%，羊草减少 20.1%～56.5%。同时，T3 处理（土壤全盐量 0.69%）的苜蓿在盐处理 21d 后植株出现萎蔫死亡现象。上述结果表明，盐分抑制植物根系对水分的吸收和干物质的积累，使牧草生长受阻，鲜草和干草产量降低。苜蓿和羊草相比，羊草的生长受盐分的抑制相对较轻，其耐盐性更强，能适应 308mmol/L NaCl 的盐渍生境。

表 2　NaCl 胁迫对苜蓿和羊草生长的影响

Table 2　Effect of NaCl stress on growth of *Medicago sativa* and *Leymus Chinesis*

牧草 Grass	处理 Treat.	株高 Height (cm)	植株含水量(%) Plant water content		干物质重(mg/plant) Dry weight		RGR($mg \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$) Relative growth rates
			茎叶 Shoot	根 Root	根 Root	茎叶 Shoot	
苜蓿	T0	19.97 a	79.04 a	56.05 a	66.27 A	108.85 A	2.53 a
(*Medicago*	T1	17.20 b	75.97 a	51.25 a	50.83 B	88.92 B	1.53 b
sativa)	T2	14.21 c	71.84 b	49.51 a	33.76 C	61.17 C	0.85 c
	T3	14.48 c	68.45 b	52.15 a	28.27 D	47.56 D	0.53 d
羊草	T0	17.21 a	72.89 a	49.68 a	29.20 A	50.87 A	1.54 a
(*Leymus*	T1	15.60 b	68.75 a	41.83 a	24.09 B	46.86 A	1.23 b
Chinesis)	T2	12.51 c	60.97 b	46.64 a	19.52 C	39.02 B	0.97 c
	T3	12.24 c	62.10 b	45.80 a	17.22 C	32.95 C	0.67 d

注：不同大、小写字母分别表示差异达 1%、5% 水平。

Note: Different small and capital letters means significant an 5% and 1% levels, respectively

2.2　影响牧草生育的盐分临界浓度

以茎叶干重日相对生长率(RGR)作为 NaCl 胁迫的抑制指标，能更真实地反映出植物体的干物质积累和消耗间的平衡趋势[10]。考虑到苜蓿和羊草都具有一定的耐盐性，在轻盐渍化土壤中，土壤全盐＜0.20%其生长正常[11～12]。假定 T0 处理的 RGR 为 100%、相对生长抑制率为 0，计算不同盐度处理羊草和苜蓿的相对生长抑制率。用 Logistic 生长曲线方程拟合土壤溶液 NaCl 浓度(X)与相对生长抑制率(Y)得到拟合曲线方程：

羊草：$Y = 89.33 / (1 + 11.713\ e^{-0.0097x})$　　$R_{yx} = 0.9988^{**}$

苜蓿：$Y = 82.01 / (1 + 10.507\ e^{-0.018x})$　　$R_{yx} = 0.9995^{**}$

用 Logistic 生长曲线方程拟合土壤含盐量(X)与相对生长抑制率(Y)得到拟合曲线方程：

羊草：$Y = 89.33 / (1 + 17.65\ e^{-4.90x})$　　$R_{yx} = 0.9771^{**}$

苜蓿：$Y = 82.01 / (1 + 17.28\ e^{-8.23x})$　　$R_{yx} = 0.9970^{**}$

由此可见，土壤溶液 NaCl 浓度与总盐量对羊草和苜蓿的相对生长抑制率用 Logistic 方程拟合，效果良好，相关系数都达到了极显著水平。从拟合方程可以看出，随土壤含盐量的增加，相对生长抑制率逐渐上升，呈“S”型曲线关系。由拟合方程可确定出相对生长抑制率增长最快时的土壤含盐量即 Y = K/2 时的土壤含盐量，也就是通常所称的临界土壤含盐量[13]。在本试验条件下，羊草生长的临界土壤溶液 NaCl 浓度为 254mmol/L，临界土壤含盐量为 0.59%；苜蓿生长的临界土壤溶液 NaCl 浓度为 130mmol/L，临界土壤含盐量为

