

叶片淋洗对盐胁迫下玉米生长和矿质营养的影响研究

夏 阳^{1,2,3}, 林 杉², 张福锁², 陶洪斌², 胡恒觉³

(1. 山东农业大学园艺系, 泰安, 271018; 2. 中国农业大学植物营养系, 北京 100094; 3. 甘肃农业大学园艺系, 兰州 730070)

摘要:研究了叶片淋洗对 NaCl 胁迫下两个不同耐盐性玉米品种生长和体内矿质营养含量的影响。结果表明:无盐胁迫时,两品种 pH 3.5 淋洗处理的生物量明显下降,加盐(100mmol/L NaCl)时,各淋洗处理间无明显差异。pH7.0 和 3.5 淋洗降低农大 3138(耐盐中等品种)盐胁迫时茎叶钠含量,茎叶钾含量在不加盐时升高、加盐时降低;而高油 115(盐敏感品种)两元素变化小。高油 115pH3.5 淋洗处理在不加盐时增加茎叶钙的含量,加盐时无影响;农大 3138 不加盐时淋洗对钙无影响,加盐时含量降低。根系 3 元素含量变化小。盐胁迫降低玉米生物量、提高茎叶和根系钠、钙含量、降低钾含量。

关键词:叶片淋洗;盐胁迫;生长;矿质营养;玉米

Effect of foliar leaching on growth and mineral nutrient contents of maize under NaCl stress

XIA Yang^{1,2,3}, LIN Shan², ZHANG Fu-Suo², TAO Hong-Bin², HU Heng-Jue³ (1. *Department of Horticulture, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China*; 2. *Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China*; 3. *Department of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

Abstract: The impact of foliar leaching on growth and mineral nutrient contents of two maize varieties under NaCl stress was investigated. The results showed that, without NaCl stress, the biomass of maize treated by pH 3.5 mist decreased significantly and there was no difference between mist and control treatments under NaCl stress (100mmol/L). The shoot Na⁺ content of var. Nongda 3138 (middle salt-tolerance) with pH3.5 and pH7.0 mist treatment decreased under salt stress, and the K⁺ content increased without salt stress but decreased under salt stress. There were no significant differences for the shoot Na⁺ and K⁺ contents of var. Gaoyou 115 (salt-sensitive) between mist and control treatments. The shoot Ca²⁺ content of pH3.5 mist of var. Gaoyou 115 increased without salt stress and had no effect under salt stress and that of var. Nongda 3138 had no change without salt-stress and decreased under salt stress. The three element contents of root had no significant difference. Salt stress decreased biomass, and increased Na⁺ and Ca²⁺ content and decreased K⁺ content of shoot and root of maize.

Key words: foliar leaching; NaCl stress; growth; mineral nutrition; maize

文章编号:1000-0933(2001)04-0593-05 中图分类号:Q945.1 文献标识码:A

淋洗是指借助于水溶液(如雨水、灌溉水、露水和雾)的作用从植物地上部分将物质除掉,这些物质包

基金项目:国家自然科学基金资助项目“淋洗对植物叶片质体中养分平衡和植物生长的影响”(批准号:3967034)。

现在山东省林业科学研究所工作, 济南 250014

收稿日期:1999-07-06; 修订日期:2000-05-24

作者简介:夏 阳(1962—), 男, 甘肃临洮县人, 博士, 副教授。主要从事农业生态和植物营养学研究。

括植物主动分泌到外表的(如盐腺)、吐水作用分泌的、自叶面损伤丢失的、从完整叶片质外体中淋洗出来的。最后一种形式由于其重要的生态作用而开始受到人们的重视。植物质外体是由细胞壁的纤维和微晶体空间以及充满空气的细胞间隙组成。很久以来,质外体被认为是无生命的,与有生命的原生质相比很少引起研究者的兴趣,直到 80 年代中期,由于研究技术的发展和研究的深入,对质外体的认识才发生了根本性的转变。其中叶片质外体对植物生长的影响,直到最近几年随着微量样本的荧光测试手段和微电极技术的广泛应用才形成新的研究热点。研究发现,叶片质外体在植物营养上起着重要作用,如空气污染时的脱毒、植物的元素中毒和缺素症的发生、矿质养分的吸收、运输和贮藏^[11]等。

