

薛腾笑,任子蓓,任士福. NaCl 胁迫对美国金钟连翘生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):104-108.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.025

NaCl 胁迫对美国金钟连翘生理特性的影响

薛腾笑,任子蓓,任士福
(河北农业大学林学院,河北保定 071000)

摘要:以一年生美国金钟连翘实生苗为试验材料,通过盆栽浇盐水法控制土壤含盐量进行试验。调查苗木受盐害症状并测定其叶片的膜透性、叶绿素含量、丙二醛含量、渗透调节物质含量和抗氧化酶[超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,简称 SOD)、过氧化物酶(peroxidase,简称 POD)]活性,分析其耐盐能力。结果表明,植株在整个盐胁迫过程中,受盐害症状最高的等级为 2 级,即约 1/2 的叶尖和叶缘焦枯;随着胁迫时间和盐浓度增加,叶片细胞膜透性、丙二醛含量、可溶性糖及游离脯氨酸含量大致呈上升趋势;总叶绿素含量和叶绿素 a 含量随着胁迫时间的增加先升后降,叶绿素 b 含量呈下降趋势;随着胁迫时间的增加,可溶性蛋白含量先下降后小幅度上升,在盐胁迫第 2 天,NaCl 浓度为 0.2% 时达到峰值;叶片中 SOD 活性先降后升,POD 活性呈上升趋势。综上分析可以得出,美国金钟连翘对 NaCl 有一定的忍耐能力,土壤中 NaCl 浓度不超过 0.3% 时,植株可正常生长,因此可在轻度和中度滨海盐碱地区栽植。

关键词:美国金钟连翘;生理特性;NaCl 胁迫;抗盐性

中图分类号: S567.1⁺90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)11-0104-04

美国金钟连翘(*Forsythia intermedia* Zabel)为木犀科连翘属落叶灌木,为金钟花(*Forsythia viridissima* Lindl.)和连翘(*Forsythia suspensa*)的杂交种^[1]。其花色金黄,着花繁密,花期 3~4 个月,早春开花;喜光,稍耐阴,耐寒,耐干旱,抗旱性强,适生范围广,不择土壤,是优良的护坡植物^[2]。美国金钟连翘花色金黄,花朵繁密,美丽的花朵与优美的树姿使其广泛应用于园林绿化。美国金钟连翘还是优良的水土保持树种,有着较强的固土能力,可以防止土块滑移,保持水土和维持地力^[3]。

当土壤中盐碱过多时,就会危害植物的正常生长,称为盐害^[4]。植物的耐盐性一般都很弱,当土壤表层的含盐量超过 0.6% 时,大多数植物已不能生长;当土壤中的可溶性盐含量超过 1.0% 时,只有一些特殊的适应于盐土的植物才能生长^[5],而土壤中的致害盐类以中性盐 NaCl 为主^[6]。在滨海盐碱地区,盐渍化土壤使该地区植物种类受到很大的限制,树种较为单一。近年来,滨海盐碱地区除了种植乡土树种,也在积极引进一些抗盐碱能力较强的树种,以丰富当地的园林绿化及造林树种种类。本试验以美国金钟连翘为试验材料,研究不同浓度 NaCl 胁迫对其各项生理指标的影响,旨在为连翘抗盐性研究提供参考,从而为连翘在滨海盐碱地区园林绿化及造林方面的应用提供基础的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以美国金钟连翘(*F. intermedia* Zabel)为试验材料,选取生境长势一致的一年生实生苗木进行盆栽试验。盆栽试验选用底部有孔的花盆(25 cm×20 cm),就地取土(土壤中含盐量为 0.103%),每盆装土 5 kg,栽种苗木 2 株,每个品种 25 盆,共计 75 盆。

