

百里香对干旱胁迫的形态及生理响应

周鑫胜, 崔佳, 司家屹, 杨秀云, 杨晓盆

(山西农业大学 林学院, 山西 太谷 030801)

摘要:采用称重控水干旱法,对盆栽百里香(*Thymus mongolicus*)幼苗进行4个不同梯度的干旱胁迫处理,即适宜生长含水量(对照),轻度胁迫,中度胁迫,重度胁迫,测定了百里香的形态指标及生理指标。结果表明:(1)随干旱胁迫增加百里香的株高、叶面积减小。(2)百里香根组织可溶性蛋白质含量变化区别于叶和茎组织的变化,在相同胁迫时间下,随着干旱胁迫程度的加大其含量呈下降趋势。百里香根部的蛋白质平均含量与茎中的含量接近,为5.07 mg/g,小于叶组织的可溶性蛋白质含量。胁迫7 d时,重度和中度干旱胁迫与对照组相比差异显著($P < 0.05$)。(3)随着胁迫程度的增加及胁迫时间的延长,百里香不同组织丙二醛含量增加。在处理前平均含量为18.24 $\mu\text{mol/g}$,小于茎组织含量但大于叶组织。(4)叶、茎、根各组织中可溶性糖含量都随着胁迫强度的增大而增加。在胁迫到达14 d时,各处理可溶性糖的含量达到最大,其中重度胁迫下(根组织)含量达77.9%,胁迫21 d时可溶性糖含量减少。(5)百里香叶片组织重度干旱胁迫7 d时,脯氨酸的增长最大,为初始值的2.3倍,随后又降低,与对照相比达到极显著水平。(6)同一胁迫梯度下,茎和根中超氧化物歧化酶(SOD)活性随着时间的延长先增加后降低,而随着干旱胁迫强度和时间的延长,植株根、茎、叶组织的过氧化物酶(POD)活性减弱。

关键词:干旱胁迫;百里香;植株形态;生理特性

中图分类号:S789.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)04-0088-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.04.014

干旱是世界农业面临的最严重的问题之一^[1]。据世界卫生组织统计,气象灾害约占自然灾害的70%,

旱灾又几乎占气象灾害的50%^[2]。近年来,随着全球气候变暖的加剧,由于干旱胁迫带来的灾害在所有胁迫灾害中已居首位^[3]。而我国又是一个旱灾频发且灾情严重的国家,干旱成为植物生长过程中的主要制约因素之一^[4-5]。

百里香(*Thymus mongolicus*)是唇形科百里香属植物,全世界有400种左右,原产于地中海沿岸,广泛分布于欧洲、北非及亚洲温带地区。我国有15种,分布于西藏、新疆、青海和黄河流域以北等地区^[6]。百里香美观、耐粗放管理,国外用作庭院绿化地被植物。国内研究者近年来开始关注百里香作为观赏植物在绿化中的应用^[7],如屋顶园林绿化。但关于百里香应用及栽培方面的资料较少。

本研究对百里香幼苗进行干旱胁迫处理,并测定其形态指标和生理指标,探讨百里香幼株对干旱胁迫的响应,以为百里香的应用、推广及耐旱品种选育与改良提供理论基础。

收稿日期:2019-11-11; **修回日期:**2019-12-06

基金项目:山西省农业科技成果转化和推广示范项目-强生态型缀化地被植物(绢毛匍匐委陵菜)示范与推广(SXNKTG 201801);山西省科技成果转化项目-绢毛匍匐委陵菜新品种示范及推广(201604 D 131054);山西省科技攻关项目-山西乡土芳香地被植物选优及扩繁系构建(20140311013-4)

作者简介:周鑫胜(1995-),男,山西大同市人,硕士研究生。

E-mail:189267212@qq.com

杨晓盆和杨秀云为通讯作者。

E-mail:453825885@qq.com

E-mail:xyyang2002@yeah.net

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于2019年4月在山西农业大学林学院苗圃的温室(E 112.55, N 37.42; 棚温为20℃, 湿度为70%)进行,以苗圃栽植的1年生百里香(泽州种源)为研究对象。将1年生百里香的茎扦插到高和直径都为9 cm营养钵中,待其根生长出来后进行试验,确保每盆重量260 g,栽培条件一致,栽培基质为人工混合营养土(体积比为蛭石:有机质:泥土=1:1:1)。