以 Oertli^[9]为代表的一些学者认为盐胁迫下植物生长受阻和死亡的原因除了盐分抑制酶的活性外,叶片质外体中盐分积累也是造成植物受害的重要原因,少量的离子可以使狭小的质外体空间离子浓度显著提高,由此导致渗透效应,使细胞失水、膨压丧失和膜结构破坏,并产生盐分的次生伤害,从而抑制植物的生长和发育。过去,人们只认识到叶面淋洗的负作用——一种单纯的养分损失,而没有注意到淋洗能减轻盐分或重金属在植物叶片中的富集而产生的毒害作用。其实,在一些早期的文献中,自然界的淋洗曾被认为是植物适应盐害的一种机理^[12]。淋洗可从完整叶片的质外体中带走无机和有机物质,由此,可以大胆推论,降雨和喷灌不仅可以为植物提供水分,而且从生态学角度看也是植物长期进化过程中形成的有效适应机理。

由于工业化的发展,自然降雨趋向酸化,酸雨对于包括农作物在内的各种植物的影响已成为一个重要的研究课题,有关酸雨对农作物和蔬菜的生长发育、生理过程、病虫害、生产力等方面的影响已多有报道^[1~3],然而,有关植物营养方面的研究则很少。同时,叶片质外体参与了细胞 pH 的调节,而在不同酸碱度下离子的可移动性差别很大,故淋洗液的 pH 值不同对淋洗效果将产生很大影响。因此,本文旨在探讨不同 pH 淋洗液淋洗对盐胁迫下不同耐盐性品种玉米植株生长和矿质营养平衡的影响,为盐碱地条件下作物栽培技术的改进提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试作物

选用盐敏感玉米品种高油 115(简称为 GY)和耐盐性中等的品种农大 3138(ND)作为试材。

1.2 试验方法

种子在 0.3% 的 H_2O_2 中消毒 15min,并在饱和 $CaSO_4$ 溶液中浸泡 30 min,然后移至石英砂中催芽。播种后第 7 天当幼苗长至 5cm 时,移至培养盆中(容积 2L),每盆 6 株,重复 3 次。培养液每 3d 更换 1 次,依次变为水、半量、全量营养液,其配方如下: K_2SO_4 0.75×10^{-3} , $MgSO_4$ 0.65×10^{-3} , KCl 0.1×10^{-3} , $Ca(NO_3)_2$ 2.0×10^{-3} , KH_2PO_4 0.25×10^{-3} , H_3BO_3 1×10^{-6} , $MnSO_4$ 1×10^{-6} , $CuSO_4$ 1×10^{-7} , $ZnSO_4$ 1×10^{-6} , $(NH_4)_6MoO_4$ 5×10^{-9} , $Fe-EDTA$ 1×10^{-4} mol/L。调节 pH(6.0~6.2),光照/黑暗周期为 14/10h,光照强度为 $185 \sim 210 \mu E/m^2 \cdot s$,昼/夜温度分别为 $27 \sim 32 \text{ C} / 23 \sim 26 \text{ C}$ 。

1.3 处理设计

培养液盐浓度分别为 0 和 100mmol/L NaCl;每个盐浓度各设 3 个淋洗处理,即 CK(不淋洗)、pH7.0 和 pH3.5 水淋洗。淋洗液 pH 用 H_2SO_4 和 NaOH 调节,由于在淋洗池中采用专门设计制作的盆盖并辅以相应的保护措施,可完全防止淋洗液进入培养液中。移栽后第 11 天进行加盐处理,同日开始进行淋洗,共淋洗 12 d,每天早晚各淋洗 1 次,每次 5min,相当于 8mm 降水,水滴成弥雾状。催芽至收获共 30d,植物样品在 105 C 下杀青 15min, 70 C 下烘干,磨碎备用。称取 0.5g 混匀的样品,在 550 C 马福炉中灰化 7~8h, 6N 盐酸溶解并定容,每样品重复测定两次,取平均值。

火焰光度计测 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} , 原子吸收分光光度计测 Mg^{2+} 。

2 结果分析

2.1 淋洗对生物量的影响

盐胁迫条件下两个品种的生物量明显下降,而无盐胁迫时,两品种用 pH3.5 淋洗处理皆导致生物量明显下降,ND 和 GY 分别下降至 CK(不淋洗)的 65% 和 58%,表现为盐敏感品种(GY)的下降幅度

