DOI: 10.5846/stxb201405040877
徐开杰,史丽丽,王勇锋,李毛,孙风丽,刘曙东,奚亚军.水培条件下 pH 值对柳枝稷幼苗生长发育的影响.生态学报,2015,35(23): - .
Xu K J, Shi L L, Wang Y F, Li M, Sun F L, Liu S D, Xi Y J.Effect of the pH Value on Switchgrass Seedling Growth and Development in Hydroponics. Acta Ecologica Sinica,2015,35(23): - .

水培条件下 pH 值对柳枝稷幼苗生长发育的影响

徐开杰[1],史丽丽[2],王勇锋[1],李　毛[1],孙风丽[1],刘曙东[1],奚亚军[1,*]
1 西北农林科技大学农学院, 杨凌　712100
2 邯郸市农业科学院, 邯郸　056001

摘要:土壤的 pH 值是限制植物生长发育的一个关键因素。柳枝稷是一种可作为牧草,水土保持的多年生 C4 能源植物。试验在水培条件下,利用裂区试验设计,以柳枝稷品种(系)为主区,水培液 pH 值为副区,对反映柳枝稷幼苗生长发育状况的指标进行统计分析。结果显示,随水培液 pH 值的酸碱强度增大,柳枝稷不同品种(系)幼苗的分蘖数、株高、苗鲜重、根冠比、根系活力以及净光合速率都极显著降低($P<0.01$),而幼苗保护酶活性以及丙二醛(MDA)含量则极显著升高($P<0.01$)。尤其是当 PH 值低于 5.0 时,幼苗的受到的胁迫更为明显,幼苗超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性反而急剧下降。与酸胁迫(pH 值<7.0)相比,柳枝稷对碱胁迫(pH 值>7.0)的适应能力更强,其中以西稷 2 号的抗逆性表现最好。因此应用柳枝稷在边际土壤地区推广种植时,要尽量避免强酸性土壤(pH 值<5.0),且选用西稷 2 号品系较为适宜。

关键词:柳枝稷,酸碱胁迫,水培,净光合速率

Effect of the pH Value on Switchgrass Seedling Growth and Development in Hydroponics

XU KaiJie[1], SHI LiLi[2], WANG YongFeng[1], LI Mao[1], SUN FengLi[1], LIU ShuDong[1], XI YaJun[1,*]
1 *Northwest A&F University*, *Yangling* 712100, *China*
2 *HanDanShi Academy of Agricultural Sciences*, *Handan* 056001, *China*

Abstract: With increasing societal and industrial development, soil pollution has become an increasingly serious environmental problem, and hinders the sustainable development of agriculture, especially in acidic and alkaline soils. It is well known that soil pH is a key limiting factor for plant survival and regional adaptation. Planting suitable acid- and alkali-proof plants in these types of soils was the primary focus of the present study. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) belongs to the family Poaceae, and is a warm season C4 perennial grass. It is a highly versatile grass used for soil and water conservation, livestock production, and biomass production as an alternative energy source. As a valuable crop, switchgrass has received much attention worldwide since the 1980 s, and was introduced in China approximately ten years ago. However, the lack of water and food security is a global problem, with switchgrass competing with food crops for limited resources, making its use unrealistic. Fortunately, there are a plenty of marginal soils available on which to grow switchgrass, making its use both practical and valuable. In addition, several studies have shown that switchgrass has strong stress tolerance, including drought, salinity, leanness, acid, and alkali resistance. It is generally recognized that the range of soil pH for the appropriate growth of switchgrass is 4.9 to 7.6, but there have been no detailed reports on its acid and alkali resistance.

To explore the acid and alkali resistance of switchgrass at the seedling stage, which is an important stage for the

基金项目:国家自然科学基金(31171607, 31371690);国家 948 计划项目(2011-G1-19)资助
收稿日期:2014-05-04;　　**网络出版日期**:2015- -
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xiyajun2002@126.com

adaptability of switchgrass to harsh environments, switchgrass seedling growth and development, in addition to net photosynthetic rate (*Pn*), were studied under different pH conditions using the split-unit design in hydroponics. Switchgrass varieties 'Xiji 1' and 'Xiji 2' were bred using the American variety 'Alamo,' while 'Xiji 3' was bred using the American variety 'Natural Switchgrass.' Both American varieties were used as the main factors, while different pH [3.5, 5, 7 (Control check, CK), 9, and 11] were used as the deputy factors. The results revealed that switchgrass seedling tiller number, seedling plant height, seedling fresh weight, seedling root-shoot ratio, seedling root activity, and seedling net photosynthetic rate were sharply reduced, and that seedling protective enzyme activity and MDA (malondialdehyde) content noticeably increased as acid and alkali stress increased ($P<0.01$). In particular, when the pH of the hydroponic solution was less than 5, the effect of stress on switchgrass seedlings was more noticeable because seedling SOD (superoxide dismutase) and POD (peroxidase) activity suddenly showed a sharp decline, seedling growth and development were inhibited, and death was recorded in some instances. The effects of acid and alkali stress on seedling growth differed with switchgrass variety. Compared with acidic hydroponic conditions (pH<7.0), the seedlings of all switchgrass varieties became well adapted to the alkaline hydroponic conditions (pH>7.0); 'Xiji 2' was the most resistant of all switchgrass varieties. Therefore, commercial switchgrass varieties should not be planted in marginal soils that are strongly acidic soil (pH<5.0), with 'Xiji 2' representing the optimal variety for planting switchgrass on marginal soils.

