

盐胁迫对 NHC 牧草 Na^+ 、 K^+ 、Pro、可溶性糖及可溶性蛋白的影响

田晓艳¹, 刘延吉², 郭迎春²

(1. 辽宁石油化工大学环境与生物工程学院, 辽宁 抚顺 113001; 2. 沈阳农业大学生物科学技术学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:为了改良辽宁营口沿海产业基地 NaCl 型盐碱地,研究了引进美国的 NewHy Crested Wheatgrass (NHC) 盐胁迫下的渗透调节物质变化及其部分耐盐机理。以 1/2 Hoagland 培养液培养 NHC, 3 周后对幼苗进行 NaCl 和土壤盐胁迫处理。结果在 100、200 mmol/L NaCl 盐及土壤盐处理条件下,除根 K^+ /叶 K^+ 值及可溶性糖含量极显著变化外,其他各生理指标均极显著增加。在 300 mmol/L NaCl 处理条件下,各项指标均极显著波动,在 300 mmol/L 土壤盐处理条件下,7 d 后死亡。试验结果表明,NHC 牧草通过增加根 Na^+ /叶 Na^+ 值,增加脯氨酸(Pro)、可溶性糖及可溶性蛋白含量,增强耐盐胁迫能力。NHC 最大耐受盐浓度分别为土壤盐浓度 200 mmol/L, NaCl 浓度 300 mmol/L。

关键词:盐胁迫;牧草;渗透调节物质;可溶性糖;可溶性蛋白

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2008)10-0034-05

^{*1} 盐地植草可以减少土壤水分蒸发,有利于压盐;改善土壤结构和微生物的生境。研究和利用耐盐性较强的牧草,在开发利用沿海滩涂资源、发展畜牧业、旅游业以及生态环境和城市绿化建设中具有十分重要的意义^[1-4]。试验在对辽宁营口沿海产业基地盐碱地进行水溶性盐分分析的基础上,研究 NewHy Crested Wheatgrass(NHC) 牧草耐盐特性^[5-7],美国引进的 NHC 牧草具有蛋白含量高、适口强、耐瘠薄的特点,但缺乏耐盐性报道,试验首先揭示其盐胁迫下根 Na^+ /叶 Na^+ 、根 K^+ /叶 K^+ 、叶片 Na^+ / K^+ 、脯氨酸(Pro)、可溶性糖及可溶性蛋白的变化,为后期研究奠定基础,为其大面积开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

1.1.1 试验土样 辽宁省营口沿海产业基地盐碱地表土,pH 值 7.94,含盐量 1.32%。

1.1.2 试验草种 美国引种的 NHC 牧草。

1.1.3 试验处理 以 1/2 Hoagland 营养液为溶剂,配制 NaCl 溶液, Na^+ 离子浓度分别为 100、200、300 mmol/L;选择营口沿海产业基地地区土壤盐溶液, Na^+ 离子浓度分别为 100、200、300 mmol/L;以 1/2 Hoagland 营养液为对照(CK)。

苗期试验采用钵钵水培法栽培。Hoagland 培养液内置网筐支持种子,播种密度 3 粒/cm²。3 周后对幼苗进行 NaCl 和土壤盐胁迫处理,每 2 d 称量 1 次,计算水分蒸发,补充水分,每周换 1 次处理液,处理后第 1、3、5、7、10、20、30 天取样,进行生理指标测定。

1.2 测定方法 K^+ 、 Na^+ 采用原子吸收分光光度法;可溶性糖含量采用蒽酮比色法;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法;Pro 含量采用茚三酮法。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对根 Na^+ /叶 Na^+ 的影响 根、叶中 Na^+ 的分配代表耐盐特性,根中 Na^+ 含量高表示植物拒盐,叶中 Na^+ 含量高表示植物释盐或泌盐。试验中根 Na^+ /叶 Na^+ 值见表 1,对照根 Na^+ /叶 Na^+ 值在 0.83~1.12 变化,第 10 天出现峰值 1.12。在 100 mmol/L 浓度下,NaCl 处理根 Na^+ /叶 Na^+ 比值变化在 0.87~1.71,第 7 天出

收稿日期:2007-09-20

基金项目:辽宁(营口)沿海产业基地耐盐植物绿化工程项目(A20060921)

