

“德钦”紫花苜蓿苗期耐热性综合评价

赵 雁¹, 车伟光¹, 毕玉芬²

(1. 云南农业大学 园林园艺学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南农业大学 动物科学与技术学院, 云南 昆明 650201)

摘 要:以“阿尔冈金”(低秋眠级, 2)、“赛迪 10”(高秋眠级, 9)和“德钦”(低秋眠级, 1, 2)为试材, 采用了 30℃/35℃(夜温/昼温)长期高温处理方法, 研究了高温胁迫对“德钦”苗期的光化学效率、相对电导率、丙二醛含量、相对含水量、细胞质和细胞膜蛋白质的影响, 以探明云南野生栽培品种“德钦”紫花苜蓿苗期的耐热性。结果表明: 3 个紫花苜蓿品种苗期的耐热性强弱为: “赛迪 10”(1.00) > “德钦”(0.47) > “阿尔冈金”(0.06)。“赛迪 10”为耐热性强的品种; “德钦”耐热性中等; “阿尔冈金”为耐热性弱的品种。苗期“德钦”的耐热性强于“阿尔冈金”, 弱于“赛迪 10”。“德钦”的耐热性可能与其高温胁迫下维持细胞膜的完整性和叶片持水能力强有关, 也与其机体对膜蛋白质的保护有关。

关键词:“德钦”紫花苜蓿; 秋眠级; 苗期; 耐热性; 评价

中图分类号:S 551+.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)20-0069-05

温度上升超过一定幅度, 可能改变植物的代谢和生长发育, 造成不可逆的损害, 最终导致生长量和产量的减少。高温胁迫下, 光合作用是最敏感的生理过程之一^[1], 高温使光合色素含量降低并伤害类囊体上的光化学反应中心^[2], 导致 PSII 功能降低甚至完全丧失^[3-4]。植

物对高温胁迫的适应是依赖于整个机体的大量分子反应, 如胁迫感应、信号传导和热相关蛋白质的表达^[5]。高温胁迫将影响蛋白质代谢过程, 阻碍蛋白质合成和积累、蛋白质降解和变性, 以及诱导产生热激蛋白^[6]。蛋白质加速降解将导致叶片快速衰老^[7-8]。与此同时, 高温胁迫将诱导或增强热激蛋白的转录和合成^[9-10]。细胞中的蛋白质在大小、可溶性、定位和分布各不相同^[11], 不同蛋白质的诱导或降解均与植物的耐热性有关^[12-14]。此外, 细胞膜的热稳定性越高, 植物的耐热性越强^[15-16]。在云南干热河谷地区严酷的干热条件下, 栽培紫花苜蓿品种很难生存, 而“德钦”紫花苜蓿能够成群落分布, 并

第一作者简介:赵雁(1974-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为牧草种质资源与育种。E-mail: 744234036@qq.com.

责任作者:毕玉芬(1960-), 女, 博士, 教授, 研究方向为牧草种质资源与育种。E-mail: biyufenynd@sina.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31160480)。

收稿日期:2015-06-16

Effect of Seed Soaking With La^{3+} on Seed Germination and Physiological and Biochemical Characteristics of *Paspalum natatu*

SONG Huawei, ZHANG Juming, LIU Ying, JI Jinghua

(College of Landscape and Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

Abstract: Using *Paspalum natatu* seed as test materials, the effect of soaking *Paspalum natatu* seed with lanthanum chloride solution at concentrations of 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 300, 500, 1 000 mg/L on its germination and physiological and biochemical characteristics were studied. The results showed that La^{3+} had effects on seed germination and physiological and biochemical characteristics of *Paspalum natatu*, and depended on the concentration of La^{3+} . Within the range of 2—20 mg/L, La^{3+} soaking increased vigor of seed and its amylase activities, and promoted the *Paspalum natatu* seedling leaf and root growth, and 20 mg/L of La^{3+} was the best. When La^{3+} concentration was higher than 50 mg/L, seed vigor, amylase activities, seedling leaf and root growth was inhibited. Furthermore, it was found that the effect of La^{3+} on the growth of underground part was much stronger than the ground part.