1.2 试验设计

选取生长状态良好且长势一致的百里香植株,采用称重控水干旱法进行试验。根据盆栽环境设置4个处理,即适宜生长含水量(CK),轻度胁迫(LX),中度胁迫(ZX),重度胁迫(ZP),土壤含水量分别为田间持水量的75%~85%(CK),55%~65%(LX),40%~50%(ZX)和25%~35%(ZP)^[8],每个处理的样本容量为30盆,3次重复。试验前期进行移苗栽植,在干旱处理前,对所有幼苗进行充分浇灌,使土壤的相对含水量达到饱和,停止浇水,自然干旱,然后通过称量法记录并检测各处理的失水情况,根据土壤的田间持水量计算每个处理应控制的含水量范围,每天早晚用电子秤(载量30 g,感量5 g)称重,来补足蒸腾和植物生长消耗的水分,使各处理的土壤含水量控制在设定范围内^[10]。同时为避免冠层互相接触干扰水分,植株之

间保持一定的距离。

1.3 测定指标与方法

在干旱胁迫开始第0、7、14、21 d,随机选取不同梯度下的5盆植株,测定形态指标和生理指标。

用直尺测量其株高(植株最高处的叶片叶尖至土壤基质表面的距离);根冠比采用烘箱烘干称重(根冠比=根的干重/叶茎的总干重);叶面积测定时随机选取12片叶,用CS全能扫描王扫描,导入CAD 2016进行测量^[9]。并拍照记录植株长势。

在实验室把百里香根、茎、叶分离出来,用水冲洗干净后测定生理指标。蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[10];可溶性糖采用蒽酮比色法测定;脯氨酸含量采用磺基水杨酸和酸性茚三酮显色法测定;丙二醛含量采用硫代巴比妥酸显色法测定^[11];过氧化物酶活性采用氧化愈创木酚法测定^[11-14];超氧化物歧化酶活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定。

1.4 数据处理

用Excel进行数据整理和图表制作,用SPSS软件分析数据^[15]。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下百里香植株形态指标的变化

百里香植株在受到干旱胁迫后,植株的生长受到一定的限制,且随着干旱胁迫程度的加重,对株高影响的程度加大。干旱胁迫处理7 d,株高CK为4.90 cm,

表1 干旱胁迫下百里香的形态指标

Table 1 The morphological indexes of Thyme under different treatment of drought stress in Zezhou Country

指标	处理时间/d	处理			
		75%~85%(CK)	55%~65%(LX)	40%~50%(ZX)	25%~35%(ZP)
株高/cm	0	4.54±1.29 ^a	4.64±1.07 ^a	4.52±0.84 ^a	4.62±0.83 ^a
	7	4.90±0.26 ^a	4.70±0.97 ^a	5.46±1.72 ^a	4.80±1.44 ^a
	14	7.86±1.67 ^a	5.60±1.19 ^b	5.98±1.84 ^{ab}	4.70±1.40 ^b
	21	9.42±2.01 ^a	7.90±2.25 ^{ab}	6.70±1.04 ^{ab}	6.3±2.49 ^b
叶面积/cm ²	0	15.34±0.33 ^a	15.42±0.29 ^a	15.44±0.2 ^a	15.31±0.21 ^a
	7	19.04±1.18 ^a	17.44±1.96 ^{ab}	17.38±1.71 ^{ab}	16.63±3.46 ^b
	14	23.06±5.0 ^a	22.77±4.36 ^a	22.19±3.94 ^a	17.83±2.11 ^b
	21	26.42±4.92 ^a	22.99±3.90 ^{ab}	23.99±3.70 ^{ab}	20.81±3.92 ^b
根冠比	0	0.46±0.25 ^a	0.50±0.29 ^a	0.52±0.33 ^a	0.29±0.12 ^a
	7	0.87±0.29 ^a	0.73±0.39 ^a	1.01±0.48 ^a	0.63±0.34 ^a
	14	0.65±0.21 ^b	0.99±0.15 ^{ab}	0.65±0.18 ^b	1.31±0.53 ^a
	21	1.17±0.67 ^a	0.83±0.64 ^a	1.03±0.40 ^a	1.41±0.45 ^a

注:表中数据为平均值±标准差,同行不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同

ZX 最高,为 5.46 cm,但各处理间均未达到差异显著水平($P<0.05$)。干旱胁迫处理 14 d,ZP,LX 与 CK 的株高差异显著($P<0.05$),其中 ZP 株高最高,为 4.70 cm(表 1)。