较大;对 100mmol/L NaCl 处理淋洗时,各品种不同 pH 淋洗处理间无明显差异(表 1)。

2.2 淋洗对植株体内矿质养分含量的影响

2.2.1 对钠含量的影响 加盐以后,两个品种茎叶和根系 Na⁺ 含量均明显增加。无盐胁迫时,两品种各淋洗处理间茎叶含 Na⁺ 量无明显差异;100mmol/LNaCl 浓度时,ND pH7.0 和 3.5 淋洗处理的茎叶含 Na⁺ 量明显低于 CK,而 GY 各处理间则无明显区别,根系 Na⁺ 含量在同一盐浓度时,各淋洗处理间无明显差异(图 1)。

表 1 叶片淋洗对 NaCl 胁迫下玉米生物量的影响(克/盆)
Table 1 Effect of foliar leaching on biomass production of maize under NaCl stress(g/pot)

品种	NaCl	淋洗液	茎叶干重	根系干重	总干重	为 CK 生长量的 %
Variety	(mmol/L)	Leach sol.	Shoot DW	Root DW	Tot. DW	% of CK
ND	0	CK	16.7±2.4	4.3±1.0	21.0±3.4	100
		pH7.0	16.3±1.8	4.8±0.5	21.1±2.3	101
		pH3.5	11.2±1.9	2.4±0.5	13.7±2.3	65
	100	CK	9.5±1.1	2.2±0.5	11.7±1.6	100
		pH7.0	8.4±1.1	2.4±0.6	10.9±1.7	93
		pH3.5	9.2±2.4	2.5±0.6	11.8±3.0	100
	GY	CK	11.7±0.9	4.0±0.4	15.7±1.2	100
		pH7.0	10.6±1.0	3.6±0.7	14.3±1.6	91
		pH3.5	7.4±1.0	1.7±0.3	9.2±1.3	58
	100	CK	5.9±0.7	2.0±0.4	7.9±1.1	100
		pH7.0	5.6±0.8	2.1±0.4	7.7±1.1	98
		pH3.5	5.9±0.8	2.2±0.4	8.1±1.1	102

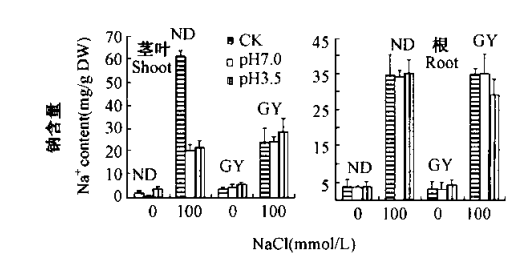


图 1 叶片淋洗对 NaCl 胁迫下两个玉米品种茎叶与根钠含量的影响

Fig. 1 Effect of foliar leaching on Na⁺ contents of shoots and roots in maize

ND,GY 品种 Variety
叶 Ca²⁺ 含量淋洗处理间无明显差异,GYpH3.5 的处理则高于 CK,说明用酸溶液淋洗有利于促进 GY 对 Ca²⁺ 的吸收;加盐时,NDpH7.0 和 pH3.5 淋洗处理的茎叶 Ca²⁺ 含量低于 CK,GY 则无明显差异。根系 Ca²⁺ 含量各淋洗处理间均无差异(表 2)。

2.3 淋洗对植株体相对水分含量的影响

相对含水量=(鲜重-干重)/鲜重,其大小可用来表示植株所受水分胁迫的程度。从表 3 看出,同一盐胁迫下不同淋洗处理对植株相对含水量产生明显影响。

2.2.2 对钾含量的影响 两品种加盐处理的茎叶与根系 K⁺ 含量均低于不加盐处理。无盐处理时,对 ND 用 pH3.5 淋洗液处理时,茎叶的含 K⁺ 量高于 CK,但对 GY 则无明显影响;加盐时,对 ND 用 pH7.0 和 pH3.5 淋洗液处理的含 K⁺ 量低于 CK,而对 GY 则有增加的趋势。无盐处理时,与 CK 相比,对 ND 用 pH7.0 淋洗液处理根系的 K⁺ 含量增加,pH3.5 处理时下降,但对 GY 无明显影响;加盐时,对 NDpH7.0 处理增加,对 GYpH3.0 处理则下降(表 2)。