0.35%。

2.3 NaCl胁迫对苜蓿和羊草光合作用的影响

光合作用是牧草产量形成的基础，净光合速率(NPn)是反映牧草光合能力的一项重要指标。试验结果(图1)表明，苜蓿和羊草在盐渍条件，净光合速率降低，光合能力减弱。从其单叶净光合速率日变化来看，盐处理的净光合速率均较对照低，且盐度水平越高，净光合速率降低的越明显，尤其在日光辐射量最大的中午(12:00左右)，最高净光合速率的降低更为显著。T3处理苜蓿的日最大净光合速率不到T0的一半(为T0的46.8%)，处理间的变差系数为30.1%；而羊草T3处理只比T0降低了32.3%，处理间的变差系数为16.8%。说明苜蓿的光合作用受盐胁迫的抑制较羊草显著，这与盐胁迫对牧草生长的影响趋势一样，证明牧草生长降低的原因之一与光合受抑制有关。

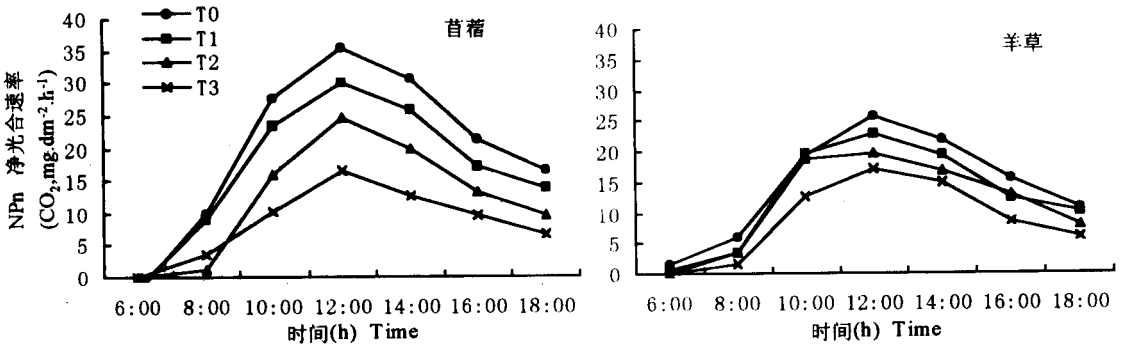

图1 不同盐度水平苜蓿和羊草单叶光合日变化

Fig.1 Diurnal variation of net photosynthesis rate of *Medicago Sativa* and *Leymus Chinesis* at different salt levels

2.4 NaCl胁迫对苜蓿和羊草矿质元素吸收的影响

2.4.1 矿质元素含量 表3看出，N、P含量受盐分抑制程度较小，但随NaCl胁迫的加剧，牧草生长量明显降低，因而植株N、P的总含量随处理盐度水平的增加而显著下降。苜蓿和羊草K元素含量随处理盐度水平的增加而减少，而Na的含量则不断增加，植株K/Na比降低。上述结果表明，土壤溶液中高浓度的Na和Cl抑制了苜蓿和羊草对N、P、K三要素的吸收积累。苜蓿和羊草相比，NaCl胁迫对苜蓿K的吸收影响显著，低盐处理(T0,T1)苜蓿植株K含量都比羊草高，但随盐度水平的增加苜蓿的K含量迅速下降，T3处理的苜蓿K含量已低于羊草，K/Na比降为0.47，而羊草的K/Na比为0.59。

羊草和苜蓿茎叶Na含量(X)与植株茎叶干重日相对生长率(Y)之间存在显著的负相关关系，苜蓿为 $Y=3.617-0.0021X$($R^2=-0.9914^{**}$)；羊草为 $Y=1.902-0.0009X$($R^2=-0.9702^{**}$)。随着茎叶Na含量的增加，植株茎叶干重日相对生长率显著降低。随着茎叶Na含量的增加，苜蓿茎叶干重日相对生长率的下降幅度较羊草大，茎叶中Na含量每增加100μmol/g,DW，苜蓿茎叶干重日相对生长率降低6.61%，而羊草降低4.97%。

上述结果表明NaCl胁迫抑制了苜蓿和羊草对N、P、K三要素的吸收积累，尤其K的吸

收量显著减少,而 Na 的含量则不断积累增加。苜蓿和羊草相比,NaCl 胁迫对苜蓿 K 含量影响显著,低盐处理(T0,T1)苜蓿植株 K 含量虽比羊草高,但随盐度水平的增加苜蓿 K 的含量迅速下降,而 Na 的含量则直线上升。