干旱胁迫处理对百里香叶面积的增长有一定的限制,且干旱胁迫程度越大叶面积的增加量越小,在重度干旱胁迫下叶面积的增长量为 35.9%,而对照组叶面积的增量为 72.2%。干旱胁迫处理 7,21 d,ZP 与对照相比叶面积差异均达到显著水平($P<0.05$)。轻度胁迫和中度胁迫条件下,其叶面积与 CK,重度胁迫差异不显著($P>0.05$)(表 1)。

表 2 干旱胁迫下百里香形态指标的相关性

Table 2 The relevance of Morphological Indicators of Thyme under Drought Stress

指标	株高/cm	叶面积/cm ²	根冠比
株高/cm	1		
叶面积/cm ²	.888**	1	
根冠比	.398	.537*	1

注:*表示 $P<0.05$ 水平显著相关,**表示 $P<0.01$ 水平显著相关

干旱胁迫 14 d,重度胁迫处理对根冠比的影响与对照差异显著($P<0.05$),但轻度胁迫和重度胁迫间根冠比的差异未达到显著水平($P<0.05$)。随着干旱胁迫时间的延长,重度胁迫处理根冠比不断增加,表明土壤水分不足对地上部分的影响比对根系的影响更大,使根冠比增大(表 1)。

在干旱胁迫不同处理的不同梯度下,百里香植株的株高、叶面积以及根冠比都发生了显著的变化($P<0.05$),由表 2 可以看出,植株的叶面积与株高呈极显著正相关($r=0.888^{**}$);植株的叶面积与根冠比呈显著正相关($r=0.537^*$)。

2.2 干旱胁迫下百里香植株生理指标的变化规律

2.2.1 蛋白质含量的变化 叶片蛋白质的含量在干旱胁迫 14 d,各处理均达最大值,以 LX 处理最大,为 5.23 mg/g,与 CK 和 LX 差异显著($P<0.05$)。百里香茎部和根部的蛋白质的含量各处理也在干旱胁迫 14 d 时达最大值,且均以 LX 处理最大,茎部蛋白质含量为 5.22 mg/g,根部为 5.20 mg/g,中度干旱胁迫与对照组差异显著($P<0.05$)(表 3)。

表 3 干旱胁迫下百里香植株的蛋白质含量

Table 3 The protein content of thyme under drought stress

mg/g

形态指标	处理时间/d	蛋白质含量			
		75%~85%(CK)	55%~65%(LX)	40%~50%(ZX)	25%~35%(ZP)
叶	0	5.11+0.02 ^a	5.08+0.02 ^a	5.11+0.04 ^a	5.11+0.02 ^a
	7	5.11+0.00 ^a	5.11+0.03 ^a	5.05+0.01 ^b	5.04+0.00 ^b
	14	5.20+0.03 ^a	5.23+0.01 ^a	5.08+0.02 ^b	5.10+0.01 ^b
	21	5.16+0.01 ^a	5.12+0.06 ^{ab}	5.07+0.00 ^b	5.07+0.01 ^b
茎	0	5.08+0.01 ^b	5.06+0.00 ^b	5.09+0.03 ^b	5.49+0.01 ^a
	7	5.04+0.00 ^c	5.04+0.00 ^c	5.11+0.00 ^a	5.10+0.00 ^b
	14	5.21+0.00 ^a	5.22+0.02 ^a	5.09+0.01 ^b	5.09+0.00 ^b
	21	5.12+0.00 ^a	5.10+0.01 ^b	5.05+0.01 ^c	5.07+0.01 ^c
根	0	5.05+0.01 ^b	5.06+0.04 ^b	5.07+0.01 ^b	5.11+0.01 ^a
	7	5.05+0.01 ^b	5.04+0.01 ^b	5.13+0.01 ^a	5.13+0.00 ^a
	14	5.18+0.01 ^b	5.20+0.00 ^a	5.06+0.01 ^c	5.06+0.01 ^c
	21	5.11+0.02 ^a	5.12+0.00 ^a	5.04+0.01 ^b	5.05+0.00 ^b

2.2.2 可溶性糖含量的变化 随着胁迫程度的增加可溶性糖的含量也在增加(表 4)。在胁迫到达 14 d 时,各处理可溶性糖的含量增加到最大,其中重度胁迫下含量达 63.88%,随着胁迫天数的增加可溶性糖含量反而减少;且中度和重度胁迫与对照相比可溶性糖

含量差异显著($P<0.05$)。胁迫 7 d 和 21 d 时,各处理与对照相比可溶性糖含量差异不显著。茎和根中的可溶性糖含量的变化趋势与叶片的变化趋势相同。茎和根中可溶性糖含量在重度胁迫处理下,胁迫 14 d 时其含量达到最大值,分别为 59.19%和 77.9%。