1.2 试验方法

本试验于 2016 年 7 月在河北农业大学标本园(地理位置 115°26′36.28″E,38°49′18.62″N)塑料大棚内进行,采用随机区组设计,共设 CK(0.103%)、T₁(0.2%)、T₂(0.3%)、T₃(0.4%)和 T₄(0.5%)5 个盐分处理,各个处理设 5 次重复。根据试验需要将相应量的 NaCl(以干土质量分数计算)溶于水,在第 1、8、15 天 08:00 分 3 次等量地浇灌 NaCl 溶液,最终土壤累积含盐量分别为 0.103%(CK)、0.2%(T₁)、0.3%(T₂)、0.4%(T₃)和 0.5%(T₄),各处理具体浇灌的盐溶液质量见表 1。在盐胁迫过程中,需要定期浇少量水,以此来平衡蒸发量。为了防止盐分的流失,在花盆底部垫塑料托盘,将渗出的溶液及时倒回盆中。分别在盐胁迫第 2、9、16、23 天采集样品,进行相关指标的测定。

表 1 各处理浇灌 NaCl 总质量及累积含盐量

处理	3 次浇灌 NaCl 总质量 (g)	累积含盐量(%)		
		第 1 天	第 8 天	第 15 天
CK	0	0.103	0.103	0.103
T ₁	4.85	0.135	0.168	0.2
T ₂	9.85	0.169	0.234	0.3
T ₃	14.85	0.202	0.301	0.4
T ₄	19.85	0.235	0.368	0.5

1.3 测定方法

1.3.1 盐胁迫危害调查 调查方法参照孙晶等的报道^[7]。

收稿日期:2017-09-27

基金项目:河北省中央财政科技推广示范资金(编号:冀 TG[2015]004 号);河北省现代农业产业技术体系中药材产业创新团队项目(编号:HBCT2013040201)。

作者简介:薛腾笑(1993—),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为经济林栽培生理。E-mail:944489479@qq.com。

通信作者:任士福,硕士,教授,主要从事林木栽培理论与技术研究。

E-mail:kjren3@126.com。

分别于盐胁迫后第 7、14、21、28、35、42 天观察记录美国金钟连翘的生长状态和叶片颜色等的变化。植株盐害症状根据受危害程度的轻重可分为 5 个级别:0 级,无盐胁迫危害症状;1 级,少部分叶尖、叶缘和叶脉变黄;2 级,约 1/2 的叶尖和叶缘焦枯;3 级,大部分叶片有叶尖、叶缘焦枯和落叶现象;4 级,枝枯、叶落直至死亡。

1.3.2 叶片生理指标测定 质膜相对透性的测定采用电导率法^[8],叶绿素含量的测定采用乙醇提取法^[8],可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[8],可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[9],游离脯氨酸含量的测定采用茚三酮法^[8],丙二醛 (malonaldehyde, 简称 MDA) 含量的测定采用硫代巴比妥酸 (thiobarbituric acid, 简称 TBA) 法^[8],超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, 简称 SOD) 活性的测定采用氮蓝四唑 (nitro-blue tetrazolium, 简称 NBT) 法^[8],过氧化物酶 (peroxidase, 简称 POD) 活性的测定采用愈创木酚显色法^[8]。

1.4 数据处理

采用 Excel 和 DPS 软件对数据进行统计和分析,采用 Duncan's 新复极差法进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 苗木受盐害情况调查

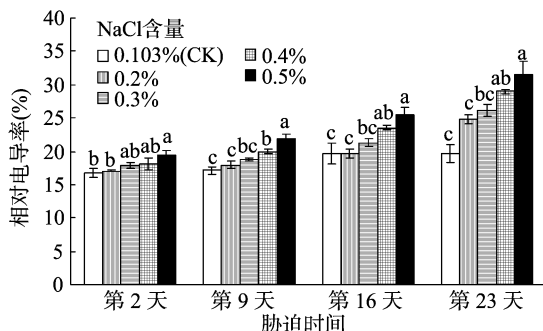
由表 2 可以看出,随着 NaCl 含量的升高及盐胁迫时间延长,植株受害症状越严重。在盐胁迫第 7 天,当盐分含量为 0.5% 时,苗木受盐害等级为 1 级,即少部分叶尖、叶缘和叶脉变黄;在盐胁迫第 14 天,当盐分含量为 0.4%、0.5% 时,苗木少部分叶尖、叶缘和叶脉变黄;在盐胁迫第 21、28 天,当盐分含量为 0.3%、0.4%、0.5% 时,苗木少部分叶尖、叶缘和叶脉变黄;在盐胁迫第 35 天,当盐分含量为 0.4%、0.5% 时,苗木受盐害等级为 2 级,即约 1/2 的叶尖和叶缘焦枯;在盐胁迫第 42 天,当盐分含量为 0.5% 时,苗木受盐害等级为 3 级,即大部分叶片有叶尖、叶缘焦枯和落叶现象。

