

盐胁迫对紫花苜蓿根系形态特征和水分利用效率的影响

黄依婷, 郭 鹏, 许涵杰

(大连民族大学 环境与资源学院, 辽宁 大连 116600)

摘要:为提高紫花苜蓿的耐盐能力,分别采用盆栽试验和田间试验,利用 Delta-t scan 根系分析软件对不同盐处理下紫花苜蓿根总面积、根总长度、平均直径和根尖数进行分析。结果表明:在田间试验条件下,在低度盐浓度胁迫下,无论不同土壤深度还是全株根系分析过程中,只有平均直径略有所下降,其它各根系形态指标均呈上升趋势。中度盐胁迫下,根系的平均直径和根总长度显著低于轻度盐处理,但还高于对照。重度盐胁迫下,各根系指标均低于对照。但在盆栽试验下,随着盐胁迫的加重,各根系指标均呈下降趋势。另外在轻度盐胁迫下发现叶片通过降低 Tr 和提高 WUE 的方式减少水分的损失,提高植物的耐盐性,但随着盐胁迫的加重, WUE 逐渐下降。总之盐胁迫下紫花苜蓿根面积、根长度、根尖数、根平均半径等形态上的变化虽然趋势不一,但彼此相互协调一方面维系了根系的吸水功能进而提高对盐胁迫的一种适应性反应。

关键词:紫花苜蓿;根系;盐胁迫;水分利用效率

中图分类号:S551⁺.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)04-0114-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.04.0114

根系是植物与土壤直接接触的营养器官,它将植物固定于土壤中,并从中获取生长所需的水分及养分,而后运送到茎叶使其得以伸展,经转化后的有机物再运回根系利用。此外,由于根系与所在土壤的物质交换,它还影响着土壤的结构和肥力^[1-3]。紫花苜蓿是多年生豆科牧草,它具有营养价值高,粗蛋白、维生素和矿物质含量丰富,氨基酸的组成齐全,适口性好等特点,是我国重要的植物性蛋白饲料,在我国农牧业生产和生态经济建设中发挥着巨大作用^[3-5]。紫花苜蓿在豆科牧草中的抗盐性较强,种植紫花苜蓿的草地表层土壤中可溶性盐含量明显下降,土壤肥力有所提高。由于紫花苜蓿品种的耐盐性鉴定和筛选是紫花苜蓿耐盐品种选育的基础,近年来国内外许多学者对紫花苜蓿耐盐性及相关内容进行了研究^[6-10]。但紫花苜蓿根系形态特征有多个组分,且在田间条件下不同土壤深度的根系也有差别,这些组分对盐胁迫的适应性应答是趋同还是分异,目前尚不明晰。同时,水分利用效率的变化亦可反映紫

花苜蓿耐盐性问题。因此,本文拟对盐胁迫下紫花苜蓿根系阶段性形态变化及与水分利用之间的关系予以阐述,以期进一步揭示逆境下紫花苜蓿水分吸收与利用的适应机制和它的耐盐能力。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于大连市经济技术开发区大连民族学院试验地,位于 $N38^{\circ}43'$ ~ $40^{\circ}10'$ 、 $E120^{\circ}58'$ ~ $123^{\circ}31'$,属北半球暖温带半湿润大陆性季风气候,兼有一定的海洋性气候特点。全年平均气温 $10.5^{\circ}C$,平均降水量 $550\sim 950\text{ mm}$,雨量多集于 6-8 月份。大连地区位于辽东半岛南部,属海滨低丘陵的地形地貌,石灰岩分布较广并多覆盖红粘土。试验地土壤 pH 为 7.4,速效磷为 $17.47\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾为 $87.65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $20.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质含量为 1.07%,田间持水量为 18.48%,土壤空隙度为 52.65%。

1.2 材料

供试紫花苜蓿品种为公农一号(种子由吉林省农业科学院草地研究所提供),2010 年播种于大连民族学院试验地。

1.3 方法

1.3.1 田间试验不同土壤深度根系形态分析 盐处理设 3 个水平:CK($0\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)、LSS($3.6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)、MSS($10.8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)、SSS($18\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)。完全随机区组设计,3 次重复。小区面积为 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$,为

