

前植物  
生产层

## 5种冷季型草坪草的耐热性研究

孙彦, 张芸芸

(中国农业大学动物科技学院草业科学系, 北京 100193)

**摘要:**通过生化培养箱模拟北京地区的高温高湿环境,对高羊茅(*Festuca arundinacea*)、多年生黑麦草(*Lolium perenne*)、匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)和粗茎早熟禾(*P. trivialis*)这5种冷季型草坪草在热胁迫过程中的外观质量指标每株绿叶数、生长高度和生理生化指标叶片相对含水量、叶片相对电导率、叶绿素含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性进行分析。结果表明,在昼夜35℃/30℃的高温下,随着胁迫时间的延长,5种草坪草叶片相对含水量下降,叶片相对电导率上升。叶片叶绿素含量在高温环境中变化趋势不一致,高羊茅、多年生黑麦草、草地早熟禾的叶绿素含量呈先上升后下降的趋势,而匍匐剪股颖和粗茎早熟禾则呈现出持续下降的趋势。随着高温胁迫时间的延长,5种草坪草的SOD、POD活性呈先上升后下降的变化趋势。CAT活性下降,且随着时间的延长,POD和CAT活性下降的幅度增大。在高温胁迫过程中,5种草坪草每株绿叶数和植株生长高度降低。通过聚类分析可将5种草坪草大致聚为3个耐热级别:1级(相对耐热)高羊茅;2级(中等耐热)草地早熟禾、多年生黑麦草、匍匐剪股颖;3级(相对敏感)粗茎早熟禾。

**关键词:**冷季型草坪草;耐热性;外观指标;生理生化指标

**中图分类号:**S812;S688.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-0629(2011)11-1909-06

\*<sup>1</sup> 草坪业作为一门新兴行业在我国迅速发展,而冷季型草坪草因其绿期长、质地柔软、色泽嫩绿、外貌美观等优点,更是深受广大人们的喜爱<sup>[1]</sup>。随着温室效应造成全球气候变暖,全球平均气温升高<sup>[2-3]</sup>。7—9月为北京的高温高湿期,平均温度高于30℃的高温天气可持续数周之久,有时极端温度超过40℃,或者在极强光照下,草坪草叶表温度可超过50℃,平均湿度也可达76%,给草坪草生长造成极大的甚至是致命的伤害。因此,冷季型草坪草的耐热性研究就显得非常重要。

高羊茅(*Festuca arundinacea*)、多年生黑麦草(*Lolium perenne*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)和粗茎早熟禾(*P. trivialis*)均属于禾本科冷季型草坪草,被广泛应用于普通绿化、高尔夫球场、足球场、保龄球场等草坪建植<sup>[1]</sup>。

针对高羊茅、草地早熟禾、匍匐剪股颖、多年生黑麦草各个草种的生理指标研究有报道<sup>[4-7]</sup>。但综合各个指标比较研究还鲜见报道。石永红等<sup>[8]</sup>对多年生黑麦草的高温半致死温度及耐热进行了研究。赵海明等<sup>[9]</sup>在夏季高温时对不同草地早熟禾品种坪用质量的影响进行了研究。王婷婷等<sup>[10]</sup>评价了利用细胞工程技术选育的草地早熟禾新种质的耐热

性。对于5种草坪草同时比较耐热性在国内未见报道。

本研究通过实验室培养箱模拟北京地区的高温高湿环境,对这5种冷季型草坪草在热胁迫过程中的外观指标和生理生化指标进行分析,比较5种冷季型草坪草之间耐热性能的差异,从而筛选出耐热性能好的草坪草种,为北京地区建植耐高温冷季型草坪和降低草坪养护管理费用具有重要的理论与实际意义。

### 1 材料与方 法

**1.1 试验材料** 试验用草坪草为高羊茅的普通品种(*F. arundinacea* cv. Popular)、草地早熟禾的肯塔基品种(*P. pratensis* cv. K. B. G)、匍匐剪股颖的派尼A-4(*A. stolonifera* cv. PennA-4)、多年生黑麦草蒙特利品种(*L. perenne* cv. Monterey II),种子来自中国农业大学牧草种子实验室,粗茎早熟禾威罗品种(*P. trivialis* cv. Bariviera)种子由北京绿冠种业公司提供。