2.4.2　植株矿质元素的比吸收率(SAR)　苜蓿和羊草 K 的比吸收率受 NaCl 胁迫的影响较大,随处理盐度水平的增加,K 的比吸收率迅速降低,尤其是苜蓿 K 的比吸收率降低更为明显。T0 和 T1 处理苜蓿 K 的比吸收率分别为 4.4 和 4.03 $mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$,比羊草高 0.73 和 0.36 $mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$,但 T3(高盐)处理苜蓿 K 的比吸收率为 2.51 明显低于羊草的 2.90 $mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$。表明在盐渍土壤中,盐分离子(主要是 Na^+)抑制苜蓿和羊草根系对 K 的吸收,特别是苜蓿受 NaCl 胁迫的抑制更为显著。NaCl 胁迫对苜蓿和羊草 P 的比吸收率影响不显著,不同盐度处理苜蓿和羊草 P 的比吸收率变化不大。Na 的比吸收率随盐度水平的增加而迅速上升,苜蓿 Na 的比吸收率由 1.1 增加到 3.13 $mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$,羊草 Na 的比吸收率从 0.91 升至 2.91 $mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$。相同盐度条件下苜蓿植株 Na 的比吸收率都比羊草高。

表 3　不同 NaCl 胁迫下苜蓿和羊草植株矿质元素含量(mmol/g,DW)

Table 3　Effect of NaCl stress on mineral element contents of *Medicago sativa* and *Leymus Chinesis*

处理	N		P		K		Na		K/Na	
Treat.	MS	LC	MS	LC	MS	LC	MS	LC	MS	LC
T0	1.92	1.09	0.35	0.36	1.28	1.02	0.54	0.43	2.37	2.79
T1	1.86	1.02	0.32	0.33	1.13	0.96	0.98	0.65	1.15	1.48
T2	1.87	0.96	0.29	0.31	0.92	0.90	1.28	1.09	0.72	0.83
T3	1.84	0.98	0.30	0.31	0.72	0.77	1.52	1.30	0.47	0.59

MS: 苜蓿 *Medicago sativa* ; LC:羊草 *Leymus Chinesis*

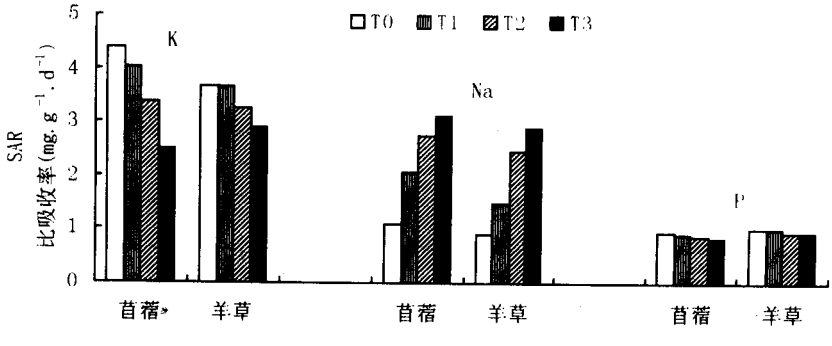

图 2　不同盐度处理苜蓿和羊草的矿质元素比吸收率(SAR)

Fig 2　SARs of *Medicago Sativa* and *Leymus Chinesis* at different salt level

3　讨论

在稳定水分条件下,土壤溶液中过量的 NaCl 导致苜蓿和羊草株高降低,生物量减少,主要和 NaCl 胁迫抑制苜蓿和羊草的光合和蒸腾有关。NaCl 胁迫下的低水势引起植物叶片

水势下降,导致气孔导度下降、蒸腾减弱是影响多种生理生化过程的根本原因。同时 NaCl 胁迫降低光合作用速率,减少同化物与能量的供给,从而限制了植物的生长发育[14]。此外,NaCl 胁迫造成植物组织盐分离子的积累和必须营养元素吸收量减少而造成的营养失调也是植物生长减弱的原因之一。