表 4 干旱胁迫下百里香植株的可溶性糖含量

Table 4 The soluble sugar content of thyme under drought stress

%

形态指标	处理时间/d	可溶性糖含量			
		75%~85%	55%~65%	40%~50%	25%~35%
叶	0	48.56+0.83 ^b	48.86+1.14 ^{ab}	49.21+0.47 ^{ab}	50.71+1.33 ^a
	7	53.35+0.10 ^a	52.77+0.64 ^{ab}	52.29+0.32 ^b	52.54+0.46 ^{ab}
	14	52.30+29.75 ^a	62.82+28.86 ^a	47.34+0.06 ^a	53.88+1.09 ^a
	21	51.36+0.59 ^{ab}	50.67+0.39 ^b	52.05+0.18 ^a	47.12+0.57 ^c
茎	0	48.36+1.87 ^b	49.55+2.13 ^{ab}	50.01+1.05 ^{ab}	51.43+0.34 ^a
	7	53.24+0.23 ^a	53.14+0.17 ^{ab}	52.74+0.34 ^b	52.76+0.19 ^{ab}
	14	46.0+1.80 ^a	52.43+16.73 ^a	59.19+13.66 ^a	57.38+9.65 ^a
	21	51.39+0.63 ^a	51.51+0.75 ^a	52.16+0.08 ^a	51.57+0.60 ^a
根	0	49.39+1.09 ^a	48.21+3.21 ^a	50.25+0.25 ^a	50.76+0.66 ^a
	7	53.07+0.08 ^a	52.93+0.17 ^a	52.84+0.22 ^a	52.70+0.53 ^a
	14	43.05+8.43 ^a	62.55+41.03 ^a	70.80+3.02 ^a	77.90+4.95 ^a
	21	51.44+0.80 ^a	50.20+0.42 ^a	49.60+2.18 ^a	51.54+0.54 ^a

2.2.3 脯氨酸含量的变化 百里香叶片中的脯氨酸含量,轻度干旱胁迫下,在 14 d 时脯氨酸含量明显增加,为初始值的 1.8 倍,随后又降低。中度干旱胁迫下,脯氨酸在 7 d 时增加。重度干旱胁迫下,胁迫 7 d 时,脯氨酸的增长最大,初始值的 2.3 倍,随后又降低,与对照相比达到极显著水平。

百里香茎组织脯氨酸含量随着干旱胁迫的增强,其含量在增加。胁迫 14 d 时,中度胁迫处理下,脯氨酸的含量达到最大。在根中脯氨酸的含量,干旱胁迫 7 d 时重度胁迫和对照差异显著。干旱处理初期,植株中脯氨酸变化不规律,脯氨酸含量在干旱胁迫下增加的主要原因是合成增加和利用率降低(表 5)。

表 5 干旱胁迫下百里香植株的脯氨酸含量

Table 5 The proline content of thyme under drought stress

 $\mu\text{g/g}$

形态指标	处理时间/d	脯氨酸含量			
		75%~85%	55%~65%	40%~50%	25%~35%
叶	0	43.07+0.02 ^{ab}	43.11+0.03 ^a	43.05+0.00 ^b	43.10+0.04 ^a
	7	43.06+0.01 ^b	43.05+0.00 ^b	43.07+0.02 ^b	43.13+0.01 ^a
	14	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.01 ^a
	21	43.05+0.00 ^b	43.05+0.00 ^b	43.05+0.00 ^b	43.07+0.02 ^a
茎	0	43.05+0.00 ^b	43.07+0.01 ^b	43.14+0.02 ^a	43.08+0.05 ^b
	7	43.07+0.03 ^{ab}	43.05+0.00 ^b	43.06+0.01 ^b	43.09+0.01 ^a
	14	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a
	21	43.05+0.00 ^b	43.05+0.00 ^b	43.05+0.00 ^b	43.05+0.01 ^a
根	0	43.05+0.00 ^b	43.05+0.01 ^b	43.11+0.02 ^a	43.09+0.04 ^{ab}
	7	43.06+0.02 ^b	43.07+0.02 ^b	43.06+0.00 ^b	43.11+0.03 ^a
	14	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a
	21	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.05+0.00 ^a	43.06+0.01 ^a

2.2.4 丙二醛含量的变化 百里香叶片组织丙二醛含量随着胁迫处理强度及胁迫处理时间的延长其含量随之增加(表 6)。在重度胁迫处理 21 d 时测得其最大值为 36.66 $\mu\text{mol/g}$,比相同处理条件下的最初值增加了 1.2 倍。胁迫 7 d 时,3 个不同处理与对照相比丙二