作者简介:田晓艳(1971-),女,辽宁沈阳人,讲师,硕士,主要从事细胞工程研究工作。

E-mail:maggietian2002@163.com

通讯作者:刘延吉 E-mail:yanjiliu@yahoo.com.cn

表 1 盐胁迫对 NHC 牧草根 Na^+ /叶 Na^+ 的影响

时间 (d)	NaCl 浓度 (mmol/L)				土壤盐溶液浓度 (mmol/L)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
1	0.83 ^D	0.87 ^C	0.91 ^B	1.07 ^A	0.83 ^D	0.90 ^A	0.89 ^B	0.86 ^C
3	0.90 ^D	1.01 ^C	1.44 ^B	2.13 ^A	0.90 ^D	1.14 ^C	1.54 ^B	2.81 ^A
5	0.90 ^D	1.36 ^C	1.93 ^B	2.50 ^A	0.90 ^D	1.52 ^B	1.87 ^A	1.41 ^C
7	0.87 ^D	1.71 ^C	2.66 ^A	1.75 ^B	0.87 ^D	1.27 ^B	2.36 ^A	1.13 ^C
10	1.12 ^D	1.33 ^C	2.25 ^A	1.73 ^B	1.12 ^C	1.23 ^B	2.13 ^A	—
20	0.91 ^D	1.38 ^C	2.46 ^A	1.75 ^B	0.91 ^C	1.23 ^B	2.06 ^A	—
30	0.96 ^D	1.41 ^C	2.57 ^A	1.70 ^B	0.96 ^C	1.25 ^B	2.22 ^A	—

注:同列不同字母间表示差异极显著($P < 0.01$)。下表同。

现峰值 1.71, 而土壤盐处理根 Na^+ /叶 Na^+ 值在 0.90~1.52, 第 5 天出现峰值 1.52; 说明盐胁迫下, 使根 Na^+ /叶 Na^+ 值升高, 并且峰值出现时间提前, 说明盐胁迫造成了植株伤害, 但仍能正常生长。

在 200 mmol/L 浓度下, NaCl 及土壤盐处理根 Na^+ /叶 Na^+ 值变化为 0.91~2.66 及 0.89~2.36, 说明中、低度盐胁迫下, NHC 牧草将吸收的 Na^+ 截留在根部, 抑制其向叶片运输, 从而减轻盐胁迫对 NHC 牧草植株的伤害。

在 300 mmol/L 浓度处理下, NHC 牧草外观明显脱水, 并且在土壤盐处理下, 7 d 后死亡。说明以 NaCl 为主的土壤复合盐对植株伤害更严重。

表 2 盐胁迫对 NHC 牧草根 K^+ /叶 K^+ 的影响

时间 (d)	NaCl 浓度 (mmol/L)				土壤盐溶液浓度 (mmol/L)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
1	0.69 ^D	0.71 ^C	0.90 ^A	0.80 ^B	0.69 ^D	0.71 ^C	0.90 ^A	0.75 ^B
3	0.70 ^D	0.74 ^C	0.87 ^A	0.84 ^B	0.70 ^D	0.72 ^C	0.84 ^B	0.89 ^A
5	0.71 ^D	0.77 ^C	0.77 ^B	0.92 ^A	0.71 ^D	0.76 ^C	0.78 ^B	1.02 ^A
7	0.67 ^D	0.78 ^C	0.80 ^B	0.89 ^A	0.67 ^D	0.74 ^C	0.80 ^B	1.20 ^A
10	0.70 ^D	0.82 ^C	0.85 ^B	0.87 ^A	0.70 ^C	0.81 ^B	0.83 ^A	—
20	0.65 ^D	0.81 ^C	0.83 ^B	0.86 ^A	0.63 ^C	0.75 ^B	0.81 ^A	—
30	0.69 ^D	0.84 ^C	0.86 ^B	0.89 ^A	0.69 ^C	0.82 ^B	0.85 ^A	—

2.3 盐胁迫对 NHC 牧草叶片中 Na^+ / K^+ 的影响 在多数植物体内 Na^+ 、 K^+ 的吸收具有拮抗作用, Na^+ 含量增加抑制 K^+ 吸收。表 3 中对照 Na^+ / K^+ 值为 1.32~1.44, 处于平稳状态; 在