收稿日期:2011-01-04 接受日期:2011-03-15  
基金项目:国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD16B09-2)  
作者简介:孙彦(1965-),女(蒙古族),内蒙古通辽人,副教授,博士,主要从事草坪科学及管理以及牧草与草坪草种子质量检验工作。  
E-mail:ctsooffice@yahoo.com.cn

**1.2 试验准备** 试验于2007年7月在中国农业大学学院内进行。先将泥土、草炭、蛭石以1:1:1的比例混合,加入适当的沙子调节土壤透性,装入45盆直径为13 cm的塑料花盆中待用。将5种草坪草种子均匀撒播至盆中(每种草种植9盆),再覆一层细薄土,轻轻压实。出苗前经常用喷雾器浇水,保持土壤的湿润。出苗后按照常规方法管理,每隔2 d浇一次水,以浇透为原则;每周进行一次修剪,修剪高度高羊茅、草地早熟禾、多年生黑麦草和粗茎早熟禾为6 cm,匍匐剪股颖为3 cm。待草坪草生长60 d后转移到可控温湿培养箱(日本三洋)中生长。

**1.3 培养箱设置** 将45盆草坪草随机分成2组,对照组15盆(每种草坪草3盆),胁迫组30盆(每种草坪草6盆,每2盆作为一个处理),随机放入两台温度设置为25℃/20℃(昼/夜),湿度75%,光周期12 h,光强3 000 lx的培养箱中进行培养。待草坪草生长1周后,调整胁迫组培养箱的参数,使其温度变为35℃/30℃(昼/夜),湿度75%,光周期12 h,光强3 000 lx,作为高温胁迫处理;对照组培养箱的各个参数不变,作为对照处理。处理期间各盆草坪草按照常规方法进行管理,保证土壤干湿交替。分别在草坪草生长的第0、5、10、15和20天取样,放入-70℃的冰箱中待用,然后进行形态指标和生理生化指标的测定。每个处理重复3次。

**1.4 测定项目及方法** 各项测定指标均以鲜质量为基础进行计算。

**1.4.1 叶片含水量的测定** 剪取的草坪草新鲜叶片(FW),放入110℃的烘箱中快速杀死植物组织以防止呼吸作用的消耗,再将其放入70℃的烘箱中烘24 h,冷却至室温后进行称干质量(DW)<sup>[11]</sup>。

$$\text{叶片含水量} = (FW - DW) / FW \times 100\%$$

**1.4.2 叶片相对电导率的测定** 剪取新鲜叶片0.1 g,将其洗净后浸在20 mL去离子水中,常温下震荡24 h后用电导仪测其溶液的电导率 $C_{\text{initial}}$ ,然后再放入沸水中处理20 min以杀死组织,冷却至室温后再测定溶液的电导率 $C_{\text{max}}$ <sup>[11]</sup>。

$$\text{相对电导率} = C_{\text{initial}} / C_{\text{max}} \times 100\%$$

**1.4.3 叶绿素含量的测定** 叶绿素含量的测定采用95%丙酮-乙醇提取液的方法<sup>[11]</sup>,准确称取0.5 g(精确到0.1 mg)植株叶片,加6 mL双蒸水和少量CaCO<sub>3</sub>,匀浆,定容至25 mL,过滤后取2.25 mL滤液放入50 mL比色管中,加入23.75 mL 95%丙酮-

乙醇(丙酮:乙醇=2:1)溶液匀浆暗中提取叶绿素20~30 min,将提取液分别在663 nm和645 nm下进行比色,用Arono公式计算叶绿素的含量。

$$\text{叶绿素 a (Chla)} (\text{mg/L}) = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$

$$\text{叶绿素 b (Chlb)} (\text{mg/L}) = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$

$$\text{叶绿素总量 (Chl)} (\text{mg/L}) = \text{Chla} + \text{Chlb}$$

**1.4.4 抗氧化物酶的测定** 称取0.5 g叶片,加入5 mL预冷提取液(含50 mmol/L pH值7.0的磷酸缓冲液和1%PVP),在冰浴中研磨成匀浆,匀浆经10 853 r/min转速下离心30 min,上清液即为粗酶液,保存于4℃条件下备用,用于测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性<sup>[11]</sup>。