表 2 NaCl 胁迫下苗木受盐害症状等级

处理	胁迫症状等级					
	第 7 天	第 14 天	第 21 天	第 28 天	第 35 天	第 42 天
CK	0	0	0	0	0	0
T ₁	0	0	0	0	1	1
T ₂	0	0	1	1	1	1
T ₃	0	1	1	1	2	2
T ₄	1	1	1	1	2	3

2.2 NaCl 胁迫对叶片细胞膜透性的影响

由图 1 可见,美国金钟连翘叶片相对电导率随着胁迫时间和 NaCl 含量的增加呈上升趋势。在盐胁迫第 2 天,当盐分含量为 0.5% 时,相对电导率与对照差异显著,说明该含量对叶片细胞膜有明显影响。在盐胁迫第 9、16 天,当盐分含量为 0.4%、0.5% 时,其相对电导率分别与对照差异显著。在胁迫第 23 天,此时累积含盐量达到预期值后又进行 7 d 盐胁迫处理,在 0.4%、0.5% 含量的盐分处理下,相对电导率均与对照差异显著。在盐胁迫第 2、9、16、23 天,当盐分含量为 0.5% 时,美国金钟连翘叶片相对电导率分别为对照的 1.16、1.27、1.30、1.61 倍,说明 NaCl 对叶片细胞膜的伤害逐渐加深。



同一时间的不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

图 1 NaCl 胁迫下叶片细胞膜透性的变化

2.3 NaCl 胁迫对叶绿素含量的影响

研究表明,盐胁迫会使叶绿素含量降低,且降低程度随盐含量的增大而增大^[10-11]。由图 2-A 可见,在一定范围内,叶绿素总含量随着胁迫时间的增加和 NaCl 含量的升高呈先升后降的趋势。在盐胁迫第 2 天和第 9 天,各处理与对照均无显著差异;在盐胁迫第 16 天,当盐分含量为 0.5% 时,显著低于对照;在盐胁迫第 23 天,各处理均显著低于对照,即叶绿素含量显著下降。

由图 2-B 可见,在一定范围内,叶绿素 a 含量随着胁迫时间和 NaCl 含量的增加呈先升后降的趋势。在盐胁迫的第 2 天,各处理均与对照差异显著;在盐胁迫的第 16 天,当盐分含量为 0.5% 时显著低于对照;在盐胁迫第 23 天,当盐分含量为 0.3%、0.4%、0.5% 时,显著低于对照,即叶绿素 a 含量显著下降。

由图 2-C 可见,叶绿素 b 含量随着胁迫时间和 NaCl 含量的增加呈波动下降趋势。在盐胁迫第 2 天,各处理间无显著差异;在盐胁迫第 9 天,对照显著高于各处理,叶绿素 b 含量显著下降;在盐胁迫第 16 天,各处理间均无显著差异;在盐胁迫第 23 天,当盐分含量为 0.2%、0.4%、0.5% 时,均显著低于对照,即叶绿素 b 含量显著下降。

2.4 NaCl 胁迫对丙二醛含量的影响

MDA 是膜系统受害的重要标志之一,在盐胁迫下,植物体内丙二醛含量积累得越多,说明其组织的保护能力越弱^[12]。如图 3 所示,随着胁迫时间及土壤中 NaCl 含量的增加,叶片中丙二醛含量呈上升趋势。在盐胁迫第 2 天,各处理与对照无显著差异;在盐胁迫第 9 天,当盐分含量为 0.5% 时,MDA 含量显著高于对照;在盐胁迫的第 16 和第 23 天,各处理均与对照差异显著,即 MDA 含量显著高于对照;当盐分含量为 0.5% 时,4 个胁迫时间的叶片中 MDA 含量分别为对照的 1.06、1.20、1.39、1.53 倍,说明随着盐胁迫程度的加深,其细胞膜系统的受害程度逐渐加重。