Key Words: Switchgrass (*Panicum virgatum* L.), Acid and alkali resistance, Hydroponics, Net photosynthetic rate (*Pn*)

随着工业的发展,土壤污染问题已经成为了环境污染的重要部分,阻碍着农业的可持续发展。土壤的酸碱性是限制植物在某一地区能否生长以及生长好坏的一个关键因素。目前全世界约有 39.5 亿 hm^2 酸性土壤,其中可耕土壤面积仅为 1.79 亿 hm^2[1]。而盐碱地有 9.54 亿 hm^2[2],土壤的酸化和盐碱化以及次生盐碱化问题已经成为世界灌溉农业可持续发展的资源制约因素。在中国,共有酸性及盐渍化土壤 2035 万 hm^2,约占全国可耕地面积的 21%[3]。在这些土壤上种植合适的耐酸碱植物是目前研究的一大热点。

柳枝稷,属于禾本科(Poaceae)黍属(*Panicum*),是一种新型的生物能源作物,常被用于牧草,水土保持以及生态建设等[4, 5]。据报道柳枝稷具有较强的耐旱,耐酸碱的能力,其最适宜生长的土壤 pH 值范围为 4.9—7.6[6-8],但对柳枝稷耐酸碱能力的研究尚未见详细报道。本试验室从美国引进多个柳枝稷品种(系)在我国北方多地进行了驯化培养,从中选育出多个柳枝稷不同抗逆性材料。试验利用这些品种(系)作为试验材料,对不同 pH 值下反映柳枝稷生长发育的指标进行了研究,以确定不同品种(系)的耐酸碱胁迫的能力,为柳枝稷的进一步推广种植提供试验基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用本试验室提供的'西稷 1 号(Xiji 1)'、'西稷 2 号(Xiji 2)'和'西稷 3 号(Xiji 3)'三个柳枝稷品种(系)作为研究材料。其中'西稷 1 号'、'西稷 2 号'是本试验室从美国引进的低地型品种'Alamo'中筛选培育的 2 个品系,而'西稷 3 号'是从低地型品种'Natural Switchgrass'中选育的一个品系。Alamo 和 Natural Switchgrass 是美国推广种植的重要品种,已先后引入我国多年。

1.2 试验方法

试验采用裂区试验设计,以'西稷 1 号','西稷 2 号','西稷 3 号'三个柳枝稷品种(系)为主区,以水培液的 pH 值为副区。副区酸碱胁迫 pH 值设置为 3.5、5 、7(CK)、9 和 11 共 5 个处理。挑选成熟饱满的柳枝稷种子用 70%酒精表面灭菌 1 min,10%次氯酸钠灭菌 5 min,无菌水冲洗 3—4 次,4℃过夜(破除休眠),然后将种子在 25℃,光照条件下催芽。待柳枝稷幼苗的根长 2 cm 左右时,转移到温室水培容器中,每盆种植 15 株。试验温室管理条件为 25℃,光照强度 240 $\mu M/(m^2.s^1)$,光照时间 12 h/d,每天定时用氧气泵通气 3 次,每次

30 min,每隔 3 d 换一次水培液。待幼苗长到 3—4 片叶、分蘖开始发生时进行试验处理。试验过程中每隔 12 h 利用 1 mol/L 的 NaOH 和 HCl 调节柳枝稷水培液的 pH 值。3 周后测定柳枝稷幼苗的相关指标以确定酸碱胁迫对幼苗生长发育的影响。水培液的定时检测如图 1 以及水培液配方详见附表 1。

1.3　测定项目与方法

在酸碱胁迫处理 3 周后,对影响柳枝稷幼苗生长发育的相关指标进行测定。具体包括测水培苗分蘖数、利用毫米刻度尺测幼苗株高、称量法测幼苗鲜重和幼苗根冠比、TCC(Triphenyltetrazolium Chloride, 氯化三苯基四氮唑) 法测根系活力, NBT (Nitrotetrazolium Blue Choride, 氯化硝基四氮唑蓝)法测幼苗 SOD(Superoxide Dismutase, 超氧化物歧化酶)活性、愈创木酚法测幼苗 POD(Peroxidase, 过氧化物酶) 活性以及用 TBA (Thiobarbituric Acid, 硫代巴比妥酸) 法测幼苗 MDA (Malondialdehyde, 丙二醛)含量[9]。同时在温室中利用 Li-6400 光合仪同步测定柳枝稷叶片的光合速率[10, 11]。

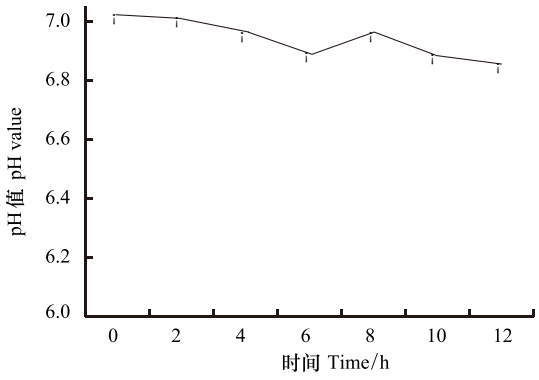

图 1　水培液的 pH 值监控

Fig. 1　Monitoring the pH value of hydroponics

1.4　数据处理

利用 Excel2007 对试验数据进行统计做表(图)和利用 DPS 7.05 裂区试验设计中的 LSD(最小显著差数法)对各试验数据进行方差分析。试验重复 3 次。