收稿日期:2016-02-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31170168);国家星火计划资助项目(2013GA651006);国家火炬计划资助项目(2012GH531899)

第一作者简介:黄依婷(1994-),女,云南省大理市人,在读学士,从事植物抗逆学研究。E-mail:hyt@126.com。

通讯作者:郭鹏(1980-),男,山东省青岛市人,博士,讲师,从事植物抗逆学研究。E-mail:gp@dlnu.edu.cn。

消除盐分侧向运动的影响,相邻小区间隔 1 m,并在四周进行塑料布隔离处理。NaCl 在 2012 年返青后按试验设计施入量一次性施入,试验期间不浇水,不喷洒农药防治病虫害,于 2011 年入冬前按 0~10、10~20、20~30 cm 分层进行取样分析。扫描的图片用 Delta-t scan 软件进行分析。具体根系形态学参数根总面积(total area)、平均直径(average diameter)、根尖数。2012 年重复上述试验,下同。

1.3.2 盆栽环境下不同盐胁迫下对全株根系形态特征扫描 田间试验取回入冬前根系样品洗净后可直接放于扫描仪上进行扫描。室内盆栽试验选取公农一号紫花苜蓿种子,消毒处理后,将其均匀播种于放好轻质蛭石的小花盆里,用 Hoagland 营养液培养。于室内培养 30 d 后,用培养液配制的不同浓度 NaCl 盐溶液 S0(0 mmol·L⁻¹)、S1(50 mmol·L⁻¹)、S2(150 mmol·L⁻¹)、S3(200 mmol·L⁻¹) 分别进行处理。盐胁迫 15 d 后,将整盆植株完整倒出并用去离子水清洗干净并吸干表面水分后,将其浸入 1% 的结晶紫溶液中染色后放入 50% 的乙醇溶液中于冰箱中保存备用。扫描前再用去离子水冲洗根系,而后才可将根系放入装有去离子水的透明盘里进行扫描^[3]。扫描的图片用 Delta-t scan 软件进行分析。具体根系形态学参数为根总面积、根总长度、平均直径和根尖数。

1.3.3 蒸腾速率和水分利用效率的测定 分别选取田间和盆栽试验苜蓿叶片,利用产于美国的 Licor-6400 光合便携仪分别测定田间和盆栽苜蓿在不同盐浓度的光合参数(选取长势一致且倒数第 3 片完全展开的健康完整叶片活体测定紫花苜蓿叶片的光合生理指标,每个处理重复 3 次),所有测定均在 09:00-11:00 完成。光合有效辐射(PAR)控制在 800 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$,参比气体采自温室顶部,CO₂ 浓度约为 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,环境温度和大气湿度没有特别控制。测定的主要光合作用参数有:Pn(净光合速率)、蒸腾速率(Tr)。其中,水分利用效率:WUE=Pn/Tr。

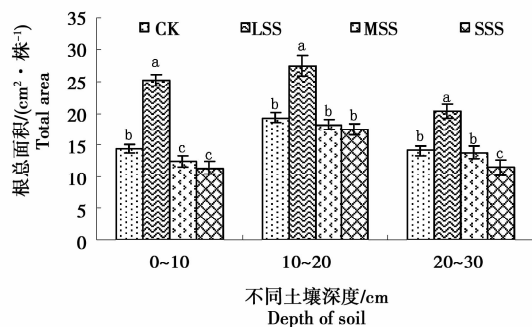
1.3.4 数据分析 试验数据用 Excel 2003 软件处理后,采用 SPSS 13.0 数据处理软件进行相关性分析与显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同盐胁迫对田间不同土壤深度紫花苜蓿根总面积的影响

由图 1 可以看出,各层土壤的根总面积在轻

度盐处理(LSS)下均较对照显著增加(与对照比较分别增加了 66.05%、35.82%、46.67%, $P < 0.05$)。随着盐处理程度的加大,根总面积开始下降。0~10 cm 土层的根总面积在中度盐处理(MSS)时显著低于对照(与对照比较降低了 9.7%, $P < 0.05$),20~30 cm 土层的根总面积在重度盐处理(SSS)时显著低于对照(与对照比较降低了 20.7%, $P < 0.05$),而其它土层差异不明显。重度盐胁迫下,使紫花苜蓿根总面积下降,但 10~20 cm 土层的根总面积在重度盐处理时仅比对照下降了 4.67%,并未达到显著差异。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Different lowercases mean significant difference at 0.05 level.
The same below.