2.5 NaCl 胁迫对渗透调节物质含量的影响

由图 4-A 可见,在一定范围内,随着胁迫时间和土壤中 NaCl 含量的增加,叶片中的可溶性糖含量呈先升后降再升的趋势。在盐胁迫的第 2 天,当盐分含量为 0.3% 时,可溶性糖含量显著高于对照;在盐胁迫的第 16 天,当盐分含量为 0.2% 时,可溶性糖含量显著低于对照;在盐胁迫的第 23 天,当盐分含量为 0.4%、0.5% 时,可溶性糖含量与对照的差异均显著。

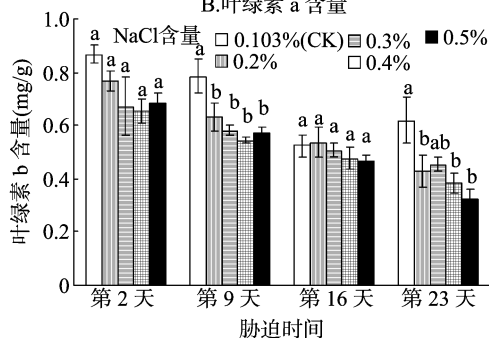
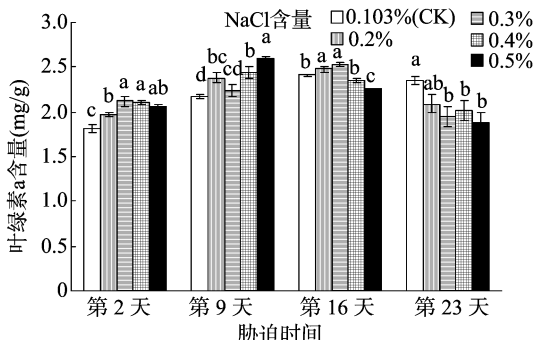
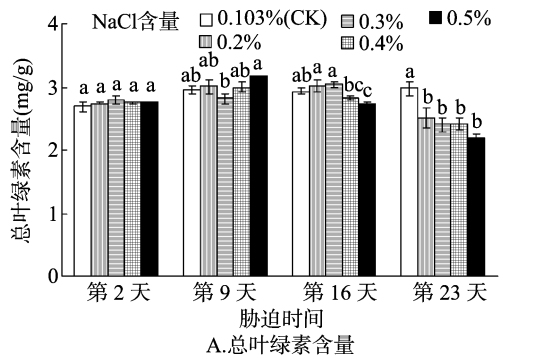


图2 NaCl胁迫下叶片叶绿素含量的变化

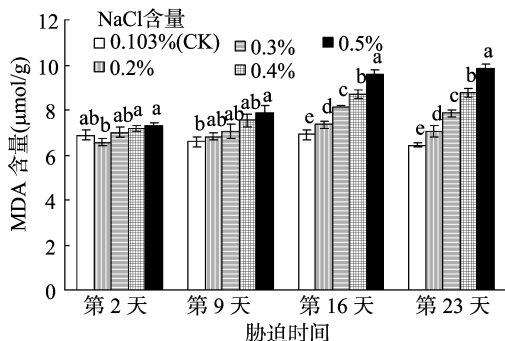


图3 NaCl胁迫下叶片丙二醛含量的变化

由图4-B可见,随着盐胁迫程度的加深,叶片中可溶性蛋白含量总体呈波动下降的趋势。通过方差分析可知,在盐胁迫的第2天,叶片中的可溶性蛋白含量呈先升后降趋势,当盐分含量为0.2%、0.3%时,显著高于对照,当盐分含量为0.5%时,显著低于对照;在盐胁迫的第9天,当盐分含量为0.2%、0.3%时,显著高于对照;在盐胁迫的第16天,当盐分含量为0.2%时,显著低于对照;在盐胁迫的第23天,当盐分含量为0.5%时,显著低于对照。

脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质,在盐胁迫下能改变渗透压,起到改善细胞膜水环境和增强结构稳定的作用。相关研究表明,在盐胁迫环境下,植物体内脯氨酸会大量积累^[13-14]。由图4-C可知,随着胁迫时间和土壤中NaCl含量的增加,叶片中游离脯氨酸含量呈上升趋势。当盐分含量为0.5%时,各时期游离脯氨酸含量分别为对照的1.26、1.53、2.18、2.79倍。通过方差分析可知,在盐胁迫的第2、第9天,当盐分浓度为0.2%时,与对照无显著差异,而当NaCl浓度为0.3%、0.4%、0.5%时,与对照的差异均显著。在盐胁迫的第16、23天,各处理与对照的差异均显著。

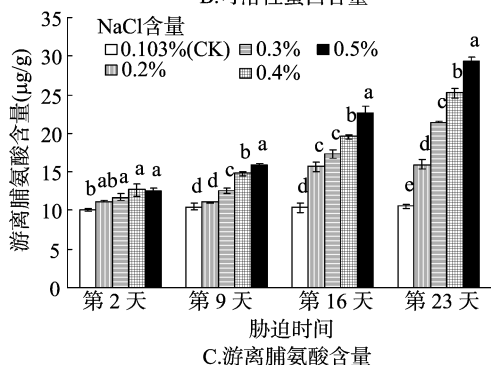
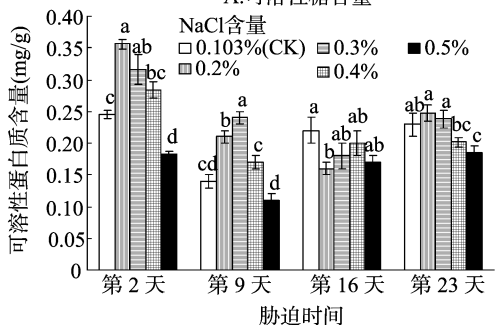
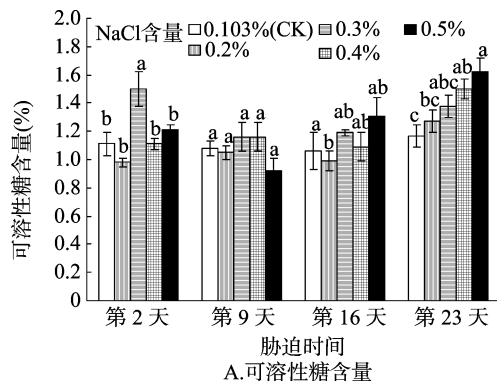


图4 NaCl胁迫下叶片渗透调节物质含量的变化

2.6 NaCl胁迫对抗氧化酶活性的影响

SOD的主要功能是清除活性氧自由基($O_2^{\cdot-}$),是一种重要的防护氧自由基对细胞膜系统伤害的保护酶。由图5-A可见,叶片中SOD活性总体呈先降后升趋势。通过方差分析可知,在盐胁迫的第16天,当盐分含量为0.3%时,SOD活性显著高于对照;在盐胁迫的第23天,当NaCl含量为0.3%、0.4%、0.5%时,叶片中的SOD活性与对照差异显著。

POD是一种在植物体内防护活性氧对细胞膜系统伤害的重要保护酶,可以有效清除植物体内的自由基^[15]。由图

5-B 可见,叶片中 POD 活性逐渐上升。由方差分析可知,在盐胁迫的第 2 天,当盐分含量为 0.3%、0.4% 时,叶片中的 POD 活性显著高于对照;在盐胁迫的第 9 天,当 NaCl 含量为