2　结果与分析

1.1　酸碱胁迫对柳枝稷幼苗分蘖的影响

在柳枝稷幼苗阶段,由于植株整体处于全生育期的初始期,外界环境的变化有可能对其生长发育产生较大影响。环境的 pH 值对柳枝稷幼苗的生长具有重要胁迫作用,其中对幼苗的影响是随水培液 pH 值的增大幼苗分蘖数呈现出先增后降的趋势,柳枝稷分蘖数在 pH 值为 7.0 时达到最大(西稷 2 号在 pH 值为 9.0 时其分蘖数最大),单株分蘖数约为 11.67(表 1)。方差分析结果表明,柳枝稷不同品种(系)的单株分蘖数受 pH 值的影响表现出显著差异,其中以西稷 2 号的单株分蘖数显著高于西稷 3 号($P<0.05$),而西稷 1 号与西稷 2 号和西稷 3 号间的差异均不显著。在酸性水培液中(pH 值<7.0),柳枝稷的分蘖数随水培液的 pH 值升高而增加,各处理与对照差异达极显著水平($P<0.01$)。但是当水培液的 pH 值增大到碱性环境(pH 值>7.0)时,柳枝稷单株分蘖数则随 pH 值的增大而极显著降低($P<0.01$)。而当水培液的 pH 值增大到 11.0 时,柳枝稷的分蘖数下降到与 pH 值为 5.0 时的处理水平相当。品种(系)与水培液 pH 值的互作效应亦达极显著水平($P<0.01$),其中以西稷 2 号的耐碱性相对最好。

表 1　pH 值对柳枝稷幼苗分蘖数的影响

Table 1　Effect on the tiller number of switchgrass seedling with pH value

处理(pH) Treatments	分蘖数 No. Tillers			均值 Average
	西稷 1 号 Xiji 1	西稷 2 号 Xiji 2	西稷 3 号 Xiji 3	
3.5	3.5±0.5cC	3.0±0eD	3.1±1.0dD	3.17dD
5	7.0±1.0bB	4.5±2.0dC	5.0±0.5cC	5.50cC
7	10.05±1.5aA	12.0±0.5bB	12.5±1.0aA	11.67aA
9	7.5±0.5bB	14.5±0.5aA	8.5±0.5bB	10.017bB
11	6.5±1.5bB	5.5±1.0cC	5.2±0.5cC	5.67cC
均值 Average	7.0abA	7.9aA	6.8bA	

同一列(行)上不同小写字母表示不同处理间的差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)

1.2 酸碱胁迫对柳枝稷幼苗株高的影响

水培液的 pH 值对柳枝稷幼苗株高的影响与分蘖相似,随 pH 值的增大亦呈现出先升后降的趋势,在 pH 值为 7.0 时达到最大(表 2)。方差分析结果表明,pH 值对不同品种(系)的株高影响存在差异,其株高表现趋势为:西稷 2 号>西稷 3 号>西稷 1 号,不同品种(系)间的差异均达极显著水平($P<0.01$)。不同 pH 值处理对柳枝稷株高的影响不同。pH 值在 3.5—7.0 时,柳枝稷的株高随 pH 值的升高而显著的升高。当 pH 值达到 7.0 时,三个柳枝稷品种(系)的株高均达到最大值,此后随水培液 pH 值的升高反而降低,各处理及其与对照间差异均达极显著差异($P<0.01$)。品种(系)与水培液 pH 值的互作效应亦达极显著水平($P<0.01$),其中在碱性环境以西稷 2 号生长相对最好。

表 2 pH 值对柳枝稷幼苗株高的影响

Table 2 Effect on the high of switchgrass seeding with pH value

处理(pH) Treatments	株高 Plant Height /(cm)			均值 Average
	西稷 1 号 Xiji 1	西稷 2 号 Xiji 2	西稷 3 号 Xiji 3	
3.5	23.95±0.95eE	33.11±1.11eE	30.42±1.42eE	29.16eE
5	65.91±0.91dD	75.36±0.36dD	98.41±0.41bB	79.89dD
7(CK)	121.06±0.06aA	124.44±0.56aA	111.50±0.50aA	119.00aA
9	107.48±0.52bB	112.98±0.02bB	93.44±0.44cC	104.63bB
11	80.016±0.16cC	90.09±0.09cC	76.73±0.73dD	82.33cC
均值 Average	79.71cC	87.20aA	82.10bB	

同一列(行)上不同小写字母表示不同处理间的差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)