图 1 盐胁迫对紫花苜蓿根总面积的影响

Fig. 1 Effect of salt stress on total area of alfalfa roots

2.2 不同盐胁迫对田间不同土壤深度紫花苜蓿根系平均直径的影响

由图 2 可知,0~10 cm 和 10~20 cm 土层的根系平均直径在轻度和中度盐处理下,变化不显著;在重度盐处理下才显著低于对照(分别下降了 9.5% 和 17.6%)。而 20~30 cm 土层的根系平均直径在轻度盐处理下,变化不显著;在中度盐处理下,显著高于对照(比对照上升了 10.6%);当重度盐处理时,又显著低于对照(比对照下降了 26.7%)。

2.3 不同盐胁迫对田间不同土壤深度紫花苜蓿根尖数的影响

由图 3 可以看出,轻度盐处理下 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的根尖数均出现上升趋势,且 10~20 cm 土层与对照差异显著(比对照上升了 7%)。当盐处理程度进一步加大时,这两层土壤的根尖数又开始下降,并在重度盐处理下显著低于对照(分别降低了 14.2% 和 8.6%)。而 20~30 cm 土层的根尖数随盐处理程度的加剧而持续减少,在重度盐处理下比对照降低了 63.6%。

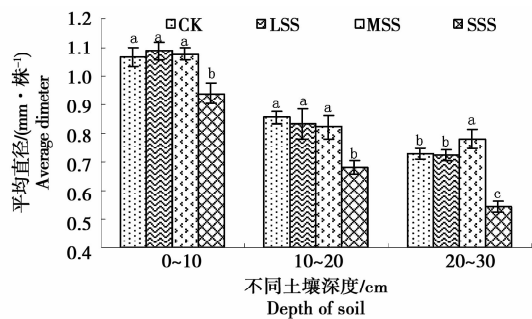


图2 盐胁迫对紫花苜蓿根系平均直径的影响
Fig.2 Effect of salt stress on average diameter of alfalfa roots

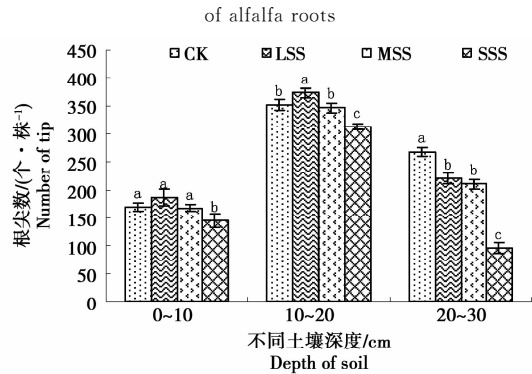


图3 盐胁迫对紫花苜蓿根尖数的影响
Fig.3 Effect of different NaCl concentration on number of tip of alfalfa roots

2.4 田间和盆栽环境下不同盐胁迫对全株根系形态特征的影响

在田间和盆栽试验中,从表1和表2中的根系形态指标可以看出,盐分对紫花苜蓿根总面积、根总长度、平均直径及根尖数均有影响。轻度盐处理下,田间和盆栽试验的根总面积都增加,但在田间试验未与对照达到显著性差异;而根总长度和根尖数的增加,与对照相比呈现显著性差异($P<0.05$)。而三年生紫花苜蓿根系的平均直径,在田间试验条件下显著高于对照($P<0.05$),说明在此盐浓度紫花苜蓿根系受到轻微的水分胁迫,为缓解这一伤害,根总面积、根总长度、根系的平均直径和根尖数的增加,以便从土壤中吸收更多的水分。而中度盐处理时,通过对田间试验下根系的观察,根系的平均直径和根总长度显著低于轻度盐处理($P<0.05$),但还高于对照。但大多细侧根都已衰老死亡(见图4)。盆栽试验下根系在中度盐处理时的上述根系指标都低于对照,这可能是由于盆栽紫花苜蓿的根系还未发育成熟,更容易受到盐分的影响。重度盐处理下的紫花苜蓿幼苗根系的参数在田间和盆栽试验下下降明显。