SOD的测定:取样品50 μL酶液,加入3.9 mL反应混合液含50 mmol/L pH值7.8的磷酸缓冲液、77.12 μmol/L硝基四唑蓝(NBT)、0.1 mmol/L 乙二胺四乙酸(EDTA)、13.37 mmol/L 蛋氨酸和0.1 mL 80.2 μmol/L核黄素,以不加酶液作为对照,放在3 000 lx下光照10 min后,于560 nm处测定SOD值。以每分钟抑制NBT光氧化还原50%的酶用量为1个酶活单位[U/(min·g)]。

CAT的测定:取0.1 mL酶液,加入3 mL反应液(100 mL 0.05 mol/L pH值7.0的磷酸缓冲液+85 μL 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)后,以3.1 mL 0.05 mol/L pH值7.0的磷酸缓冲液作为对照,立即于240 nm下比色,酶活性以1 min中内H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>在A<sub>240</sub>下降的吸光度值为一个酶活单位[U/(min·g)]。

POD的测定:取20 μL酶液,加入1 mL 0.1 mol/L pH值6.0的磷酸缓冲液和3 mL POD反应液(50 mL 0.1 mol/L pH值6.0的磷酸缓冲液+20 μL愈创木酚+19 μL 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)后,以4 mL 0.1 mol/L pH值6.0的磷酸缓冲液为对照,立即于470 nm下比色,酶活性以ΔOD<sub>470</sub> nm/(min·g)表示。

**1.4.5 每株绿叶数的测定** 在每盆草坪草中随机选取10株植株,分别测定每株的绿叶数目,即为绿叶数/株。

**1.4.6 植株生长高度的测定** 在每盆草坪草中随机选取10株植株,测定植株基部到叶片最高点之间的距离,作记录。处理5 d后,再在每盆草坪草中随机选取10株植株,测定植株基部到叶片最高点之间的距离,两者之差即为草坪草在这5 d的植株生长高度。

**1.5 统计方法** 对试验条件下测定的指标采用 one-way ANOVA 进行方差分析,对 5 种草坪草各个指标含量的聚类分析采用的是系统聚类分析(hierarchical cluster)方法,统计分析中所用的分析软件为 SPSS 11.5。

## 2 结果

**2.1 5 种草坪草不同高温胁迫下叶片相对含水量的变化** 在不同的高温胁迫时间下,5 种冷季型草坪草的叶片相对含水量的变化之间差异显著( $P < 0.05$ )。高羊茅在高温胁迫的第 5 天比第 0 天相对含水量显著降低,第 10 天与第 5 天之间差异不显著( $P > 0.05$ ),第 10、15 和 20 天三者之间下降的相对含水量均差异显著。多年生黑麦草在高温胁迫的第 5 天其叶片相对含水量下降的幅度较第 0 天差异不显著,其余各个处理间差异均显著。而匍匐剪股颖,草地早熟禾和粗茎早熟禾这 3 种草坪草的 5 个处理间差异显著(表 1)。

表 1 5 种草在高温胁迫下叶片相对含水量的变化 %

处理	高羊茅	多年生				粗茎早熟禾
		黑麦草	匍匐剪股颖	草地早熟禾	早熟禾	
第 0 天	82.58a	79.89a	79.79a	80.47a	77.48a	
第 5 天	81.03b	78.46a	75.45b	78.82b	75.33b	
第 10 天	80.82b	75.17b	73.76c	76.00c	71.01c	
第 15 天	77.12c	72.28c	69.79d	74.11d	66.91d	
第 20 天	75.68d	67.98d	66.35e	71.72e	63.00e	

注:同列不同小写字母表示同一草种不同处理间在 0.05 水平差异显著。下表同。

**2.2 5 种草坪草高温胁迫下叶片相对电导率的变化** 在不同的高温胁迫下,5 种冷季型草坪草的叶片相对电导率之间存在显著差异,多年生黑麦草和草地早熟禾各个处理间都是第 15 和 20 天之间相对电导率的增加差异不显著( $P > 0.05$ ),其余各个处理间存在着显著差异( $P < 0.05$ )。而高羊茅、匍匐剪股颖和粗茎早熟禾 3 种草在 5 个不同处理时间的相对电导率均显著增加(表 2)。

**2.3 5 种草坪草在高温胁迫下叶片叶绿素含量的变化** 高羊茅在高温胁迫的当天与第 5 和 10 天之间叶片叶绿素含量差异不显著( $P > 0.05$ ),而第 10 天较第 5 和 15 天叶绿素下降显著( $P < 0.05$ ),第 20 天与第 15 天之间差异不显著。多年生黑麦草