2.3 酸碱胁迫对柳枝稷幼苗鲜重的影响

植物生长环境的酸碱度会直接间接的影响植物的生长发育,而植物的单株鲜重是衡量植物生长情况的一个重要指标。柳枝稷鲜重受水培液 pH 值胁迫的影响与分蘖、株高相似,随 pH 值的升高呈现出先增后降的趋势,在 pH 值为 7.0 时达到最大(表 3)。经方差分析,不同品种(系)对水培液 pH 值的适应性不同,其中西稷 2 号的幼苗鲜重极显著高于西稷 1 号和西稷 3 号($P<0.01$),后两者的差异不显著。在酸性环境中(pH 值<7.0),柳枝稷幼苗单株鲜重随水培液的 pH 值升高而升高,各处理及其与对照间差异均达极显著水平($P<0.01$)。当水培液的 pH 值继续增大到碱性环境(pH 值>7.0)时,柳枝稷的鲜重又极显著降低($P<0.01$),其中柳枝稷在 pH 值为 11.0 的处理鲜重与 pH 值为 5.0 的处理差异不显著。品种(系)与水培液 pH 值的互作效应达极显著水平($P<0.01$),其中以西稷 2 号在碱性环境中的单株幼苗鲜重相对最大。

表 3 pH 值对柳枝稷幼苗鲜重的影响

Table 3 Effect on the fresh weight of switchgrass seedling with pH value

处理(pH) Treatments	鲜重 Fresh Weight/(g)			均值 Average
	西稷 1 号 Xiji 1	西稷 2 号 Xiji 2	西稷 3 号 Xiji 3	
3.5	6.85±0.96eE	9.81±0.79dD	7.90±1.40dD	8.19dD
5	14.25±0.85cC	18.19±0.65cC	14.73±1.63cBC	15.72cC
7 (CK)	23.38±0.13aA	45.17±1.07aA	27.13±1.43aA	31.89aA
9	19.03±0.83bB	22.10±2.41bB	18.48±0.83bB	19.87bB
11	11.520.45dD	17.41±0.18cC	13.47±1.17cC	14.13cC
均值 Average	15.01bB	22.53aA	16.34bB	

2.4 酸碱胁迫对柳枝稷幼苗根冠比的影响

植物根冠比是指植物地下部与地上部鲜重或干重的比值,它的大小反映了植物地下部分与地上部分的相关性。柳枝稷苗期根冠比随水培液 pH 值的增大而呈现出先升后降的趋势(表 4)。经方差分析,不同品种(系)间对环境 pH 值的敏感不一样,其中西稷 2 号的根冠比极显著的高于西稷 1 号($P<0.01$),而西稷 1 号又

极显著的高于西稷 3 号($P<0.01$)。水培液的不同 pH 值对柳枝稷根冠比的影响存在差异,除西稷 2 号中 pH 值为 9.0 的处理极显著高于对照外($P<0.01$),其余各 pH 值处理的柳枝稷根冠比均极显著低于对照($P<0.01$),且处理间的差异均达极显著水平($P<0.01$)。品种(系)的根冠比与水培液 pH 值间的互作效应达极显著水平($P<0.01$)。西稷 1 号和西稷 3 号均在 pH 值为 7.0 时达到最大值,而西稷 2 号则在 pH 值为 9.0 时达到最大值。这表明西稷 2 号品种(系)比西稷 1 号和西稷 3 号具有更好的酸碱适应性。

表 4　pH 值对柳枝稷幼苗根冠比的影响

Table 4　Effect on the root-shoot ratio of switchgrass seedling with pH value

处理(pH) Treatments	根冠比 Root-shoot Ratio			均值 Average
	西稷 1 号 Xiji 1	西稷 2 号 Xiji 2	西稷 3 号 Xiji 3	
3.5	0.6850±0.151eE	0.6871±0.14dD	0.4631±0.09eD	0.6117eE
5	0.8683±0.05cC	0.9520±0.13cC	0.7895±0.08cB	0.8699cC
7 (CK)	1.2148±0.09aA	1.0661±0.15bB	1.1033±0.03aA	1.1281aA
9	0.9413±0.04bB	1.2691±0.04aA	0.8250±0.04bB	1.0118bB
11	0.774±0.05dD	0.9353±0.03cC	0.05606±0.13dC	0.7566dD
均值 Average	0.8967bB	0.9819aA	0.7483cC	

2.5　酸碱胁迫对柳枝稷幼苗根系活力的影响

根系是植物对水分和矿物质吸收的主要器官,同时又是植物体内重要物质如氨基酸、激素等的合成、同化、运输的器官,因此根系的生长和活力情况将直接影响植物个体的生长状况(表 5)。方差分析结果表明,柳枝稷不同品种(系)的根系活力对 pH 值胁迫的耐性不同,其根系活力表现趋势为:西稷 2 号>西稷 1 号>西稷 3 号,品种(系)间的差异均达极显著水平($P<0.01$)。不同 pH 值对柳枝稷幼苗根系活力的影响是随水培液的酸碱强度的增大而急剧降低,各处理及其与对照间差异均达极显著水平($P<0.01$)。其中柳枝稷幼苗的根系活力对酸胁迫(pH 值<7.0)敏感程度要明显的高于碱胁迫(pH 值>7.0)。这表明柳枝稷幼苗受到 pH 值的胁迫而影响其根系活力,其中幼苗的根系活力随 pH 值胁迫的增大而降低,且柳枝稷对碱性环境(pH 值>7.0)的胁迫作用相对具有更好的耐性。