表1 田间盐胁迫下对紫花苜蓿根系形态特征的影响

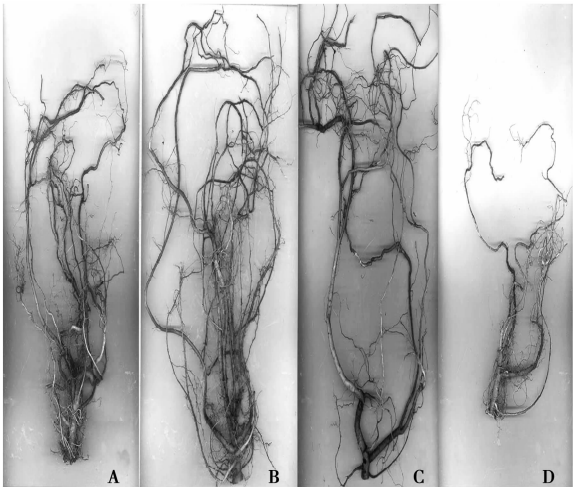
Table 1 Effect of salt stress on the root systemmorphological characteristics of alfalfa in field and pot experiments

试验方式	盐处理	单株根总面积/cm ²	单株根总长度/cm	单株平均直径/mm	单株根尖数/个
Test method	Salt treatment	Total area per plant	Total length per plant	Average diameter per plant	Number of tip per plant
田间试验	CK	69.64 a	680.77 b	1.01 bc	805.25 b
	LSS	72.54 a	704.39 a	1.16 a	830.41 a
	MSS	58.24 b	685.18 b	1.04 b	751.98 c
	SSS	49.85 c	517.06 c	0.96 c	584.49 d
盆栽试验	S0	2.66 b	30.54 bc	0.22 a	29.67 b
	S1	3.87 a	41.59 a	0.24 a	35.33 a
	S2	2.26 c	28.16 b	0.18 b	22.67 c
	S3	1.96 c	26.57 c	0.17 b	12.33 d

2.5 田间和盆栽环境下根系形态特征与盐浓度的相关性分析

为进一步确定根系形态特征和盐浓度的关系,对田间和盆栽试验下根系形态特征和盐浓度的相关性进行分析。由表2和表3可以清晰的反映出它们之间的相关性。田间试验条件下,除平

均直径外,其它根系形态均与盐浓度呈极显著的负相关。根总面积除与根总长度显著正相关外,与其它各根系形态指标均呈极显著正相关。这说明盐分对紫花苜蓿根系的生长有一定的抑制作用,且各根系形态指标的变化规律相一致。而盆栽试验条件下,盐浓度与根总面积显著负相关,与



A. CK; B. LSS; C. MSS; D. SSS

图 4 紫花苜蓿根系在盐处理后的形态变化

Fig. 4 Change of alfalfa roots under NaCl stress

平均直径和根尖数呈极显著负相关,但未与根总长度达到显著水平,各根系形态指标间的相关性

也不如田间观测条件下显著,这可能是由于试验条件及生长时期的不同所引起的。

2.6 不同浓度盐胁迫对紫花苜蓿蒸腾速率水分利用效率(WUE)的影响

由图 5 可知,在盆栽和田间条件下,Tr 和 WUE 在不同盐浓度胁迫下的变化趋势是一致的。不同之处在于田间试验在所有盐处理下的 WUE 都比盆栽试验的低,而 Tr 却比盆栽试验下相同盐胁迫处理下高。在无胁迫处理时,盆栽试验与田间试验测得的 WUE 分别为 3.44 和 3.00 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 。但在轻度盐处理下,盆栽和田间实验的 WUE 比对照分别增加了 14.83%和 20.00%。随着盐浓度的增加,WUE 不断下降,其中重度盐处理下降至最低(分别降低了 80.5%和 93.3%)。而 Tr 在田间和盆栽试验中随着盐胁迫的加重一直不断降低,直到严重盐胁迫时降至最低(与对照分别降低了 42.8%和 30.2%)。