2.2.3 对钙含量的影响 两品种加盐处理的茎叶与根系 Ca²⁺ 含量高于不加盐处理。不加盐时,ND 茎

表 2 叶片淋洗对 NaCl 胁迫下玉米体内钾钙含量的影响

Table 2 Effect of foliar leaching on K ⁺ and Ca ²⁺ contents of maize under NaCl stress(mg/g DW)						
品种 Variety	NaCl (mmol/L)	淋洗液 Leach sol.	茎叶钾 Shoot K ⁺	根系钾 Root K ⁺	茎叶钙 Root Ca ²⁺	根系钙 Root Ca ²⁺
ND	0	CK	48.4±9.4	39.6±1.3	3.63±0.24	3.39±0.74
		pH7.0	51.9±1.1	45.4±3.3	3.62±0.48	3.79±0.28
		pH3.5	57.0±7.5	34.1±1.2	3.28±0.18	3.23±0.12
	100	CK	43.4±5.8	10.8±0.8	8.77±0.59	5.80±0.74
		pH7.0	35.5±1.5	13.5±3.5	4.70±0.62	5.90±0.56
		pH3.5	34.5±6.7	11.9±4.0	5.87±2.06	5.93±0.20
	0	CK	55.6±4.4	51.1±2.4	3.55±0.38	3.91±1.30
		pH7.0	54.0±8.1	47.4±4.6	3.60±0.19	3.91±0.12
		pH3.5	56.6±16.4	50.9±4.9	5.87±3.57	3.94±0.64
GY	100	CK	28.9±2.5	22.5±0.4	4.61±0.87	6.36±0.42
		pH7.0	30.8±1.1	23.3±2.0	5.08±0.15	5.81±0.47
		pH3.5	33.8±0.9	16.9±3.1	5.18±0.61	5.39±0.24

表 3 叶片淋洗对玉米植株相对含水量的影响

Table 3 Effect of foliar leaching on relative water content of maize under NaCl stress													
品种 Variety		ND						GY					
NaCl(mmol/L)		0			100			0			100		
淋洗液 Leach sol.		CK	pH7.0	pH3.5	CK	pH7.0	pH3.5	CK	pH7.0	pH3.5	CK	pH7.0	pH3.5
地上部 Shoot		0.902	0.903	0.916	0.887	0.900	0.902	0.909	0.914	0.924	0.900	0.908	0.911
地下部 Root		0.923	0.919	0.936	0.929	0.925	0.924	0.930	0.932	0.947	0.934	0.928	0.935
全株 Plant		0.907	0.907	0.921	0.898	0.907	0.908	0.916	0.919	0.929	0.912	0.914	0.919

3 讨论与结论

3.1 叶片淋洗对植物生长的影响

根据在可控制的环境条件和田间条件下,采用人工模拟酸雨所获得的试验结果表明,各种供试作物对 pH3.0~4.0 模拟酸雨的反应是不同的。少部分供试作物的生长发育和产量可被促进,另一少部分供试作物则被抑制,大部分供试作物未表现出任何影响^[1]。本项研究中两个玉米品种在无盐胁迫、pH3.5 淋洗液淋洗时表现生物量下降,但在盐胁迫条件下 pH7.0 和 pH3.5 淋洗处理的生物量未表现出下降趋势,说明由于淋洗所造成的不利影响与同时产生的盐胁迫解除作用(使生物量增加)相抵消,且对盐敏感品种的相对作用(从 58%增至 102%)大于中等抗盐性品种(65%至 100%)。Pennewib 等(1997)^[7]研究了在 100mM NaCl 胁迫下淋洗对 7 种植物生长的影响,结果表明不同种类植物反应各异,其中玉米生长未受到影响,与本试验结果一致。但作者在另一试验中发现,品种 GY 在 100mmol/L NaCl 胁迫下,淋洗可增加其生物量,原因可能是由于植株培养条件(培养室的温度和湿度)和生理状态的差异所致,这也与他人的试验结果相类似^[1,8]。盐胁迫时,植物还会产生生理干旱而对植物生长产生影响,根据 Leonardi^[8]的试验,用 pH3 与 pH5 酸液淋洗相比,前者气孔阻力减小、蒸腾增加,推测这是由于 H⁺ 对植物体中离子平衡和气孔细胞壁的机械特性产生了影响。黄国存等^[4]的研究表明盐害的主要原因是离子效应,而不是水分胁迫。从本试验测定的植物相对含水量,淋洗处理和对照之间没有明显差异。因此,可以认为,淋洗处理在盐胁迫下使植物生物量(相对)增加的原因不是由于淋洗液改善了盐胁迫状态下植株水分状况所致。