表 5　pH 值对柳枝稷幼苗根系活力的影响

Table 5　Effect on the switchgrass root activity with pH value

处理(pH) Treatments	根系活力 Root Activity/(ug/gFW/h)			均值 Average
	西稷 1 号 Xiji 1	西稷 2 号 Xiji 2	西稷 3 号 Xiji 3	
3.5	156.62±1.77eE	167.24±1.87eE	134.65±3.66eE	152.50eE
5	819.37±1.76cC	908.80±1.67cC	642.61±1.94cC	790.26cC
7 (CK)	2582.75±1.93aA	2698.94±1.94aA	2035.56±2.46aA	2439.08aA
9	1150.89±1.87bB	1263.01±1.69bB	973.45±1.31bB	1129.12bB
11	474.30±2.36dD	615.85±2.59dD	377.11±5.17dD	489.09dD
均值 Average	1036.78bB	1130.77aA	832.68cC	

2.6　酸碱胁迫对柳枝稷幼苗 MDA 含量的影响

植物在逆境中受到伤害,诱发膜脂过氧化作用而产生脂类过氧化物。其中丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的最重要产物,能间接反映植物在逆境条件下受到的伤害程度大小[12]。柳枝稷在酸碱性环境受到胁迫,其产生的丙二醛含量随水培液的 pH 值的增大而表现出先降后升的趋势(表 6),在 pH 值为 7.0 时达到最低值(表 6)。方差分析结果表明,pH 值胁迫对不同柳枝稷品种(系)MDA 含量的影响不同,其表现以西稷 3 号的 MDA 含量最大,西稷 1 号次之,西稷 2 号含量最少,品种(系)间的差异极显著($P<0.01$)。在酸性环境中(pH 值<7.0),柳枝稷 MDA 含量随 pH 值得增大而减小,各处理间差异均达极显著水平($P<0.01$),此后当 pH 值继续增大到碱性环境(pH 值>7.0)时,柳枝稷 MDA 含量则随 pH 值得增大而极显著的增大($P<0.01$)。柳枝稷幼

苗 MDA 含量中品种(系)与 pH 值处理存在互作效应。在酸性环境(pH 值<7.0)中柳枝稷不同品种(系)受到的伤害基本一致,其中西稷 3 号比其他两个品种(系)稍敏感,而在碱性环境(pH 值>7.0)中,西稷 2 号的 MDA 含量最低,表明西稷 2 号对碱性环境(pH 值>7.0)具有更好的适应性。

表 6 pH 值对柳枝稷幼苗丙二醛含量的影响

Table 6 Effect on the MDA content of switchgrass seedling with pH value

处理(pH) Treatments	丙二醛含量 MDA Content/(mmol/gFW)			均值 Average
	西稷 1 号 Xiji 1	西稷 2 号 Xiji 2	西稷 3 号 Xiji 3	
3.5	1.8124±0aA	1.9831±0aA	1.8438±0aA	1.8798aA
5	1.3861±0.02cC	1.2438±0cC	1.6927±0.02bB	1.4409cC
7 (CK)	0.8582±0eE	0.0575±0.1eE	0.8982±0.01eD	0.7773eE
9	1.2460±0dD	1.1195±0.05dD	1.5431±0.03dC	1.3029dD
11	1.5269±0.01bB	1.2742±0.06bB	1.6634±0.02cB	1.4882bB
均值 Average	1.3659bB	1.2392cC	1.5282aA	

2.7 酸碱胁迫对柳枝稷幼苗保护酶活性(SOD 和 POD)的影响

植物在逆境条件下会表现出加速衰老的现象。而植物体内的保护酶(SOD,POD 和 CAT 等)则可以消除逆境所产生的过氧化物对植物细胞的伤害。试验发现,柳枝稷幼苗在酸碱胁迫条件下同样会表现出衰老现象。随 pH 值胁迫强度的增大柳枝稷幼苗 SOD 活性呈升高趋势。在碱性(pH 值>7.0)条件下,柳枝稷幼苗 SOD 活性水培液的 pH 值升高而升高,在 pH 值为 11 时达到最大值。而在酸性条件下(pH 值<7.0),柳枝稷幼苗 SOD 活性随 PH 值的降低而呈现出先升高后降的趋势,当 pH 值为 5.0 时,SOD 活性达到最大,此后随水培液的 pH 值降低,幼苗 SOD 活性急剧下降,达到最低。此时柳枝稷幼苗受到的胁迫已经超出自身的保护作用,幼苗受到不可逆的伤害,表现出叶色变黄,生长减缓,停止甚至死亡。此外,柳枝稷幼苗 POD 活性受 pH 值胁迫的表现趋势与 SOD 一致,随水培液 pH 值的胁迫强度的增加 POD 活性急剧上升,当酸性胁迫过高(pH 值<5.0),柳枝稷 POD 活性亦表现出急剧下降的趋势,远远低于对照,达到最低值,柳枝稷受到严重伤害。其中西稷 3 号对 pH 值的胁迫最敏感(图 2)。