羊草的光合作用受 NaCl 胁迫的抑制比苜蓿轻,且盐度水平越高表现得越明显,这使得羊草在高盐分条件下仍维持较高的相对生长量。羊草较苜蓿有强的耐盐性也与二者的营养吸收特性有关。在轻度 NaCl 胁迫下,苜蓿的 N、P、K 含量都比羊草高,但随着土壤盐分的不断增加,植株 N、P、K 的吸收利用受到抑制,尤其是 K 含量迅速减少,逐渐低于羊草。NaCl胁迫对苜蓿 K 的比吸收率的影响比羊草更为显著,造成苜蓿营养严重失调。同时苜蓿对 Na 的吸收累积能力也比羊草强,使得苜蓿植株体内积累大量的 Na,植株 K/ Na 比大幅降低(由 2.35 降至 0.47),对苜蓿造成毒害。另外,2 种牧草在不同 NaCl 胁迫下,其根系的元素吸收积累并向地上部运输受水分影响的差异性如何还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 朱兴运,沈禹颖,等. 盐渍化草地培育的理论基础[J]. 草业科学,1997,5:20-22.

[2] Cramer G R, Epstein E and Lauchli A. Effects of sodium potassium and calcium on salt-stressed barely(Ⅱ) Elemental analysis[J]. Physiol. Plant, 1991, 81: 197-202.

[3] Grattan S R and Grieve C M. Mineral element acquisition and growing response of plants grown in saline environments [J]. Agric Ecosyst. and Envir., 1992, 38: 275-300.

[4] Izzo R, Navari-Izzo F and Quartacci M F. Growth and mineral absorption in maize seedling as affected by increasing NaCl concentrations[J]. J. Plant Nutr., 1991, 14: 687-701.

[5] Martinez V and Lauchli A. Salt-induced inhibitions of phosphate uptake in plant of cotton (*Gossypium hirsutum* L)[J]. New Phytol., 1994, 126: 609-614.

[6] 王萍,殷立娟,李建东. 中性盐和碱性盐对羊草幼苗胁迫的研究[J]. 草业学报,1994,3(2):37-43.

[7] 殷立娟,石德成,王萍. 盐碱化草地羊草生长的适应性与耐盐渗透调节[J]. 植物学报,1993,35(8): 619-625.

[8] Glenn E P and Brown J. Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of Atriplex canescens (Chenopdiaceae) varieties in drying soil[J]. American J. of Botany, 1998, 85(1): 10-16.

[9] Romreo and Maranon. Long-term responses of *Melilotus segstails* to salinity (Ⅱ): Nutrient absorption and utilization[J]. Plant cell and Envir., 1994, 17: 1249-1255.

[10] 石德成,殷立娟. Na_2CO_3 胁迫下羊草苗的胁变反应及数学分析[J]. 植物学报,1992,34(5):386-393.

[11] 殷立娟,石德成,王萍. 盐碱化草地羊草生长的适应性与耐盐渗透调节[J]. 植物学报,1993,35(8):619-625.

[12] 梁云媚,李燕等. 不同 NaCl 胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J]. 草业科学,1998(6):21-25.

[13] 翁永红,蒋尤泉,王承斌. 牧草耐盐性鉴定指标和方法的初步研究[J]. 中国草地,1992,(1):30-34.

[14] Munns. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses[J]. Plant Cell and Envir., 1993, 16: 15-24.

Effect of NaCl stress on growth and nutrient absorption in seedling of *Medicago sativa* and *Leymus Chinesis*

LI Pin-fang[1], HOU Zhen-an[2], GONG Yuan-shi[1]

(*1 China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2 Shihezi University, Shihezi 832003, China*)

Abstract: *Medicago sativa* and *Leymus Chinesis* were exposed to different content of NaCl (26 mmol/L(T0), 125mmol/L(T1), 216mmol/L(T2), 308 mmol/L(T3)) in a controlled pot culture system for 30 days. Growth reduction by salt-stressed was significantly greater in *Medicago sativa* than in *Leymus Chinesis* and *Leymus Chinesis* represented a higher salt resistance than *Medicago sativa* . The salinity critical values of NaCl concentration in soil were 130mmol/L for *Medicago sativa* , and 254 mmol/L for *Leymus Chinesis* . In total salt content the values were 0.35% and 0.59%, respectively. The effect of salt stress on net photosynthesis rate (NPn) was more distinct in *Medicago sativa* than in *Leymus Chinesis* . Salt stress decreased the content of K, but did not affect the contents of N and P. Comparison with *Leymus Chinesis*, *Medicago sativa* showed a lower specific absorption rate (SAR) of K, but a higher SAR of Na.

Key words: *Medicago sativa*; *Leymus Chinesis*; NaCl; net photosynthesis rate (NPn); specific absorption rate (SAR)