0.4% 时,叶片中的 POD 活性显著低于对照;在盐胁迫的第 23 天,当盐分含量分别为 0.3%、0.4%、0.5% 时,POD 活性显著高于对照。

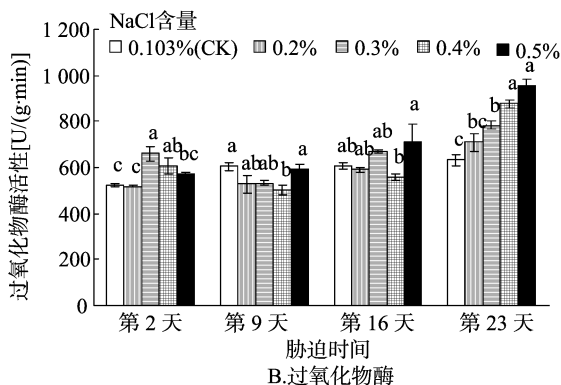
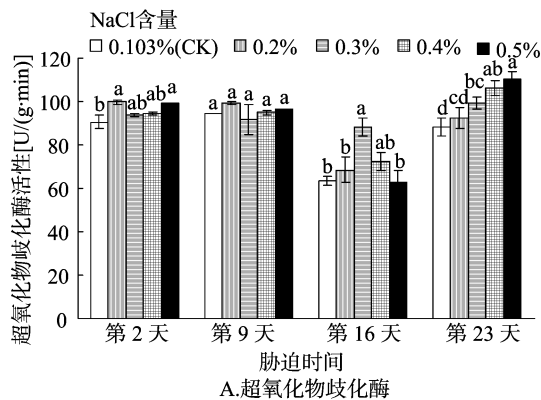


图5 NaCl 胁迫下叶片抗氧化酶活性的变化

3 讨论与结论

本研究发现,随着盐胁迫程度的加剧,美国金钟连翘叶片相对电导率呈上升趋势。植物在遭受盐胁迫后,其细胞膜透性会增加,胞内电解质随之外渗,因此导致植物细胞浸提液电导率增大。植物细胞膜透性的大小可反映其质膜受害程度,其数值越大,受害程度越大^[16],因此在盐胁迫的第 23 天,当盐分含量为 0.5% 时,对细胞膜的影响最大,苗木受盐害程度最深。

在盐胁迫下,叶片中叶绿素含量是衡量植物耐盐性的重要指标之一。本研究发现,随着盐胁迫的加重,总叶绿素、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量在一定范围内呈下降趋势,其中叶绿素 b 含量降低尤为显著。这主要是由叶绿素酶对叶绿素 b 的降解造成的,而对叶绿素 a 的影响较小。这主要是离子毒害的结果,随着 NaCl 浓度的增加及受盐害时间的延长,过量的 Cl^- 渗入细胞后使原生质凝聚,导致叶绿素被破坏。这与刘行等关于盐胁迫对金露梅叶绿素的影响研究结果^[10]一致。在盐胁迫的第 23 天,当盐分浓度为 0.5% 时,美国金钟连翘植株叶片约 1/2 的叶尖和叶缘焦枯,盐害症状加重,说明 NaCl 胁迫对叶绿素的抑制逐渐加强。

本研究发现,在盐胁迫下,美国金钟连翘叶片中 MDA 含量呈上升趋势。这与周丽霞等关于密花连翘抗盐性研究结果^[17]一致。MDA 是膜质过氧化的最终产物,其含量的高低反映出细胞膜质过氧化水平以及细胞膜系统受盐害程度。MDA 含量升高,说明盐胁迫导致叶片中 MDA 迅速积累,细胞膜系统失去了原有的选择透过性,进而导致电解质渗漏,细胞水势下降。

渗透调节物质主要包括可溶性糖、可溶性蛋白质及游离脯氨酸等,渗透调节是盐胁迫的基本特征之一。本研究发现,在不同盐浓度处理下,美国金钟连翘叶片中可溶性糖含量与对照相比均有不同程度的增加。盐胁迫下植物生长受到抑制,糖利用减少,叶片内可溶性糖含量增加,调节自身的渗透平衡,从而增强自身对盐胁迫的抵御能力。随着盐胁迫程度加深,叶片正常生理功能和各种代谢受到破坏,影响了可溶性糖的合成和运输^[18],导致个别处理可溶性糖含量降低。本研究发现,在盐胁迫下,在一定的时间与浓度范围内,美国金钟