醛含量已表现显著性($P < 0.05$),而各处理间的差异不显著;在胁迫 14 d 和 21 d 时,各处理与对照及各处理间的丙二醛含量的差异均达到显著水平。百里香茎组织的丙二醛含量变化和叶组织变化趋势相同。但组织中积累丙二醛的量要明显大于叶片组织,在重度干

旱胁迫下处理 21 d 的百里香茎组织的丙二醛含量的平均值为 98.68 $\mu\text{mol/g}$, 与处理初期相比增加了 3.5 倍。百里香根组织的丙二醛含量变化与叶和茎组织变化具有相似性, 即随着胁迫程度的增加及胁迫时间的延长其含量在增加, 但与叶、茎组织变化上也存在一定

差异。根组织丙二醛含量在处理前其平均含量为 18.24 $\mu\text{mol/g}$, 小于茎组织含量但大于叶组织。在胁迫 7 d 时, 根组织丙二醛含量有明显的增加, 7 d 和 14 d 相比丙二醛含量的增加不显著。

表 6 干旱胁迫下百里香植株的丙二醛含量

Table 6 The malondialdehyde content of thyme under drought stress

$\mu\text{mol/g}$

形态指标	处理时间/d	丙二醛含量			
		75%~85%	55%~65%	40%~50%	25%~35%
叶	0	24.28+0.93 ^a	17.12+3.93 ^b	12.35+4.31 ^b	16.42+3.83 ^b
	7	33.77+1.95 ^a	22.97+4.30 ^{ab}	26.37+9.17 ^{ab}	21.35+4.38 ^b
	14	18.69+1.80 ^c	20.37+3.49 ^c	29.34+1.44 ^b	35.35+3.91 ^a
	21	54.16+12.53 ^a	27.64+4.03 ^b	39.96+3.98 ^b	34.66+1.37 ^b
茎	0	32.18+2.37 ^a	25.04+6.87 ^{ab}	21.00+2.65 ^b	22.04+1.68 ^b
	7	83.03+15.31 ^a	34.20+2.39 ^b	68.03+16.56 ^a	42.74+11.29 ^b
	14	60.93+11.00 ^b	43.59+5.61 ^c	84.76+8.93 ^a	76.91+10.12 ^{ab}
	21	60.19+12.62 ^c	86.20+13.31 ^b	117.60+13.70 ^a	96.68+7.50 ^{ab}
根	0	18.09+3.75 ^a	19.02+1.74 ^a	14.16+2.13 ^a	15.14+2.58 ^a
	7	37.61+6.64 ^a	21.08+6.02 ^b	50.91+9.33 ^a	43.79+5.79 ^a
	14	42.95+10.93 ^b	55.73+5.41 ^b	57.87+8.98 ^b	82.48+18.42 ^a
	21	58.52+16.08 ^a	66.12+18.14 ^a	62.25+22.64 ^a	71.93+19.97 ^a

2.2.5 POD 活性的变化 同一干旱胁迫处理梯度下, 随着胁迫时间的延长, 各器官过氧化物酶活性都不同程度下降, 随着干旱胁迫程度的加剧, 会促进植株体内过氧化物酶活性的减弱。百里香植株在不同干旱胁迫处理下, 植株过氧化物酶活性减弱, 干旱胁迫处理

21 d 时, 中度胁迫叶片中过氧化物酶活性与对照处理差异显著; 随着干旱胁迫梯度的不断升高, 胁迫处理 14 d 和 21 d, 植株茎变化最明显的重度胁迫下, 与对照差异显著; 干旱胁迫处理 21 d 时, 重度胁迫时根部中过氧化物酶活性与对照差异显著(表 7)。