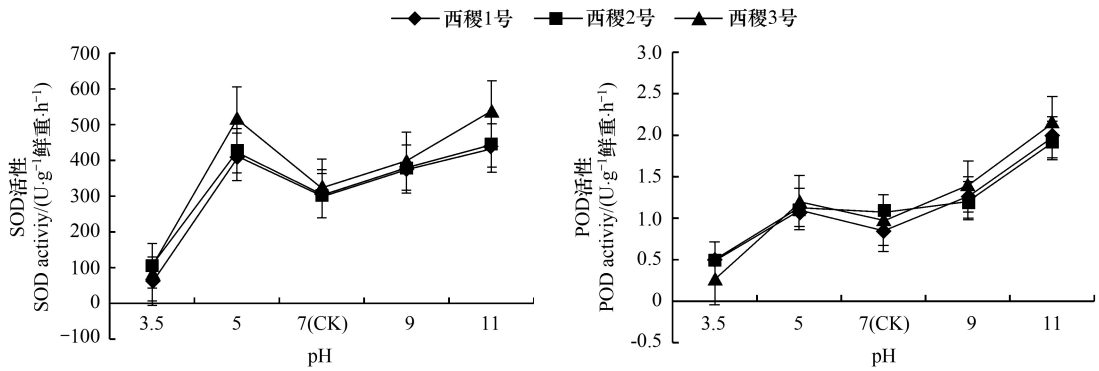

图 2 pH 值对柳枝稷幼苗 SOD 和 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect on the SOD and POD activity switchgrass seedlings with pH value

2.8 酸碱胁迫对柳枝稷幼苗净光合速率(Net photosynthetic rate, *Pn*)的影响

光合作用是一系列复杂的代谢反应的总和,是生物界赖以生存的基础。植物光合速率能直接反应植物的健康程度。图 3 结果表明,柳枝稷受到环境酸碱度的伤害影响后,其净光合速率也受到一定的影响,表现为随水培液 pH 值的增加呈现出先增后降的趋势,尤其是在酸性环境(pH 值<7.0)中受到的伤害更明显。不同品种(系)受水培液 pH 值影响的敏感不同,以西稷 3 号最为敏感。在 pH 值大于 7.0 时的碱性环境中,以西稷 1 号、2 号的净光合速率较好,受到胁迫的影响也最小。这表明柳枝稷幼苗对酸性环境更敏感,更容易受到伤

害。而在碱性环境(pH 值>7.0)中西稷 2 号的耐碱能力要更好(图 3)。

3　讨论与结论

土壤溶液的酸碱度对植物的生长发育具有重要影响,且不同植物对土壤的酸碱度要求不同。而植物对不同土壤条件的需求在很大程度上取决于植物的根系特性及其生长发育状况[13]。在酸碱性环境中,土壤中的酸碱离子会抑制植物根系的生长,影响水分和养分的吸收,从而影响植物的生长发育[14-17]。本试验以研究和种植都非常广泛的'Alamo'和'Natural switchgrass' 2 个品种[18, 19]中选育的 3 个品种(系)作为试验材料,发现柳枝稷幼苗在酸碱胁迫下生长发育受到抑制,表现出生长缓慢,植株矮小,叶片变黄,光合速率下降等,尤其对柳枝稷根系的影响更为明显。柳枝稷不同品种(系)间耐酸碱(pH 值)能力的差异在根系上表现非常明显,其中西稷 1 号、2 号品系的根系明显要好于西稷 3 号,尤其是西稷 2 号。而西稷 3 号在碱性环境的胁迫下表现出根的数量明显减少,且变黄变黑,根系活力显著降低(图 4)。