2.2 盐胁迫对根 K^+ /叶 K^+ 的影响 表 2 中对照根 K^+ /叶 K^+ 值为 0.65~0.71, 处于平稳状态; 在 100 mmol/L 低盐胁迫下, 随着处理时间延长, 叶片中出现轻微 K^+ 营养亏缺, 但不影响植株正常生长。在 200 mmol/L 浓度下, 第 1 天植株受胁迫反应灵敏, 但随处理时间延长, 通过自身调节, 比值均控制在 0.90 以下, 植株仍能正常生长。在 300 mmol/L 浓度下, NaCl 处理根 K^+ /叶 K^+ 值为 0.80~0.92, 第 5 天出现峰值 0.92, 而土壤盐处理根 K^+ /叶 K^+ 值为 0.75~1.20, 第 7 天出现峰值 1.20 后死亡。说明盐毒害作用增大, 叶片中 K^+ 营养亏缺严重而无法进行正常离子转运, 无法正常新陈代谢而导致死亡。此结果也说明了以 NaCl 为主的土壤复合盐对植株伤害更严重。

100 mmol/L 浓度下, NaCl 盐处理 Na^+ / K^+ 值为 1.61~2.40, 第 10 天出现峰值 2.40, 而土壤盐处理 Na^+ / K^+ 值为 1.96~2.75, 第 7 天出现峰值 2.75。说明低盐胁迫下, 植株中 Na^+ 积累已经抑

表3 盐胁迫对 NHC 牧草叶片 Na^+/K^+ 的影响

时间 (d)	NaCl(mmol/L)				土壤盐溶液(mmol/L)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
1	1.44 ^D	1.61 ^C	2.07 ^B	2.94 ^A	1.44 ^D	1.96 ^C	2.51 ^B	4.38 ^A
3	1.35 ^D	1.95 ^C	2.22 ^B	2.67 ^A	1.35 ^D	2.08 ^C	3.02 ^B	4.49 ^A
5	1.34 ^D	2.20 ^C	2.55 ^B	3.38 ^A	1.34 ^D	2.46 ^C	3.20 ^B	6.17 ^A
7	1.44 ^D	2.40 ^C	2.74 ^B	3.53 ^A	1.44 ^D	2.75 ^C	3.34 ^B	7.30 ^A
10	1.32 ^D	2.20 ^C	2.80 ^B	3.51 ^A	1.32 ^C	2.59 ^B	3.21 ^A	—
20	1.39 ^D	2.00 ^C	2.78 ^B	3.24 ^A	1.39 ^C	2.46 ^B	3.25 ^A	—
30	1.33 ^D	2.06 ^C	2.52 ^B	3.42 ^A	1.33 ^C	2.39 ^B	3.04 ^A	—

制了 K^+ 吸收,并且土壤盐处理使 Na^+/K^+ 值峰值增大并提前出现,整个处理期植株经历调节期和适应期,使植株正常生长。在 200 mmol/L 浓度下,NaCl 处理 Na^+/K^+ 值为 2.07~2.80,而土壤盐处理 Na^+/K^+ 值为 2.51~3.34,说明中度盐胁迫下,植株中 Na^+ 积累已经显著抑制了 K^+ 吸收,植株纤弱,但其自身仍能调节生长。在 300 mmol/L 浓度下,NaCl 处理 Na^+/K^+ 值为 2.67~3.53,而土壤盐处理 Na^+/K^+ 值为 4.38~7.30,7 d 后死亡,说明盐毒害作用使 Na^+/K^+ 值严重失调而导致死亡。另外, Na^+/K^+ 值与 NaCl 盐浓度呈显著正相关($y=1.56x+0.63, r=0.969$)。

2.4 盐胁迫对 Pro 含量的影响 植物在盐胁迫下,Pro 含量的迅速增加是植物适应盐渍环境的显著特征之一。表 4 中对照 Pro 含量处于递减状态,第 30 天降至 21.03 $\mu\text{g/g}$;在 100 mmol/L 浓度下,NaCl 处理 Pro 含量为 37.68~50.20 $\mu\text{g/g}$,第 7 天出现峰值 50.20 $\mu\text{g/g}$,而土壤盐处理