表 2 5 种草坪草在高温胁迫下叶片相对电导率的变化 %

处理	高羊茅	多年生				粗茎早熟禾
		黑麦草	匍匐剪股颖	草地早熟禾	早熟禾	
第 0 天	9.04e	10.97d	11.33e	10.78d	13.38e	
第 5 天	12.97d	14.77c	19.48d	14.09c	24.25d	
第 10 天	24.42c	30.94b	51.07c	29.94b	73.56c	
第 15 天	31.82b	42.72a	68.73b	40.58a	92.86b	
第 20 天	34.09a	42.78a	69.33a	41.18a	85.67b	

和匍匐剪股颖之间差异显著情况一致,均是在高温处理的当天和第 5 天之间差异不显著,第 10 天比第 5 天叶绿素含量下降显著,第 15 天与第 10 天之间差异不显著,第 20 天与第 15 天之间差异显著。草地早熟禾 5 个处理间叶绿素含量下降显著。粗茎早熟禾在高温处理的第 5 天与第 0 天之间差异不显著,其余各个处理间的差异均显著(表 3)。

表 3 5 种草坪草在高温胁迫下叶片叶绿素含量的变化 mg/g

处理	高羊茅	多年生				粗茎早熟禾
		黑麦草	匍匐剪股颖	草地早熟禾	早熟禾	
第 0 天	1.18ab	1.06a	1.02a	1.19b	1.07a	
第 5 天	1.22a	1.09a	0.98a	1.33a	1.06a	
第 10 天	1.14b	0.94b	0.90b	1.11c	0.91b	
第 15 天	0.99c	0.88b	0.85b	0.95d	0.82c	
第 20 天	0.94c	0.79c	0.78c	0.85e	0.73d	

**2.4 5 种草坪草不同高温胁迫下叶片抗氧化酶活性的变化** 高羊茅、草地早熟禾与粗茎早熟禾的各处理之间差异显著情况表现一致,均是第 5 天比第 0 天 SOD 活性显著增加( $P < 0.05$ ),第 10 天与第 0 天相比下降不显著( $P > 0.05$ ),第 15 天和第 20 天之间下降显著,且与其他各个处理间的也表现出差异显著。多年生黑麦草和匍匐剪股颖 2 种草坪草的 5 个处理间差异均显著(表 4)。

在高温胁迫的 5 种不同时间处理下,5 种冷季型草坪草的 CAT 活性均表现为随着胁迫时间的延长显著下降( $P < 0.05$ )(表 5)。

高羊茅在高温胁迫的第 5 天比第 0 天的 POD 活性值显著增加,第 10 天与第 5 天的活性值差异不显著,第 15 天与第 5 和 10 天之间差异显著,但却与第 0 天之间差异不显著,在高温胁迫的第 20 天,其

POD 活性下降,与其他各处理间差异均显著。草地早熟禾在高温胁迫的第 5 和 10 天,POD 活性值均较第 0 天表现出显著增加,而第 15 天与第 0 天之间差异不显著,第 20 天显著低于其余各处理。多年生黑麦草、匍匐剪股颖和粗茎早熟禾 3 种草坪草之间的显著性表现一致,均是高温胁迫的第 5 天比第 0 天 POD 活性增加,且差异显著,第 10 天与第 0 天之间差异不显著,但与第 5 天之间差异显著,第 15 和 20 天 2 个处理间差异显著,且与其他各个处理间的差异也显著(表 6)。

表 4 5 种草坪草在高温胁迫下叶片

SOD 活性的变化 U/(g·min)

处理	高羊茅	多年生		粗茎	
		黑麦草	剪股颖	早熟禾	早熟禾
第 0 天	474.43b	414.32b	395.67b	419.54b	280.69b
第 5 天	536.95a	487.39a	412.32a	472.54a	367.51a
第 10 天	473.37b	407.66c	345.83c	415.24b	274.85b
第 15 天	443.89c	349.81d	304.46d	375.12c	226.88c
第 20 天	420.54d	322.75e	270.02e	339.11d	200.24d

表 5 5 种草坪草在高温胁迫下叶片

CAT 活性的变化 U/(g·min)