表 7 干旱胁迫下百里香植株的 POD 活性

Table 7 The POD activity of thyme under drought stress

U/g

形态指标	处理时间/d	POD 活性			
		75%~85%	55%~65%	40%~50%	25%~35%
叶	0	43.96+11.43 ^a	36.58+1.31 ^a	24.20+4.93 ^b	46.78+2.81 ^a
	7	36.20+6.20 ^{ab}	38.36+3.80 ^b	30.36+6.04 ^{ab}	25.67+6.37 ^b
	14	9.04+4.14 ^a	5.69+7.0 ^a	3.0+3.71 ^a	0.4+0.18 ^a
	21	2.04+1.63 ^b	1.29+1.66 ^b	6.73+0.71 ^a	2.71+1.94 ^b
茎	0	138.84+43.13 ^b	88.22+14.56 ^b	258.41+29.33 ^a	115.07+7.31 ^b
	7	79.27+14.04 ^b	122.16+29.57 ^a	44.27+15.30 ^b	61.20+10.68 ^b
	14	18.38+5.14 ^c	58.16+20.64 ^b	27.80+3.41 ^c	121.38+16.0 ^a
	21	8.36+4.07 ^b	3.73+3.13 ^b	6.0+1.0 ^b	53.96+11.27 ^a
根	0	29.42+0.54 ^b	33.00+2.71 ^b	40.87+2.49 ^b	146.51+15.83 ^a
	7	96.62+22.62 ^a	73.71+20.79 ^a	63.13+19.70 ^a	71.16+11.94 ^a
	14	107.71+36.73 ^a	108+23.57 ^a	54.04+52.92 ^a	52.40+28.78 ^a
	21	29.80+3.38 ^c	24.89+1.30 ^c	43.69+10.57 ^b	63.73+0.94 ^a

2.2.6 SOD 活性的变化 对百里香植株不同组织 SOD 活性测定表明, SOD 活性表现为根组织 > 茎组织

> 叶片组织。随着干旱胁迫时间的延长, SOD 活性发生显著的变化, 其中根、茎、叶在重度胁迫下变化最大,

表现出与对照明显的差异,叶片组织在轻度胁迫和重度胁迫条件下,胁迫 7 d 时,SOD 活性明显增加,超出

初始值的 1.1 倍。在胁迫 14 d 时活性值下降,到 21 d 时活性值又增加(表 8)。

表 8 干旱胁迫下百里香植株的 SOD 活性

Table 8 The SOD activity of thyme under drought stress

U/g

形态指标	处理时间/d	SOD 活性			
		75%~85%	55%~65%	40%~50%	25%~35%
叶	0d	84.66+37.20 ^a	150.92+67.55 ^a	186.92+70.81 ^a	81.80+59.26 ^a
	7d	208.05+82.43 ^a	248.50+52.43 ^a	155.42+73.38 ^a	236.53+66.67 ^a
	14d	109.56+3.42 ^b	184.74+20.25 ^a	193.57+41.02 ^a	182.01+28.60 ^a
	21d	132.33+128.46 ^a	258.94+135.04 ^a	84.97+44.39 ^a	95.72+49.14 ^a
茎	0d	143.15+90.43 ^a	131.29+119.01 ^a	192.64+46.02 ^a	89.16+63.24 ^a
	7d	58.82+13.66 ^b	39.42+17.45 ^b	53.87+44.56 ^b	167.80+31.02 ^a
	14d	28.92+4.12 ^d	236.63+10.12 ^b	281.93+6.70 ^a	173.65+29.71 ^c
	21d	262.64+80.76 ^{ab}	229.39+32.82 ^b	236.78+22.78 ^b	330.48+23.04 ^a
根	0d	173.42+91.03 ^a	143.97+114.29 ^a	181.19+90.50 ^a	176.69+88.83 ^a
	7d	20.43+14.90 ^c	36.12+30.36 ^{bc}	74.72+33.32 ^b	142.21+8.18 ^a
	14d	38.71+24.60 ^c	287.07+29.43 ^a	264.58+16.49 ^a	164.02+15.18 ^b
	21d	213.60+42.54 ^b	329.81+80.61 ^a	318.39+37.55 ^a	369.77+38.01 ^a

3 讨论

3.1 干旱胁迫对百里香的形态指标的影响

根系是植物吸收水分的主要器官,与植物的抗旱性有密切关系^[16]。干旱胁迫下,植物根系首先受到影响,并快速向上传递胁迫信号,然后植株体内出现水分状况异常,最终表现为植株生长受到的抑制,植株的叶片出现枯萎凋零,茎干出现明显的干枯。当根系的生长速度大于地上部分,根冠比增大,根系可以不断从土壤中吸收水分以保证地上部分的生长,当土壤相对含水量小于植物所能承受的最低限度时,地下部分的生长速度大于地上部分,根冠比增加,表现较强的抗旱性,这与本试验的研究结果一致^[17]。