Pro 含量为 39.55~49.58 $\mu\text{g/g}$,第 7 天出现峰值 49.58 $\mu\text{g/g}$ 。并且 2 种处理下 Pro 含量都在第 30 天恢复到第 1 天水平,说明低盐胁迫下,植株通过增加 Pro 含量提高耐盐性,调节植株适应性,随处理时间延长,植株通过自身调节恢复其正常生长。

在 200 mmol/L 浓度下,NaCl 处理 Pro 含量为 45.00~125.1 $\mu\text{g/g}$,而土壤盐处理 Pro 含量为 45~218.2 $\mu\text{g/g}$ 。植株中 Pro 含量急剧增加,30 d 后恢复到较低水平。说明中度盐胁迫下,可能激发了 NHC 牧草幼苗的抗盐基因,从而产生了大量的 Pro 以抵御盐伤害。在 300 mmol/L 浓度下,NaCl 处理 Pro 含量为 60.69~187.0 $\mu\text{g/g}$,而土壤盐处理 Pro 含量第 5 天迅速增加到 322.4 $\mu\text{g/g}$,7 d 急剧降到 7.70 $\mu\text{g/g}$ 后死亡。说明盐毒害作用使 Pro 含量严重失调而导致死亡。另外 Pro 含量与 NaCl 盐浓度曾显著正相关($y=1.56x+0.63, r=0.969$)。

表4 盐胁迫对 NHC 牧草 Pro 含量的影响

 $\mu\text{g/g}$

时间 (d)	NaCl 浓度 (mmol/L)				土壤盐溶液浓度(mmol/L)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
1	37.01 ^D	40.00 ^C	45.00 ^B	60.69 ^A	37.01 ^D	40.26 ^C	45.00 ^B	78.11 ^A
3	36.02 ^D	37.68 ^C	65.00 ^B	82.65 ^A	36.02 ^D	39.55 ^C	150.50 ^B	269.50 ^A
5	35.60 ^D	39.66 ^C	103.20 ^B	141.40 ^A	35.60 ^D	45.37 ^C	218.20 ^B	322.40 ^A
7	35.00 ^D	50.20 ^C	125.10 ^B	187.00 ^A	35.00 ^C	49.58 ^B	148.10 ^A	7.70 ^D
10	32.01 ^D	45.00 ^C	80.04 ^B	98.05 ^A	32.01 ^C	45.00 ^B	98.16 ^A	—
20	28.00 ^D	42.01 ^C	68.00 ^B	75.06 ^A	28.00 ^C	44.00 ^B	87.12 ^A	—
30	21.03 ^D	40.02 ^C	53.03 ^B	69.00 ^A	21.03 ^C	40.21 ^B	65.02 ^A	—

2.5 盐胁迫对可溶性糖含量的影响 可溶性糖是植物在盐分胁迫下的一种重要的渗透调节物质。表 5 中对照可溶性糖含量处于缓慢递增状态。盐胁迫条件下,可溶性糖含量随浓度增加而极显著递增,以此降低盐胁迫带来的伤害。在 300 mmol/L 浓度土壤盐处理下,可溶性糖含量在短时间内显著变化,7 d 后死亡。

2.6 盐胁迫对可溶性蛋白含量的影响 同 Pro、可溶性糖一样,可溶性蛋白也是一种重要的渗透调节物质。表 6 中处理 5~10 d,各处理间可

溶性蛋白含量与处理浓度间显著正相关($y = 5.21x + 0.72, r = 0.965$)。可溶性蛋白含量变化趋势与 Pro 含量的变化趋势相反。30 d 时的相关性分析表明,盐分胁迫下,Pro 与可溶性蛋白呈负相关,说明植物体内蛋白质合成受到抑制而分解被促进,使 Pro 含量上升,可溶性蛋白含量下降。而在土壤盐 300 mmol/L 处理下,可溶性蛋白含量在第 1~5 天持续升高,可能是因膜受损,膜蛋白水解成可溶性蛋白的缘故,造成膜的不可恢复改变。