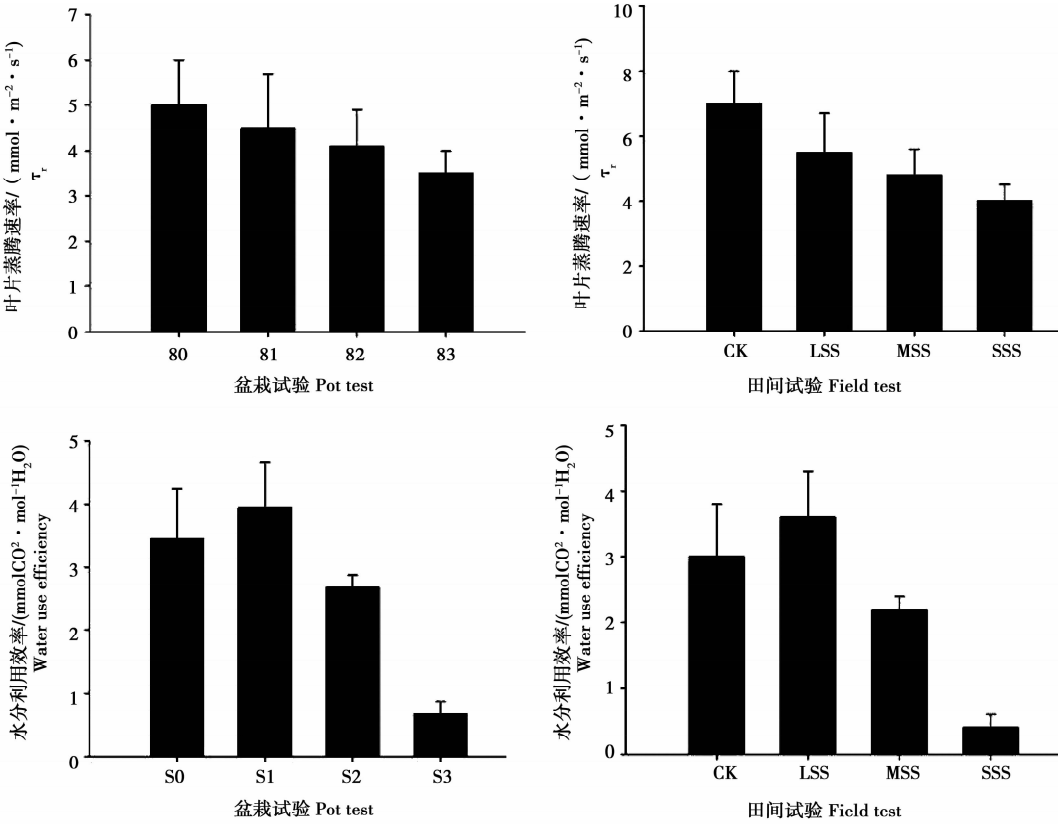


图 5 盐胁迫对紫花苜蓿蒸腾速率和水分利用效率的影响

Fig. 5 Effect of different NaCl concentration on T_r and WUE

表 2 田间试验中盐浓度与紫花苜蓿根系形态特征的 Person 相关性

Table 2 Person relevency between salt concentration and root system morphological characteristics of alfalfa in field experiment

项目 Items	盐浓度 Salt concentration	根总面积 Total area	根总长度 Total length	平均直径 Average diameter	根尖数 Number of tip
盐浓度 Salt concentration	1	-0.899**	-0.752**	-0.508	-0.916**
根总面积 Total area		1	0.696*	0.747**	0.875**
根总长度 Total length			1	0.583*	0.907**
平均直径 Average diameter				1	0.709**
根尖数 Number of tips					1

**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。下同。
**Correlation is significant at 0.01 level (2-tailed). *Correlation is significant at 0.05 level (2-tailed). The same below.