处理	高羊茅	多年生		粗茎	
		黑麦草	剪股颖	早熟禾	早熟禾
第 0 天	413.30a	388.61a	380.92a	421.85a	378.13a
第 5 天	389.31b	360.33b	362.32b	381.17b	346.84b
第 10 天	350.10c	321.23c	293.29c	335.85c	284.05c
第 15 天	300.81d	260.71d	234.67d	286.24d	218.21d
第 20 天	233.41e	185.19e	163.67e	213.53e	137.67e

表 6 5 种草坪草在高温胁迫下叶片

POD 活性的变化 OD<sub>470 nm</sub>/(g·min)

处理	高羊茅	多年生		粗茎	
		黑麦草	剪股颖	早熟禾	早熟禾
第 0 天	18.51b	17.21b	15.34b	16.40c	14.17b
第 5 天	21.38a	20.49a	20.04a	22.06a	18.56a
第 10 天	20.51a	16.79b	15.58b	18.19b	14.22b
第 15 天	18.21b	12.44c	11.65c	15.71c	9.37c
第 20 天	13.37c	8.94d	6.07d	11.34d	3.99d

2.5 5 种草坪草不同高温胁迫下每株绿叶数的变化 高羊茅在高温胁迫条件下,其每株绿叶数减少趋势较为平缓,在第 0、5、10 和 15 天 4 个不同高温时间的处理下,每株绿叶数之间差异不显著,

在第 20 天其每株绿叶数的减少才表现出显著差异。草地早熟禾第 5 天与第 0 天之间,每株绿叶数下降,差异不显著,但在高温胁迫的第 10、15 天和第 20 天之间差异显著。多年生黑麦草、匍匐剪股颖和粗茎早熟禾 3 种草坪草的 5 个不同高温胁迫处理间均表现出显著降低(表 7)。

表 7 5 种草坪草在高温胁迫下绿

叶数/株变化 数/株

处理	高羊茅	多年生		粗茎	
		黑麦草	剪股颖	早熟禾	早熟禾
第 0 天	4.13a	4.03a	3.80a	3.93a	3.87a
第 5 天	4.17a	3.87b	3.63b	3.90a	3.60b
第 10 天	4.00a	3.67c	3.40c	3.67b	3.17c
第 15 天	3.93a	3.40d	3.00d	3.43c	2.63d
第 20 天	3.60b	3.03e	2.50e	3.17d	2.03e

2.6 5 种草坪草不同高温胁迫下植株生长高度的变化 高羊茅、多年生黑麦草和匍匐剪股颖在不同高温胁迫时间下差异显著性表现一致,第 5 天与第 0 天植株的生长高度差异不显著,而在高温胁迫的第 10、15 和 20 天之间显著递减。草地早熟禾与粗茎早熟禾在高温胁迫的 5 种不同时间处理下均表现出显著递减趋势(表 8)。

表 8 5 种草坪草在高温胁迫下植株

生长高度变化 cm

处理	高羊茅	多年生		粗茎	
		黑麦草	剪股颖	早熟禾	早熟禾
第 0 天	1.93a	1.85a	1.48a	1.87a	1.69a
第 5 天	1.92a	1.77a	1.51a	1.81b	1.57b
第 10 天	1.76b	1.53b	1.37b	1.64c	1.36c
第 15 天	1.53c	1.07c	1.13c	1.30d	1.00d
第 20 天	1.38d	0.87d	0.83d	0.97e	0.70e

2.7 耐热性综合评价 综合上述生理生化指标和外观质量指标在处理的的不同时间点的增加率和降低率,将 5 种草坪草进行聚类分析,结果表明(图 1) 5 种草坪草可以大致聚为 3 类,其中高羊茅单独聚为一类,其各项指标总体变化稳定,耐热性最好;多年生黑麦草、草地早熟禾、匍匐剪股颖 3 种草坪草聚为一类,其各项指标总体变化相对稳定,耐热性相对较强;粗茎早熟禾单独聚为一类,其各项指标总体变化不稳定,耐热性较差。