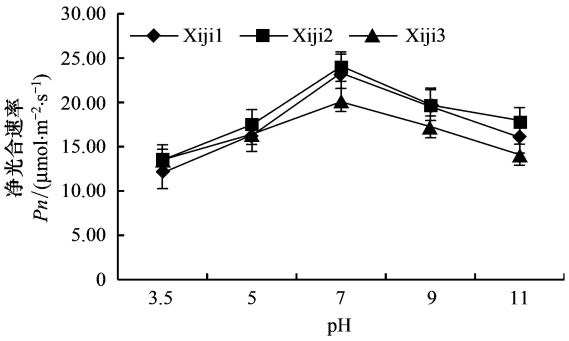

图 3　pH 值对柳枝稷幼苗光合速率的影响

Fig. 3　Effect on the *Pn* of switchgrass seedling withpH value

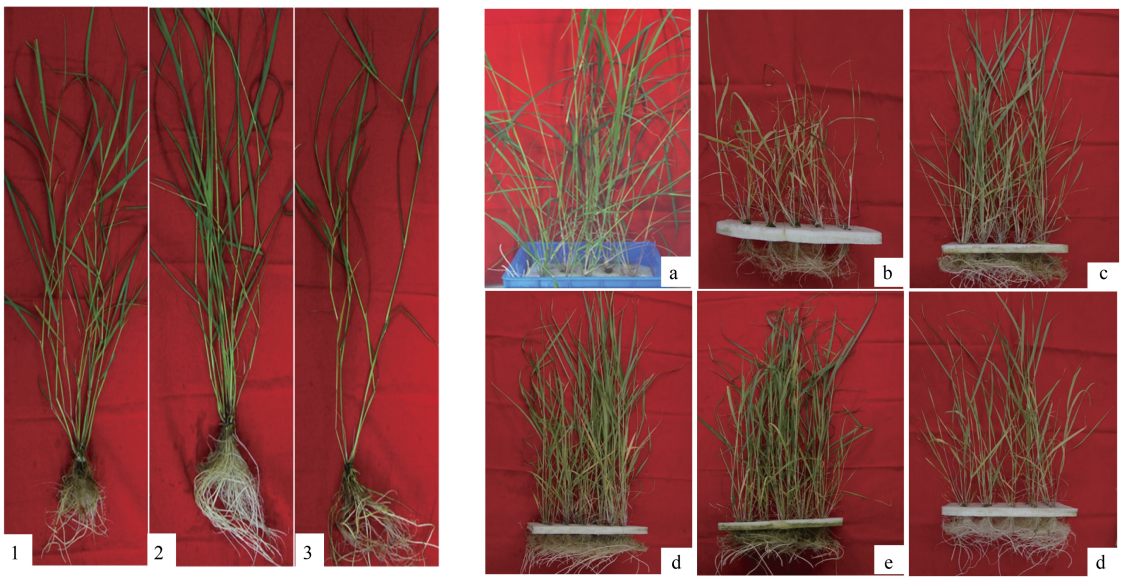

图 4　柳枝稷幼苗不同 pH 值的水培下生长状况

Fig. 4　Switchgrass growth with different pH value in hydroponics

注:1:西稷 1 号; 2:西稷 2 号; 3:西稷 3 号;a: 柳枝稷的水培;b-f: pH 值依次为 3.5, 5, 7, 9, 11 处理下的柳枝稷幼苗

据报道植物的抗逆性是一综合性过程。不同植物种类或同一植物的不同品种(系)即不同基因型的抗逆特性表现出明显的基因型差异[20]。张永锋[21],范可章[22]等对紫花苜蓿研究发现,不同的紫花苜蓿对盐碱胁迫反应不同,且随着盐碱胁迫浓度的增大表现出一系列的生理变化,可溶性糖和脯氨酸含量上升,叶片持水能力下降,保护酶活性的相应变化等。本试验研究水培条件下不同 pH 值处理对柳枝稷的分蘖数、株高、苗重、根冠比、根系活力、丙二醛含量、保护酶以及光合速率影响的结果发现,不同柳枝稷品种(系)对水培液的 pH 值的敏感程度存在差异,其中在酸性条件下(pH 值<7.0),不同品种(系)对酸性环境的耐性差异不大,尤其是在 pH 值≤3.0 时,各品种(系)都将因为酸性胁迫太强影响植物的正常生长而不能存活。当水培液的 pH 值大于 7 的碱性环境时,各品种(系)对碱性环境的耐性表现出显著差异,其中以西稷 1 号和西稷 2 号的耐碱性明显好于西稷 3 号,尤其是西稷 2 号。当在 pH 值上升到 9.0 时,西稷 2 号的分蘖数、株高、苗重、根冠比和光

合速率都明显的高于西稷 1 号和西稷 3 号,而幼苗保护酶和 MDA 含量则低于西稷 1 号、3 号。其中西稷 1 号和西稷 2 号的抗逆性总体上要好于西稷 3 号,尤其是西稷 2 号的抗逆性相对更强。因此在选用柳枝稷作为碱性土壤地区推广时,西稷 2 号可能更合理,这同样证明了'Alamo'材料比其他材料适应性要更好[23]。

多数植物适应中性至微酸性土壤。据报道柳枝稷适宜在 pH 值≥5.0 的土壤上种植[24]。本试验同样发现柳枝稷在酸性环境当 pH 值小于 5.0 时,其生长发育受到显著影响,幼苗生长缓慢,叶片干黄,根系活力明显降低,因此柳枝稷一般不适宜在强酸性土壤中生长。当水培液的 pH 值上升到碱性环境,尤其是在强碱性环境中(pH 值≥9.0)时,柳枝稷的的生长发育虽也受到抑制,生长变慢,发育变缓,但是与强酸性环境(pH 值≤5.0)相比,柳枝稷的分蘖数、株高、苗重、根冠比以及光合速率都明显要高,而丙二醛含量则显著要低。这表明柳枝稷对酸碱性胁迫的适应性不同,其中对碱性环境的适应性要明显的好于酸性环境。这与关于柳枝稷适宜种植的土壤 pH 值是高于 5.0 的报道一致。因此在选用柳枝稷作为酸碱土壤的改良植物时,应首选碱性土壤,即使在酸性土壤上种植,土壤 pH 值也不宜低于 5.0。

此外,颜宏等[25]研究碱胁迫对羊草和向日葵的影响时发现植物对盐胁迫和碱胁迫是两种不同的胁迫,两者即相关又有本质区别。本试验是柳枝稷幼苗在温室水培条件进行,与大田试验相比,水培对条件控制更容易[26-28]。但是试验也有许多不足,如水分、矿物离子、盐离子等的影响。但本试验旨在研究柳枝稷对酸碱的适应能力,为大田推广提供理论基础。具体到大田推广种植时,应综合考虑种植地的土壤和气候等条件。

参考文献(References):