表 3 盆栽试验中盐浓度与紫花苜蓿根系形态特征的 Person 相关性

Table 3 Person relevency between salt concentration and root system morphological characteristics of alfalfa in pot experiment

项目 Items	盐浓度 Salt concentration	根总面积 Total area	根总长度 Total length	平均直径 Average diameter	根尖数 Number of tips
盐浓度 Salt concentration	1	-0.657*	-0.104	-0.850**	-0.886**
根总面积 Total area		1	0.015	0.517	0.854**
根总长度 Total length			1	-0.082	0.182
平均直径 Average diameter				1	0.646*
根尖数 Number of tips					1

3 结论与讨论

植物根系生长在土壤中,它可以将由土壤中吸收的各种营养成分通过根的维管组织运输到地上部分,叶片再将制造的有机物运送回根部,促进其生长发育。根作为联系地上与地下的重要纽带,它的形态结构不仅能反映植物根系的生长状况,也能在很大程度上体现地上部分的生长状况。盐胁迫下,植物根系最早感受逆境胁迫信号,并产生相应的生理反应,继而影响地上部水分的利用^[11-13]。因此,盐胁迫下植物根系形态的研究,对调控植物高效用水以及阐明植株耐盐性的强弱具有重要的意义。

本研究利用 Delta - t scan 图像分析系统,获取了不同盐处理下田间不同土壤深度以及盆栽和田间不同盐处理下全株根系形态的特征参数。在不同盐胁迫对田间不同土壤深度根系影响过程中,各层土壤的根总面积在轻度盐处理下均较对照显著增加,随着盐处理程度的加大,根总面积开始下降,0~10 cm 土层的根总面积在中度盐处理时显著低于对照,但其它土壤深度差异不明显。20~30 cm 土层的根总面积在重度盐处理时显著低于对照,而 10~20 cm 土层的根总面积在重度盐处理时仅比对照下降了 4.67%,并未达到显著

差异。总之,这些数据说明轻度盐处理对紫花苜蓿根总面积有促进作用,中度胁迫对根面积影响与对照比较差异不显著,重度盐处理使紫花苜蓿根总面积下降,且对 10~20 cm 土层的影响最小。根平均直径在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层在轻度和中度盐处理下,变化不显著,在重度盐处理下才显著低于对照。该结果说明深层土壤根系平均直径在中度盐处理下的增加,维持了根系从深层土壤吸收水分和养分的能力,反映了盐胁迫下根系的适应性。在高盐处理后,才表现出明显的抑制作用。根尖数在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层轻度盐处理下均出现上升趋势,但随着盐浓度的加大,根尖数呈下降趋势,该结果说明根尖对盐胁迫较其它根系指标更为敏感。

在盆栽和田间不同盐处理下全株根系形态的特征参数分析过程中,轻度盐处理下促进了根系的生长发育,增加了其对盐分的适应性。而中度盐处理下紫花苜蓿根总面积和根尖数开始显著低于对照($P<0.05$),但根总长度和平均直径并未与对照达到显著水平,重度盐处理下除平均直径未与对照达到显著差异外,根总面积、根总长度和根尖数均显著低于对照($P<0.05$),说明此时紫花苜蓿根系的生长受到极大地抑制。总之盐胁迫

下紫花苜蓿根面积、根长度、根尖数、根平均半径等形态上的变化虽然趋势不一,但彼此相互协调一方面维系了根系的吸水功能进而提高对盐胁迫的一种适应性反应,但这种适应能力是有限的,随着盐浓度不断增加,根系质膜透性持续升高,根系生长受到抑制,根系吸收能力明显减弱。

由于盐胁迫改变了水分和离子的热力学平衡,导致根际水势降低,根系吸水困难,加之根系吸收面积降低、吸收能力减弱及水传导性下降,引起根系吸收水分的能力进一步降低^[14-15],导致根系向地上部供应的水分减少。在测定蒸腾速率和 WUE 过程中,随着盐胁迫的加重,田间和盆栽苜蓿叶片 Tr 的显著下降有利于减少地上部水分散失,导致 WUE 在轻度盐胁迫下升高,而 WUE 的提高有利于干物质积累^[16],且由于 Na^+ 进入植物体的量与 Tr 成比例,降低 Tr 可限制 Na^+ 进入叶片,相对减少了毒害离子(Na^+)的吸收^[17]。因此,轻度盐胁迫下,苜蓿叶片 Tr 下降和 WUE 提高是一种适应性反应,既属于非盐生植物的避 Na^+ 机制,也是植物适应渗透胁迫的重要机制之一^[18-21],但非盐生植物的这种适应能力是有限的,随着盐胁迫浓度的加大,植株水分失衡加剧,叶片膨压降低,叶片含水量进一步下降,光合能力持续下降,导致 WUE 降低。总之盐逆境下,紫花苜蓿根系形态的改变是一种开源策略;而蒸腾耗水量的下降以及 WUE 的提高则是节流的一种表现。开源体现在干旱逆境下根系形态的适应性变化上,节流体现在盐逆境下捕获最大限度的水源并用最少量的水分消耗而获得最高的产量。