植物生长对水分不足有着极高的敏感度,土壤和空气干燥,会使得植物的生长发生变化植株营养不足,发育迟缓。干旱使得植物的叶片水分和营养供给不足,植物生物量向根部聚集,功能根的数目和长度均明显增加。研究表明,抗旱植物在面对土壤缺水的干旱环境时,各种生物量会优先向根部和颈部分配,而非抗旱植物则不具备这种“功效”,非抗旱植物的分配机制不是很明显,没有明确的智能调配机制。且抗旱植物根系比其他植物更为密集,叶片稀疏,所以,干旱地区的植物一般都是根系庞大而繁多,叶片小而干瘪,这是

因为干旱地区只有植物根系吸水能力强,叶片蒸发能力弱的植物才能存活下来。

3.2 干旱胁迫对百里香生理指标的影响

干旱使原生质体受到损伤,导致植株体内的渗透调节物质以及酶活性因子发生变化。渗透调节是植物在干旱条件下维持植物有效生长膨压的基本生理机制^[18]。可溶性糖是植物重要的能源和碳源,参与植株生命代谢的多个途径。植物细胞内可溶性糖的累积,可增加细胞内渗透势,以此维持植株正常生长所需水分,提高抗逆性^[19]。大多数植物可溶性蛋白均是参与各种代谢的酶类,具有良好的渗透调节作用^[20]。干旱处理下,植株体内的蛋白质与可溶性糖含量都有明显地上升,随着干旱梯度的增加和干旱时间的延长,两者都明显的增加,说明百里香植株通过蛋白质与可溶性糖的积累来增加抗旱能力,这与廖亮等人对桂花的研究结果一致^[21]。脯氨酸是多种植物体内最有效的一种亲和性渗透调节物质^[22];而随着干旱胁迫的进行,植株体内的脯氨酸含量的整体变化不是很大,作为百里香的一个抗旱指标有待考究。POD、SOD 是植物体内重要的保护酶系统的组成部分之一,SOD 主要用于催化 O_2^- 发生歧化作用,起到清除 O_2^- 的解毒作用,而歧化产生 H_2O_2 由 POD 清除排出体外^[23]。本研究,植株体内的 SOD、POD 活性一直呈上升的趋势,以此来

适应环境的变化。膜脂过氧化产物 MDA 含量随水分胁迫程度加剧而增加^[24],所以,常以 MDA 含量变化来反映植物膜脂过氧化的水平和对细胞膜的伤害程度。本研究丙二醛的含量在不断增加,说明干旱胁迫对细胞膜的胁迫也在不断增加。

4 结论

百里香可以通过减少株高生长量、叶面积生长量及增加植株的根冠比来适应干旱胁迫。百里香根组织可溶性蛋白质含量变化区别于叶和茎组织的变化,在相同胁迫时间下,随着干旱胁迫程度的加大其含量呈下降趋势。百里香叶、茎、根各组织中可溶性糖含量均随着胁迫程度的增加而增加。百里香叶片组织重度干旱胁迫 7 d 时,脯氨酸的增长最大,为初始值的 2.3 倍,随后又降低,与对照相比达到极显著水平。茎和根中脯氨酸变化趋势没有叶的变化幅度大,从胁迫开始到 14 d 内,脯氨酸含量增加,14 d 到 21 d 脯氨酸的含量下降。百里香根组织的丙二醛含量变化与叶和茎组织变化具有相似性,即随着胁迫程度的增加及胁迫时间的延长其含量在增加,但与叶、茎组织变化上也存在一定差异。SOD 活性表现为根组织>茎组织>叶片组织。随着干旱胁迫的加重和时间的延长,酶活性发生显著的变化,其中根、茎、叶中重度胁迫下变化最大,表现出与对照明显的差异。同一胁迫梯度下,茎和根中 SOD 活性随着时间的延长而增加。干旱胁迫不同处理下,随着胁迫强度和时间的延长,植株根、茎、叶组织的 POD 酶活性减弱。

参考文献:

[1] 朱凤荣. 干旱胁迫对三种草本植物生理生化特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(6): 88-91.

[2] 冯冬蕾. 东北地区干旱特征及典型干旱过程成因分析[D]. 成都: 成都信息工程大学, 2018.

[3] 王刚. 济宁地区干旱对作物叶片生理特性的影响分析[J]. 现代农业科技, 2019(6): 175.

[4] 杨阳, 申双和, 王润元, 等. 干旱胁迫对半干旱雨养区春小麦生长发育及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 82-85.

[5] 王凯悦, 陈芳泉, 黄五星. 植物干旱胁迫响应机制研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(2): 19-25.

[6] 杨敏. 百里香研究进展[J]. 园艺与种苗, 2018(11): 68-70+75.