[1] 钱绍方, 陈丽梅, 陈宣钦, 玉永雄, 李昆志. 酸性土壤胁迫下丹波黑大豆和云南小黑豆生理特性研究. 大豆科学, 2011, 30(6): 941-945.
[2] 李彬, 王志春, 孙志高, 陈渊, 杨福. 中国盐碱地资源与可持续利用研究. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158.
[3] 惠红霞, 许兴, 李守明. 宁夏干旱地区盐胁迫下枸杞光合生理特性及耐盐性研究. 中国农学通报, 2002, 18(5): 29-34.
[4] 徐炳成, 山仑, 李凤民. 黄土丘陵半干旱区引种禾草柳枝稷的生物量与水分利用效率. 生态学报, 2005, 25(9): 2206-2213.
[5] 杨新国, 李玉英, 吴天龙, 程序. 半干旱黄土丘陵沟壑区柳枝稷(*Panicumvirgatum*)的生物质形成. 生态学报, 2008, 28(12): 6043-6050.
[6] 刘吉利, 朱万斌, 谢光辉, 林长松, 程序. 能源作物柳枝稷研究进展. 草业学报, 2009, 18(3): 232-240.
[7] Reedl R L, Sanderson M A, Allen V G, Zartman R E. Cadmium application and pH effects on growth and cadmium accumulation in switchgrass. Communications in soil science and plant analysis, 2002, 33(7-8): 1187-1203.
[8] Hanson J D, Johnson H A. Germination of switchgrass under various temperature and pH regimes. Seed Technology, 2005, 27(2): 203-210.
[9] 高俊凤. 植物生理学实验技术, 西安: 高等教育出版社, 2000: 210-217.
[10] 郝树荣, 郭相平, 王文娟. 不同时期水分胁迫对玉米生长的后效性影响. 农业工程学报, 2010, 26(7): 71-75.
[11] 王磊, 张彤, 丁圣彦. 干旱和复水对大豆光合生理生态特性的影响. 生态学报, 2013, 26(7): 2073-2078.
[12] 高雁, 娄恺, 李春. 盐分胁迫下棉花幼苗对外源甜菜碱的生理响应. 农业工程学报, 2011, 27(1): 244-248.
[13] Taylor G J. Current views of the aluminum stress response; the physiological basis of tolerance. Curr. Top. Plant Biochem. Physiol, 1991: 10, 57-93.
[14] 李从娟, 马健, 李彦, 范连连. pH 对 3 种生活型植物根系形态及活力的影响. 干旱区研究, 2010, 27(6): 915-920.
[15] Kochian L V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. Annual review of plant biology, 1995, 46(1): 237-260.
[16] 尤江峰, 杨振明. 铝胁迫下植物根系的有机酸分泌及其解毒机理. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(2): 111-118.
[17] Bose J, Babourina O, Shabala S, Rengel Z. Low-pH and aluminum resistance in arabidopsis correlates with high cytosolic magnesium content and increased magnesium uptake by plant roots. Plant and Cell Physiology, 2013, 54(7): 1093-1104.
[18] 左海涛, 李继伟, 郭斌, 宋尚有, 高旺盛. 盐分和土壤含水量对营养生长期柳枝稷的影响. 草地学报, 2009, (6): 760-766.
[19] Hu Zh J, Foston M B, Ragauskas A J. Biomass characterization of morphological portions of alamo switchgrass. Journal of agricultural and food chemistry, 2011, 59(14): 7765-7772.
[20] 杜建雄, 师尚礼, 刘金荣, 侯向阳. 干旱胁迫和复水对草地早熟禾 3 个品种生理特性的影响. 草地学报, 2010, 18(001): 73-77.
[21] 张永锋,梁正伟,隋丽,崔彦如.盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿生理特性的影响, 草业学报, 2009, 18(4): 230-235.
[22] 范可章,朱茂英,陈灵,陈小红,范海燕,蔡健,姜双林. 酸、碱、盐胁迫下 4 种紫花苜蓿几项生理指标变化的比较研究. 广西植物, 2012, 32(4): 516-521.
[23] 朱毅, 范希峰, 武菊英, 段留生, 侯新村. 水分胁迫对柳枝稷生长和生物质品质的影响. 中国农业大学学报, 2012, 17(2): 59-64.
[24] Wolf D D, Fiske D A. Planting and managing switchgrass for forage, wildlife and conservation.Virginia Polytechnic Institute and State University, 1995, 418-423.
[25] 颜宏, 赵伟,盛艳敏, 石德成, 周道玮. 碱胁迫对羊草和向日葵的影响. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1497-1501.
[26] Juang K W, Lai H Y, Chen B Ch. Coupling bioaccumulation and phytotoxicity to predict copper removal by switchgrass grown hydroponically. Ecotoxicology, 2011, 20(4): 827-835.
[27] Chen B Ch, Lai H Y, Juang K W. Model evaluation of plant metal content and biomass yield for the phytoextraction of heavy metals by switchgrass. Ecotoxicology and environmental safety, 2012, 80: 393-400.
[28] 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. 生态学报, 2011, 31(5): 1195-1202.

附表 1

Table 1

水培液 Hydroponic	组分 Components	重量 Weight(g)	储备液体积 Volume(L)	配置 4L 需加储备液的量 Volume(mL)
储备液Ⅰ Stock solution Ⅰ	NH_4NO_3 $CaCl_2$	91.4 88.6	1	5
储备液Ⅱ Stock solution Ⅱ	$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ K_2SO_4	40.3 71.4	1	5
储备液Ⅲ Stock solution Ⅲ	$MgSO_4 \cdot H_2O$	324	1	5
储备液Ⅳ Stock solution Ⅳ	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$ H_3BO_3 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ $(NH_4)_6MoO_{24} \cdot 4H_2O$ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ $C6H_8O_7 \cdot H_2O$ H_2SO_4	1.5 0.93 0.031 0.074 0.035 7.7 11.9 50ml	1	5