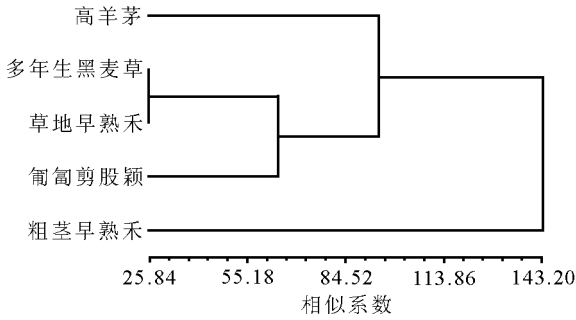


图1 5种草坪草各个指标综合聚类分析

### 3 讨论与结论

**3.1 高温下叶片相对含水量的变化** 在昼夜 35 °C/30 °C 的高温胁迫下,5 种草坪草叶片相对含水量下降。草坪草叶片相对含水量的平均值从高到低为高羊茅>草地早熟禾>多年生黑麦草>匍匐剪股颖>粗茎早熟禾。高羊茅的叶片相对含水量显著高于其他 4 种草坪草。逆境中植物叶片相对含水量的大小,可以部分反映植物抗逆性的能力<sup>[12]</sup>。根据本试验得出的结果可以认为当供试草坪草处于昼夜 35 °C/30 °C 高温环境中,其体内的相对含水量均显著下降,下降的幅度随着处理时间的延长而逐渐增大。这说明处理时间越长,蒸腾强度越大,草坪草体内水分亏缺加剧。

**3.2 高温下叶片相对电导率的变化** 当植物受到恶劣的环境胁迫时,其质膜透性增大已被许多研究证实<sup>[13-15]</sup>。5 种草坪草叶片相对电导率上升,其平均值从低到高为高羊茅<草地早熟禾<多年生黑麦草<匍匐剪股颖<粗茎早熟禾。粗茎早熟禾的相对电导率显著高于其余 4 种草坪草。试验表明,高温胁迫下叶片的质膜透性呈持续增长趋势,且在某两个特定时间出现两个转折点,首先在第 0 天到第 5 天之间质膜透性缓慢增长,之后在第 5 天到第 15 天突然急剧上升,最后在第 15 天出现平缓上升趋势,当高温胁迫时间增加到一定程度时,可能引起膜蛋白的凝聚和变性,膜结构失去活性,膜对细胞内外物质交换和控制能力逐渐丧失,使外渗液急剧增加;时间继续延长,细胞膜功能完全丧失,外渗液电导率趋近死亡电导率,细胞开始大量死亡。

**3.3 高温下叶片叶绿素含量的变化** 5 种冷季型草坪草叶片叶绿素含量在高温环境中变化趋势不一致,高羊茅、多年生黑麦草、草地早熟禾的叶绿素含量呈先上升后下降的趋势,而匍匐剪股颖和粗茎

早熟禾则呈持续下降的趋势。5 种草坪草的叶绿素平均值的高低为高羊茅>草地早熟禾>多年生黑麦草>匍匐剪股颖>粗茎早熟禾。

**3.4 高温下酶的变化** 在适应高温逆境的过程中,草坪植物体内也形成了一套清除这些自由基或活性氧的保护酶体系,即酶促防御体系<sup>[16-17]</sup>,其中包括超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等都是植物体内自由基的清除剂,三者协调一致使生物自由基维持在正常水平从而防止自由基伤害。在高温逆境下,植物体内的过氧化物酶和超氧化物歧化酶能阻止膜过氧化产物丙二醛含量增加,使自由基产生与清除平衡,增强植物抗热性<sup>[18]</sup>。本试验 5 种草坪草的超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性呈现先上升后下降的变化趋势。过氧化氢酶活性下降,且随着时间的延长,过氧化物酶和过氧化氢酶活性下降的幅度增大。

**3.5 高温下绿叶数的变化** 在高温胁迫过程中,5 种草坪草每株绿叶数降低。高羊茅的每株绿叶数显著高于其他 4 种草坪草。

**3.6 高温下植株高度变化** 随着高温胁迫时间的延长,5 种草坪草植株生长高度降低。高羊茅与草地早熟禾之间的植株生长高度差异不显著,但却显著高于其余 3 种草坪草;草地早熟禾与多年生黑麦草之间差异不显著,但显著高于匍匐剪股颖和粗茎早熟禾;多年生黑麦草、粗茎早熟禾与匍匐剪股颖三者间植株生长高度差异均不显著。

**3.7 综合分析** 通过聚类分析可将 5 种草坪草大致聚为 3 个耐热级别:1 级(相对耐热)高羊茅;2 级(中等耐热)草地早熟禾、多年生黑麦草、匍匐剪股颖;3 级(相对敏感)粗茎早熟禾。

### 参考文献

- [1] 孙彦. 草坪实用技术手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2001:34-59.
- [2] 陈育峰. 全球变化的基本特征及其与大气 CO<sub>2</sub> 浓度增加的关系研究[J]. 大自然探索, 1998, 17(64):32-35.
- [3] Houghton J T, Meiro Filho L G, Callander B A. Climate change 1995: The Science of Climate Change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996:55-100.
- [4] 赵昕,李玉霖. 高温胁迫下冷地型草坪草几项生理指标的变化特征[J]. 草业学报, 2001, 10(4):85-91.