3.2 淋洗对盐胁迫条件下植株矿质养分含量的影响

无盐胁迫时,两品种各淋洗处理间含 Na^+ 量无明显差异;这是因为水培液中没有加入 Na^+ ,使植株体内含量很低,淋洗的差异不能体现出来。在盐胁迫条件下,相对耐盐品种淋洗处理的含 Na^+ 量下降,盐敏感品种则未出现差异,体现了不同耐盐性品种在盐胁迫条件下对淋洗反应的适应性差异,其原因可能与品种的耐盐机理有关。无盐胁迫时,pH3.5 淋洗促进了茎叶 K^+ (ND)、 Ca^{2+} (GY) 的含量,Fairfax 等^[6]在试验中也观察到了不加盐处理时酸液淋洗可促进 K^+ 元素吸收的现象。这可用 Dittrich 等^[5]提出的假设进行解释:由于质外体中 H^+ 浓度的增加,在细胞中处于电中性状态的 H^+/Cl^- 吸收中的 H^+ 就会增加,从而产生细胞质吸收 K^+ 的电化学梯度,使得质外体中的 K^+ 向细胞质运输,导致质外体中 K^+ 含量下降而使其淋洗量减少。另一试验结果也可说明这一问题,即当向叶片喷施 NH_4^+ 时,随着细胞对 NH_4^+ 的吸收, K^+ 由细胞内向流动,从而导致其淋洗量的增加^[8]。

3.3 盐胁迫对植株矿质营养含量的影响

盐胁迫导致两个品种茎叶和根系 Na^+ 含量升高、 K^+ 含量下降和 Ca^{2+} 含量升高。

总的来说,本试验中叶片淋洗在一定程度上改变盐胁迫条件下植株体内矿质元素的含量和比例,不同品种反应也有所不同,但含量的变化和差异是有限的,这与根系正常营养条件下的补偿性吸收^[13]和质外体养分占整株养分的比例低有关,如在养分缺乏条件下,则可观察到植株体养分含量的明显降低^[8]。由于质外体在植物营养上的重要作用,特别是在营养胁迫条件下的作用,其含量的微弱变化也可对植物生长发育产生明显影响。事实上,有关淋洗对植物养分含量的影响是复杂的,有关的研究报道很少,对其作用机理及生态学效应尚需进一步深入探讨。

参考文献

- [1] 张耀民. 酸雨对农作物的影响和危害. 农业环境保护,1990,9(6):35~37.
- [2] 周国逸,小仓纪雄. 酸雨对重庆几种土壤中元素释放的影响. 生态学报,1996,16(3):251~257.
- [3] 唐鸿寿. 酸沉降对柳州主要乔灌木影响的研究. 生态学报,1996,16(6):640~644.
- [4] 黄国存,崔四平,马春红,等. 玉米对盐渍或水分胁迫生理反应的研究. 中国农学通报,1994,10(2):8~11.
- [5] Dittrich P, Mayer M and Meusel M. Proton-stimulated opening of stomata in relation to chloride uptake by guard cells. *Planta*, 1979, **144**:305~309.
- [6] Fairfax J A W and Lepp N W. Effect of simulated acid rain on cation loss from leaves. *Nature*, 1975, **255**:324~325.
- [7] Pennewib K, Muehling K H and Sattelmacher B. Leaching from the leaf surface and its significance for apoplastic ion balance. In: Ando T, et al. ed. *Plant nutrition-for sustainable food production and environment*. 1997, 87~88.
- [8] Leonardi S and Fluckiger W. Effect of cation leaching on mineral cycling and transpiration; investigations with beech seedlings, *Fagus sylvatica* L. *New Phytol*, 1989, **111**:173~179.
- [9] Oertli J J. Extracellular salt accumulation, a possible mechanism of salt injury in plants. *Agrochemical*, 1968, **12**:461~469.
- [10] Reolofs J G, Kempers A J, and Houdijk L F M. The effect of air-borne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. maritima in the Netherlands. *Plant and Soil*, 1985, **84**:45~56.
- [11] Starrach N and Mayer W E. Changes of the apoplastic pH and K^+ concentration in the *Phaseolus pulvinus* in situ in relation to rhythmic leaf movements. *J. Exp. Bot.*, 1989, **40**:865~873.
- [12] Tukey H B Jr. The leaching of substances from plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1970, **21**:305~324.
- [13] Turner D P and Tingey D T. Foliar leaching and root uptake of Ca, Mg and K in relation to acid fog effects on Douglas-fir. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1990, **48**:205~214.