连翘叶片中可溶性蛋白含量呈先下降后小幅度上升的趋势。可溶性蛋白含量降低,是因为植物叶片中蛋白质分解成糖等小分子物质,这些小分子物质有稳定胶体性质的作用,从而使植物细胞在组织代谢中免受伤害或减少伤害^[19];在盐胁迫下植物体内可溶性糖含量大幅增加,能有效提高自身的渗透调节能力,同时提高了胁迫蛋白的表达,引起可溶性蛋白含量的增加,所以叶片中可溶性蛋白含量小幅上升。本研究发现,随着盐胁迫的加剧,美国金钟连翘叶片中游离脯氨酸含量呈上升趋势,这与周丽霞等关于连翘抗盐性的研究结果^[17,20]一致。有些研究认为,盐胁迫下游离脯氨酸含量变化与植物抗盐性存在正相关关系^[21-22]。游离脯氨酸含量快速增加并代替可溶性糖和可溶性蛋白成为主要的渗透调节物质来维持渗透平衡,以减缓盐分对植物的侵害。

在盐胁迫下,植物通过增加自身 SOD 和 POD 活性来清除体内积累的活性氧和自由基,这是对盐胁迫环境的一种适应。本研究发现,美国金钟连翘叶片中 SOD 活性先降后升,POD 活性则呈上升趋势。当盐分浓度为 0.5% 时,金钟连翘叶片中 SOD 和 POD 活性仍在增加,说明其对细胞膜有一定的保护作用,盐胁迫程度仍在苗木自身调节能力范围内,植物受盐害程度较轻。

本试验通过测定与抗盐性相关的指标,再结合苗木受盐害的情况可以得出,美国金钟连翘有一定的抗盐能力,当土壤中 NaCl 含量不超过 0.3% 时,植株可正常生长;当盐分含量为 0.4% 时,植株受盐害最高等级为 2 级,约 1/2 的叶尖和叶缘焦枯,生长状况受到一定影响;当盐分含量为 0.5% 时,植株受盐害最高等级为 3 级,大部分叶片有叶尖、叶缘焦枯和落叶现象,植株生长受到严重影响。因此,美国金钟连翘可在轻度(0.1%~0.2%)和中度(0.2%~0.4%)滨海盐碱地区栽植。为了进一步研究美国金钟连翘的抗盐能力,还可采用复合盐进行盐胁迫试验,在其实际推广应用前还须进行大田试验。

参考文献:

- [1] 虞敏,虞德源. 美国金钟连翘[J]. 中国花卉园艺,2002(16): 14-15.
- [2] 徐玮玮. 护坡植物推荐[J]. 园林,2008(11): 62-63.

王英师,胡建芳,陈建中,等. 定额灌溉对苹果树冠层温度变化的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):108-111.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.026

定额灌溉对苹果树冠层温度变化的影响

王英师¹, 胡建芳¹, 陈建中¹, 杜慧玲²

(1. 山西运城农业职业技术学院农林与工程系, 山西运城 044000; 2. 山西农业大学文理学院, 山西太谷 030801)

摘要:果树冠层温度是反映果树水分状况的重要指标,是影响果树枝叶生长、果实产量和品质的直接因素。为了研究定额灌溉用水量对果树冠层温度变化的影响,结合试验地果农的灌溉经验,设计定额灌溉用水量和灌溉时间,参照树形结构制定冠层温度实地观测方案。结果表明:定额灌溉用水量影响果树冠层温度变化,灌水少者冠层温度的垂直变化、日变化和方位变化均大于灌水多者。得出了定额灌溉对夏季苹果树冠层温度变化的影响规律,确定定额灌溉处理Ⅲ为最佳方案。

关键词:定额灌溉;冠层温度;垂直变化;日变化;方位变化

中图分类号:S661.107 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)11-0108-04

苹果树冠层温度是一个复杂的变化量,它由土壤-苹果树-大气连体之间的能量交换决定,取决于果树本身冠层结构和环境因子。冠层温度能反映果树水分状况,直接影响果树蒸腾速率,进而对果树生长、果实产量品质和病虫害发生发展产生影响。近些年来,果树科学工作者在果树冠层温度方