- [5] Kenneth B M, Cell membrane thermostability and whole plant heat tolerance of Kentucky bluegrass[J]. *Crop Science*, 1998, 38:1214-1218.
- [6] Lyons E M, Pote J, DaCosta M, *et al.* Whole-plant carbon relations and root respiration associated with root tolerance to high soil temperature for *Agrostis* grasses [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59:307-313.
- [7] Xu S, Li J, Zhang X, *et al.* Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 56:274-285.
- [8] 石永红, 刘建宁, 王运琦, 等. 多年生黑麦草高温半致死温度与耐热性研究[J]. *草业科学*, 2010, 27(2):104-108.
- [9] 赵海明, 刘君, 杨志民. 夏季高温对不同草地早熟禾品种坪用质量的影响[J]. *草业科学*, 2010, 27(1):4-10.
- [10] 王婷婷, 徐国荣, 张举仁, 等. 细胞工程技术选育的草地早熟禾新种质的耐热性分析[J]. *草业学报*, 2009, 18(2):60-65.
- [11] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 500-570.
- [12] Chen C T, Chen L M, Lin C C, *et al.* Regulation of proline accumulation in detached rice leaves exposed to excess copper [J]. *Plant Science*, 2001, 160: 283-290.
- [13] Liu X Z, Huang B R. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping Bentgrass [J]. *Crop Science*, 2000, 40(2):503-510.
- [14] Steward C R, Hanson A D. Proline Accumulation as a Metabolic Response to Water Stress, Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress[M]. New York: Academic Press, 1980:173-189.
- [15] 王洪春. 植物抗逆性与生物膜结构功能研究进展[J]. *植物生理学通讯*, 1985(1):60-64.
- [16] 余叔文. 植物的热害和叶组织电阻的变化[J]. *植物学报*, 1984, 26(4):397-404.
- [17] Jiang Y, Huang B. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation of antioxidant metabolism and lipid peroxidation[J]. *Crop Science*, 2001, 41:436-442.
- [18] 王代军, 温洋. 温度胁迫下几种冷季型草坪草抗性机制的研究[J]. *草业学报*, 1998, 7(1):75-80.

## A study on heat tolerance of five cool-season turfgrasses

SUN Yan, ZHANG Yun-yun

(Department of Grassland Science, College of Animal Science and Technology,  
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to investigate heat tolerance of the five kinds of cool-season grasses, including *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*, *Agrostis stolonifera*, *Poa pratensis* and *P. trivialis*, through analyzing apparent indexes: green leaf number/plant and growth height; and physiological-biochemical indexes: relative water content, relative electric conductivity, chlorophyll content, SOD activity, CAT activity and POD activity, in artificial climatic chamber with high temperature (35 °C/30 °C, day/night) and high humidity (75%). The result showed that at high temperature (day/night, 35 °C/30 °C), the relative water content of five grasses decreased; and the relative electric conductivity of five grasses increased with threatened time increasing. The change of leaf chlorophyll content of five grasses was not consistence. The chlorophyll content of *F. arundinacea*, *L. perenne* and *P. pratensis* showed increased at first and then decreased; and the chlorophyll content of other two species decreased all the time. The SOD and POD activities of five grasses increased firstly and then decreased. CAT activity decreased all the time. The green leaf number/plant and plant growth height of five grasses decreased with threatened time increasing. The five grasses were classified three groups by a cluster analysis. The first group (heat tolerance) was *F. arundinacea*; the second group (moderate heat tolerance) were *P. pratensis*, *L. perenne* and *A. stolonifera*; and the third group (sensitive to heat) was *P. trivialis*.

**Key words:** cool-season grasses; heat tolerance; apparent index; physiological-biochemical index