表 5 盐胁迫对 NHC 牧草可溶性糖的影响

 $\mu\text{g/g}$

时间 (d)	NaCl 浓度 (mmol/L)				土壤盐溶液浓度 (mmol/L)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
1	0.333 ^D	0.350 ^C	0.360 ^B	0.379 ^A	0.333 ^D	0.352 ^C	0.390 ^B	0.420 ^A
3	0.349 ^D	0.414 ^C	0.435 ^B	0.523 ^A	0.349 ^D	0.370 ^C	0.450 ^B	0.590 ^A
5	0.361 ^D	0.450 ^C	0.611 ^B	0.641 ^A	0.361 ^D	0.391 ^C	0.480 ^B	0.560 ^A
7	0.370 ^D	0.480 ^C	0.650 ^B	0.710 ^A	0.370 ^D	0.410 ^C	0.680 ^A	0.434 ^B
10	0.382 ^D	0.550 ^C	0.680 ^B	0.728 ^A	0.382 ^C	0.480 ^B	0.691 ^A	—
20	0.418 ^D	0.580 ^C	0.720 ^B	0.750 ^A	0.418 ^C	0.582 ^B	0.710 ^A	—
30	0.480 ^D	0.610 ^C	0.771 ^B	0.821 ^A	0.480 ^D	0.620 ^B	0.741 ^A	—

表 6 盐胁迫对 NHC 牧草可溶性蛋白含量的影响

 $\mu\text{g/g}$

时间 (d)	NaCl 浓度 (mmol/L)				土壤盐溶液浓度 (mmol/L)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
1	1 570.7 ^D	1 606.7 ^C	1 805.6 ^B	2 715.0 ^A	1 570.7 ^D	1 645.0 ^C	2 171.2 ^B	2 432.3 ^A
3	1 685.3 ^B	1 603.0 ^D	1 646.1 ^C	1 789.2 ^A	1 685.3 ^D	1 765.0 ^C	1 871.3 ^B	2 410.0 ^A
5	1 680.0 ^C	1 673.2 ^D	1 706.9 ^B	1 792.5 ^A	1 680.0 ^C	1 570.3 ^D	1 935.6 ^B	2 230.0 ^A
7	1 690.5 ^D	1 702.3 ^C	1 763.6 ^B	1 858.3 ^A	1 690.5 ^C	1 396.4 ^D	1 703.0 ^B	1 875.2 ^A
10	1 640.0 ^D	1 682.0 ^C	1 732.0 ^B	1 780.0 ^A	1 640.0 ^B	1 459.0 ^C	1 730.0 ^A	—
20	1 710.0 ^B	1 765.0 ^A	1 675.0 ^C	1 659.1 ^D	1 710.0 ^B	1 765.0 ^A	1 602.0 ^C	—
30	1 751.1 ^B	1 798.0 ^A	1 688.0 ^C	1 648.0 ^D	1 751.1 ^B	1 789.0 ^A	1 596.0 ^C	—

3 讨论与结论

植物的耐盐性很大程度上取决于根系对土壤中盐分离子的选择吸收和盐分在器官、组织及细胞层次上的区域化分布,降低地上部分(尤其是叶片)盐浓度,维持光合作用使植物耐盐。研究中 NHC 牧草根 Na^+ 含量随 NaCl 胁迫时间的延长和增加而上升,将盐离子积累在根部,限制其向叶运输,从而减少盐胁迫对叶的伤害。植株利用积累在根部的盐离子进行渗透调节,降低植株的水势,从而保持植株吸收水分的能力,以免造成生理干旱。而在重盐胁迫下,可能根部细胞膜遭到了严重的破坏,对离子选择吸收的能力下降,导致盐

离子向叶片大量运输而受盐害。 K^+ 的变化与 Na^+ 相反,随着胁迫强度的增加显著降低,且根降低的程度显著高于叶片,这有利于避免叶片 K^+ 缺乏,以保持植株正常生理活动的进行。高盐胁迫下,由于过量的盐离子进入细胞而导致植株根系膜透性增大,根系的选择离子能力发生变化,导致叶片离子平衡破坏,引起植株的营养亏缺,使植株遭到破坏。

另外,在盐、旱胁迫条件下,有机渗透保护物质,如 Pro、可溶性糖及可溶性蛋白等,可以使细胞保持适当的渗透势而防止脱水,同时对生物大分子的结构和功能起到稳定和保护作用。研究中

NHC 牧草幼苗叶片 Pro 和可溶性糖含量在盐胁迫下随着胁迫时间的延长、胁迫强度的增强而显著增加,这有利于降低植株细胞渗透势,保持植株在盐胁迫条件下从外界高渗溶液中吸收水分。但由于可溶性渗透调节物质的显著增加可能使植株消耗了过多的碳水化合物而导致营养亏缺,试验中,在土壤盐浓度 300 mmol/L 处理第 5 天时,虽然植株的可溶性糖和 Pro 含量达到最大值,但植株可能由于消耗了过多的能量而死亡。