面进行了诸多研究,包括果树冠内温度分布状况^[1-4]、树形树冠枝叶分布与冠内温湿度关系分析^[5-6]、冠层温度与病虫害的发生发展关系探讨^[7-8],以及冠层微环境与果实产量品质的关系方面的研究^[9-10],均取得不少成果。这些研究成果为指导果树生产管理提供了理论依据和技术指导,但定额灌溉用水对果树冠层温度变化影响方面的研究相对较少。近几年来,我国北方果树栽培区制定了有效的灌溉方案,合理水资源分配,使得果树定额灌溉研究成为“精准农业”的一项重要技术。准确掌握定额灌溉用水对果树冠层温度变化的影响,探讨定额灌溉下果树冠层温度的变化规律,是果树科学研究中不容忽视的基础性工作。为了研究定额灌溉下果树冠层温度变化特征,在山西运城一个普通果园进行试验,通过分析试验

收稿日期:2017-09-24

基金项目:山西省农业科技攻关项目(编号:20140311008-8)。

作者简介:王英师(1962—),男,山西闻喜人,副教授,主要从事农业气象研究。E-mail:wys2228010@126.com。

通信作者:杜慧玲,女,博士,教授,主要从事作物调控与逆境生理研究。E-mail:duhuiling66@163.com。

[3]唐家良,丁德蓉. 水土保持药用植物——连翘[J]. 中国野生植物资源,2002,21(1):45,55.

[4]Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3): 324-349.

[5]张华新,刘正祥,刘秋芳. 盐胁迫下树种幼苗生长及其耐盐性[J]. 生态学报,2009,29(5):2263-2271.

[6]Guo H J, Tao H U, Jin-Min F U. Effects of saline sodic stress on growth and physiological responses of *Lolium perenne* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(1):118-125.

[7]孙晶,王庆成,刘强,等. NaHCO₃ 胁迫下朝鲜接骨木和茶条槭苗木的生长及生理响应[J]. 林业科学,2010,46(8):71-77.

[8]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[9]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:15-16,142-143.

[10]刘行,张彦广. 盐胁迫对金露梅叶片酶活性和叶绿素含量的影响[J]. 西部林业科学,2016,45(4):95-100.

[11]许兴,米海莉. NaCl 胁迫对小麦幼苗生长、叶绿素含量及 Na⁺、K⁺ 吸收的影响[J]. 西北植物学报,2002,22(2):278-284.

[12]何树斌,刘国利,杨惠敏. 不同水分处理下紫花苜蓿刈割后残茬的光合变化及其机制[J]. 草业学报,2009,18(6):192-197.

[13]Muthukumarasamy M, Gupta S D, Pannerselvam R. Enhancement of peroxidase, polyphenol oxidase and superoxide dismutase activities by triadimefon in NaCl stressed *Raphanus sativus* L. [J]. Biologia Plantarum, 2000, 43(2):317-320.

[14]Singh S K, Sharma H C, Goswami A M, et al. *In vitro* growth and leaf composition of grapevine cultivars as affected by sodium chloride [J]. Biol Plant, 2000, 43(43):283-286.

[15]武德. 绒毛白蜡种苗耐盐碱性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2007.

[16]王阿丽. 四种连翘属植物抗旱性比较[D]. 保定:河北农业大学,2015.

[17]周丽霞,刘芳,高行英,等. 盐胁迫对密花连翘生长及生理特性的影响[J]. 天津农学院学报,2011,18(4):5-8.

[18]刘炳响. 白榆耐盐差异性研究[D]. 保定:河北农业大学,2008.

[19]文笑. 盐胁迫对台湾桉木幼苗生理生化和光合特性影响的研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.

[20]刘昊华. 连翘的耐盐性研究[J]. 水土保持应用技术,2013(1):1-3.

[21]Petrusa L M, Winicov I. Proline status in salt-tolerant and salt-sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl [J]. Plant Physiol Biochem, 1997, 35(4):303-310.

[22]傅秀云,崔光泉,林昶. 冬小麦耐盐力与脯氨酸含量的关系[J]. 山东农业科学,1988(2):5-7.