综上所述,低浓度盐胁迫下根系面积、总根长、根直径、根尖数的升高有利于提高根系吸水能力,同时叶片 Tr 的下降和 WUE 的升高有利于减少地上部水分散失,补偿根系水分供应的不足,是苜蓿对渗透胁迫的适应性反应。但随着盐胁迫浓度时间的加大,各根系形态指标受抑制程度加大,根系吸收能力持续下降,同时 Tr 的下降导致蒸腾拉力降低,水分失衡加剧,导致光合速率进一步降低,进而导致 WUE 降低,盐胁迫对植株的伤害加重。总之,根系吸收能力下降是导致盐胁迫下水分失衡的主要原因,是决定苜蓿品种耐盐性的关键因素。

参考文献:

- [1] 郭敏,付畅.植物根系耐盐机制的研究进展[J].生物技术通报 2012(6):7-12.
- [2] Merchan F, de Lorenzo L, Rizzo S G, et al. Identification of regulatory pathways involved in the reacquisition of root growth after salt stress in *Medicago truncatula*[J]. Plant J,

2007,51(1):1-17.

- [3] 弋良朋,王祖伟.盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布[J].生态学报,2011,31(5):1195-1202.
- [4] 陈积山,李锦华,常根柱,等.10 个紫花苜蓿品种根系形态特征的研究[J].草原与草坪,2009(1):33-36.
- [5] Viands D R. Variability and selection for characters associated with root regeneration capability in alfalfa [J]. Crop Sci, 1988, 28: 232-236.
- [6] Hu Y C, Schmidhalter U. Spatial distribution of inorganic ions and sugars contributing to osmotic adjustment in elongating wheat leaf under saline conditions[J]. Aust J Plant Physiol, 1998, 25: 591-597.
- [7] Neumann P. Salinity resistance and plant growth revisited[J]. Plant Cell Environ, 1997, 20: 1193-1198.
- [8] Pardossi A, Malorgio D, Oriolo D, et al. Water relations and osmotic adjustment in *Apitum graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief[J]. Physiologia Plantarum, 1998, 102(3): 369-376.
- [9] Hund A, Ruta N, Liedgens M. Rooting depth and water use efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought tolerance[J]. Plant and Soil, 2009, 318: 311-325.
- [10] 王晓冬,王成,马智宏,等.短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K^+ 吸收和 Na^+ 、 K^+ 积累的影响[J].生态学报, 2011, 31(10): 2822-2830.
- [11] Bray E A. Molecular responses to water deficit[J]. Plant Physiology, 1993, 103(4): 1035-1040.
- [12] Momma M, Kaneko S, Haraguchi K, et al. Peptide mapping and assessment of cryoprotective activity of 26/27 kDa dehydrin from soybean seeds[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2003, 67: 1832-1835.
- [13] 姜超强,李杰,刘兆普,等.盐胁迫对转 AtNHX1 基因杨树光合特性与叶绿体超微结构的影响[J].西北植物学报, 2010, 30(2): 301-308.
- [14] Melchers G. Haploid Higher plants for plant breeding[J]. Z. Pflanzensucht, 1972, 67(19): 19-32.
- [15] 钟小仙,张建丽,余建明,等.体细胞突变体筛选法获得象草耐盐植株[J].江苏农业学报, 2009, 25(6): 1325-1329.
- [16] 钟小仙,张建丽,张国正.海盐胁迫下象草体细胞突变体苗期生长及 Na^+ 、 K^+ 分配[J].中国草地学报, 2010, 32(1): 48-52.
- [17] Dure L. A repeating 11-mer amino acid motif and plant desiccation[J]. The Plant Journal, 1993, 3: 363-369.
- [18] Robertson M, Chandler P M. A dehydrin cognate protein from pea (*Pisum sativum* L.) with an atypical pattern of expression[J]. Plant Molecular Biology Reporter, 1994, 26: 805-816.
- [19] Soulages J L, Kim K, Arree E L, et al. Conformation of a Group 2 late embryogenesis abundant protein from soybean: Evidence of poly (L-Proline)-type II structure[J]. Plant Physiology, 2003, 131: 963-975.
- [20] Farquhar G D, Raschke K. On the resistance to transpiration of the sites of evaporation within the leaf[J]. Plant Physiology, 1978, 61: 1000-1005.
- [21] Garay-Arroyo A, Colmenero-Flores J M, Garcarrubio A, et al. Highly hydrophilic proteins in prokaryotes and eukaryotes are common during conditions of water deficit[J]. Journal of Biology Chemistry, 2000, 275: 5668-5674.