综上所述,植株在受到盐胁迫后,首先通过增加渗透调节物质以降低细胞渗透势,增加吸水能力,但由于植株根系处于高渗溶液中,植株中吸收了大量的 Na^+ ,使得 K^+ 吸收减少,在 100、200 mmol/L NaCl 及土壤盐胁迫下,植株能够将 Na^+ 截留在根部,减少有毒离子对叶片的伤害;但在 300 mmol/L NaCl 胁迫下, Na^+ 积累在一定程度上破坏了根系质膜,使其选择吸收离子的能力下降,向叶片运输的 Na^+ 增多,抑制 K^+ 吸收,最终导致植株生理代谢的紊乱。试验结果表明,低盐胁迫能够促进植株地上和地下部分的生长,而 300 mmol/L NaCl 胁迫抑制其生长,这种现象与典型盐生植物对盐胁迫的反应有相似之处,这表明 NHC 牧草植株的抗盐性有其独特的方面,需

要进一步深入的研究。另外,土壤盐胁迫伤害程度大于 NaCl 胁迫。

参考文献

- [1] 刘延吉,张蕾,田晓艳,等. 盐胁迫对碱茅幼苗叶片内源激素、NADKase 及 Ca^{2+} -ATPase 的影响[J]. 草业科学,2008,25(4):51-54.
- [2] 朱兴运,王锁民,阎顺国,等. 碱茅属植物抗盐性与抗盐机制的研究进展[J]. 草业学报,1994,(3):9-15.
- [3] 谢振宇,杨光穗. 牧草耐盐性研究进展[J]. 草业科学,2003,20(8):11-17.
- [4] 李西,毛凯,廖心北. 不同土壤基质对峨眉假俭草生长的影响[J]. 草业科学,2003,20(4):77-80.
- [5] 徐恒刚,张萍,李临杭,等. 对牧草耐盐性测定方法及其评价指标的探讨[J]. 中国草地,1997,(5):52-54.
- [6] 翁森红,聂素梅,徐恒刚,等. 禾本科牧草 K^+/Na^+ 与其耐盐性的关系[J]. 四川草原,1998,(2):22-23.
- [7] 刘志华,赵可夫. 盐胁迫对算茅生长及 Na^+ 和 K^+ 含量的影响[J]. 植物生理与分子生物学,2005,31(3):311-316.
- [8] 王锁民,朱兴运,赵银. 盐胁迫对拨节期碱茅游离氨基酸成分和脯氨酸含量的影响[J]. 草业学报,1994,3(3):22-26.

Effect of salt stress on Na^+ 、 K^+ 、proline、soluble sugar and protein of NHC

TIAN Xiao-Yan¹, LIU Yan-Ji², GUO Ying-Chun²

(1. Environmental Technology and Biotechnology college, Liaoning University of Petroleum Chemical Technology, Fushun Liaoning 113001,China;

2. Biotechnology College, Shenyang Agriculture University, Shenyang Liaoning 110161,China)

Abstract: The changes of osmotic regulators and salt tolerance mechanism of NewHy Crested Wheatgrass (NHC) under salt stress were studied aiming at improving the saline-alkali soil that mainly contains NaCl in Coastal Industry Quarter of Yingkou city in Liaoning province. Seedlings of NHC were cultivated with 1/2 Hoagland nutrient solution, and treated with NaCl solution after 3 weeks. Results showed that under 100, 200 mmol/L soil salt solution and NaCl solution, all physiological indexes increased evidently, except root K^+ / leaf K^+ and soluble protein content. All physiological indexes fluctuated evidently under 300 mmol/L of NaCl solution; and plants died after 7 days of 300 mmol/L soil salt solution treatment. In conclusion, NHC enhanced salt tolerance through increasing root Na^+ /leaf Na^+ , proline content, soluble sugars and soluble proteins. The maximum permissible salt concentration for NHC was 300 mmol/L NaCl solution or 200 mmol/L of soil salt solution.

Key words: salt stress; forage; osmotic regulators; soluble sugar; soluble protein