[7] 赵波. 辽宁省百里香属(*Thymus* L.) 植物生物学特性及挥

发油特性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2015.

- [8] 李合生, 鲁翠涛, 曾汉来. 钙对氮代谢关键酶的调控及其与蛋白激酶的关系的初步研究[C]. 中国植物生理学会, 2006: 56.
- [9] 郭芳. 三种薄荷对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
- [10] 王孝平, 邢树礼. 考马斯亮蓝法测定蛋白含量的研究[J]. 天津化工, 2009, 23(3): 40-42.
- [11] Yueyun Hong, Suqin Zheng, Xuemin Wang. Dual Functions of Phospholipase D α 1 in Plant Response to Drought[J]. *Molecular Plant*, 2008, 1(2): 96-101.
- [12] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 354-356.
- [13] 马艳芝, 客绍英. 柴胡幼苗越冬抗寒性及其相关生理指标筛选[J]. 西北植物学报, 2014, 34(4): 786-791.
- [14] 耿殿祥. NO 在 UV-A 诱导的萝卜芽苗菜抗坏血酸合成中的作用[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [15] 丁膺宾, 张海艳. PEG 模拟干旱对桔梗种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(10): 51-53+57.
- [16] 赖金莉, 李欣欣, 薛磊, 等. 植物抗旱性研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(17): 23-27.
- [17] 董晓晓, 刘雪, 蒋亚蓉, 等. 干旱胁迫对 24 种宿根花卉生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 125-131.
- [18] 李莎莎, 李红, 杨伟光, 等. 苜蓿抗旱生理与分子机制[J]. 草业学报, 2018, 35(2): 331-340.
- [19] 齐钊, 闫臻, 徐敏, 等. 干旱胁迫对火龙果植株形态及生理指标的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(3): 26-32+173.
- [20] 王德信, 杨晓莹. 玉米幼苗对干旱胁迫的生理响应[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(4): 26-29.
- [21] 廖亮, 吴家胜, 吴江, 等. 干旱胁迫对桂花幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 西部林业科学, 2018, 47(2): 54-58.
- [22] 董鹏, 李铭, 马新, 等. 干旱胁迫对 5 个园林绿化树种生理生化特性的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(4): 699-704.
- [23] 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 503-507.
- [24] 葛体达, 隋方功, 白莉萍, 等. 水分胁迫下夏玉米根叶保护酶活性变化及其对膜脂过氧化作用的影响[J]. 中国农业科学, 2005(5): 922-928.

Morphological and physiological response of thyme plants characteristics to drought stress

ZHOU Xin-sheng, CUI Jia, SI Jia-yi, YANG Xiu-yun, YANG Xiao-pen

(College of forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: In this experiment, the method of weighing and controlling water was used, the seedlings of *Thymus mongolicus* Ronn were treated with four different gradients of drought stress, suitable growth moisture content (control), mild stress, moderate stress, and severe stress. By measuring the morphological index and physiological index of thyme, the law of its change under drought stress was analyzed to provide theoretical basis for its application in landscape architecture. The results show that: (1) Thyme could adapt to drought stress by reducing plant height growth, leaf area growth and increasing root-cap ratio. (2) The change of soluble protein content in thyme root is different from that in leaf and stem, under the same stress time, the content of soluble protein in thyme root tissues showed a decreasing trend with the increasing of drought stress degree. The average protein content of thyme roots and stems was close to 5.07mg/g, less than the soluble protein content of leaf tissues. At 7 days of stress, the difference between severe and moderate drought stress and control group was significant ($P < 0.05$). (3) The content of thyme in different tissues increased with the increase of stress degree and the extension of stress time. The content of malondialdehyde in root tissues is 18.24 μ mol/g until the thyme was treated, which was lower than that in stem tissues but higher than that in leaf tissues. (4) The soluble sugar content of thyme leaves, stems and roots increased with the increase of stress degree. At 14 d of stress, the soluble sugar content of each treatment reached the maximum, among which the content of root tissue reached 77.9% under severe stress. But the soluble sugar content decreased with the increase of stress days. (5) The content of proline in thyme leaves was the highest, which was 2.3 times of the initial value at 7 days of severe drought stress. Then the content decreased, and reaching a very significant level compared with the control. (6) Under the same stress gradient, SOD activity in stem and root increased with the extension of stress time. With the extension of drought stress intensity and time, the POD activity of roots, stems and leaves decreased.

Key words: drought stress; thyme; morphological changes; physiological indicators

版权声明

为扩大大刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在 CNKI 中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用作为作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,即不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意编辑部上述声明。