草业产学研合作的实践与思考

韩微波

(黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进黑龙江省草业发展,简要介绍了黑龙江省农业科学院草业研究所通过加强学科建设、建立试验基地、建设实验室、研究生联合培养基地、产业合作等方式开展产学研结合的实践,并根据自己的体会对黑龙江省草业发展提出建议。

关键词:草业;产学研;合作;思考

中图分类号:S812;G31 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)04-0120-03 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.04.0120

发达的草业是现代农业的重要标志,是畜牧业发展最为重要的物质基础^[1]。黑龙江省是我国重要的商品粮、绿色食品和畜产品生产基地。全省草原面积 433.3 万 hm²,是全国 10 个拥有大草原的省份之一。近年来,黑龙江省畜牧业发展迅速。2014 年黑龙江全省奶牛存栏 197.16 万头,肉牛出栏 263.62 万头,肉羊存栏 846.06 万头^[2]。牛、羊等反刍动物是草食动物,优质饲草是反刍动物身体健康和高效生产的物质基础^[3]。不断增加的牲畜存栏数量,对优质牧草的需求快速增加,对

先进草业生产技术的需求也越来越迫切。

黑龙江省农业科学院草业研究所是黑龙江省一家专门从事草业科研的专业研究机构^[4-5]。近年来,草业研究所在各级部门和领导的支持下,通过加强草业学科建设、建立草业科学试验基地、建设实验室、建立草业学科研究生联合培养基地和博士后工作分站、强化与牧草企业和合作社联系等方式,积极探索产学研合作的路子,获得了一些经验和体会。

1 加强草业学科建设

1.1 建立一支有较强创新能力的草业研究队伍

依托于黑龙江省农业科学院多年草业科研基础。2004 年,草业学科被列为黑龙江省重点学科,目前为省级领军人才梯队。2011 年,国务院学

收稿日期:2016-03-03
作者简介:韩微波(1979-),男,陕西省兴平市人,硕士,副研究员,从事牧草诱变育种研究及科研管理工作。E-mail:alclever@163.com。

Effect of Salt Stress on Root Morphological Characteristics and Leaf Water Use Efficiency in Alfalfa

HUANG Yi-ting, GUO Peng, XUE Han-jie

(Environment and Resources College of Dalian Nationalities University, Dalian 116600)

Abstract: In order to improve the ability of salt tolerance of alfalfa, the field and pot experiment were carried on, the total area, total length, average diameter and tips number of alfalfa roots under different concentration of salt stress were analyzed with the root analysis software of Delta-t scan. The results showed that in the field experiment, all the roots morphological indexes increased in different deep and the whole roots, only except the root average diameter. Under moderate salt stress, the total length and average diameter of root were significantly lower than that in low salt stress, but still higher than that of the control. Under severe salt stress, all the root indexes were lower than the control, but in the pot experiment, all the root indexes showed a downward trend with the increasing salt stress. In addition, under low salt stress, found that the decreasing Tr and increasing WUE mode reduce the loss of water and improve plant salt tolerance, but with the increase of salt stress, WUE decreased. In short, under salt stress, the change of alfalfa root area, root length, root number, root average diameter were not consistent, but they harmonized each other to maintain the water absorption capacity and improved the adaptive reaction to salt stress.

Keywords: alfalfa (*Medicago sativa*); root; salt stress; WUE