Keywords: *Paspalum natatu*; lanthanum; seed germination; seedling growth

能够繁衍后代^[17],为了对“德钦”紫花苜蓿耐热性进行客观评价,现以耐热型高秋眠级“赛迪 10”和热敏型低秋眠级“阿尔冈金”为对照,比较 30℃/35℃(夜温/昼温)下“德钦”苗期的光化学效率、相对电导率、丙二醛含量、相对含水量、细胞质和细胞膜蛋白质的变化,以期探明云南野生栽培品种“德钦”紫花苜蓿苗期的耐热性,为该种质资源的进一步推广利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为“阿尔冈金”(‘Algonguin’),“赛迪 10”(‘Sardi 10’)和“德钦”(‘Deqin’)3 个紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)品种,秋眠级分别为 2、9、1.2。

1.2 试验方法

参照赵雁等^[18]的方法进行高温胁迫处理,高温胁迫(35℃/30℃,昼温/夜温)持续的时间为 28 d。设未处理(0 d)为对照(25℃/20℃,昼温/夜温)。于高温处理后的第 7、14、21、28 天测定各生理指标,测定时间为 7:30—11:00,取完全张开和相同部位的叶片,每处理测定 3 盆,每盆测定 3 个复叶。

1.3 项目测定

采用成像荧光仪进行光化学效率分析,测量之前采样叶片先暗适应 30 min^[19]。测定程序为:先照射检测光($PFD < 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),测定暗适应后的叶绿素初始荧光(F_0),再照射饱和脉冲光($12\ 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),测定化学效率 F_v/F_m 。相对电导率测定采用电导仪法^[20],丙二醛含量采用硫代巴比妥酸反应法^[21],相对含水量测定参照 BARRS 等^[22]的方法,蛋白质提取参照 SHIMONI 等^[23]的方法,细胞膜蛋白质提取参照 HE 等^[24]的方法,蛋白质含量测定参照 BRADFORD^[25]的方法。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 和 SPSS 18.0 软件进行分析,耐热

性综合评价参照张鹤山等^[26]的方法。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下紫花苜蓿苗期的光化学效率(F_v/F_m)

从图 1A、表 1 可以看出,随着高温胁迫时间的延长,3 个品种的 F_v/F_m 均有下降。与“赛迪 10”相比,“德钦”和“阿尔冈金”的 F_v/F_m 在处理的第 7 天就开始下降,且降幅较大,在处理的第 14 天二者的 F_v/F_m 降幅为 8%和 14%。但是在处理的末期“阿尔冈金”的 F_v/F_m 仅为 0.59,极显著低于“德钦”和“赛迪 10”,降幅达 26.25%;而“德钦”和“赛迪 10”的 F_v/F_m 分别为 0.67 和 0.70,差异显著($P < 0.05$),降幅分别为 16.25%和 11.39%。

2.2 高温胁迫下紫花苜蓿苗期的电解质渗出率(EL)

由图 1B、表 1 可知,在胁迫第 7 天,3 个品种的 EL 均上升,“德钦”、“阿尔冈金”和“赛迪 10”的增幅分别为 105.48%、110.67%和 0.66%。高温胁迫第 14 天,“阿尔冈金”的 EL 急剧增加。在高温胁迫第 28 天,“阿尔冈金”的 EL 增加了 537.28%,EL 高达 60.86%,极显著高于其余 2 个品种;“赛迪 10”的增幅最小,仅为 149.75%,其 EL 最低($P < 0.01$),仅为 29.42%;“德钦”的 EL 为 40.33%,增幅为 254.08%。

2.3 高温胁迫下紫花苜蓿苗期的丙二醛(MDA)含量

从图 1C、表 1 可以看出,在高温胁迫 0 d,“阿尔冈金”的 MDA 含量极显著高于“德钦”,但与“赛迪 10”无显著差异($P < 0.01$)。在高温胁迫第 7 天,“德钦”、“阿尔冈金”和“赛迪 10”3 个品种的 MDA 含量增加,增幅分别为 67.10%、107.56%和 13.25%。在高温胁迫第 28 天,“德钦”、“阿尔冈金”和“赛迪 10”的 MDA 含量分别为 214.18、286.58、208.48 mmol/g DW,增幅分别为 181.78%、235.46%和 149.68%。

表 1

高温胁迫下“德钦”紫花苜蓿苗期耐热性的综合评价

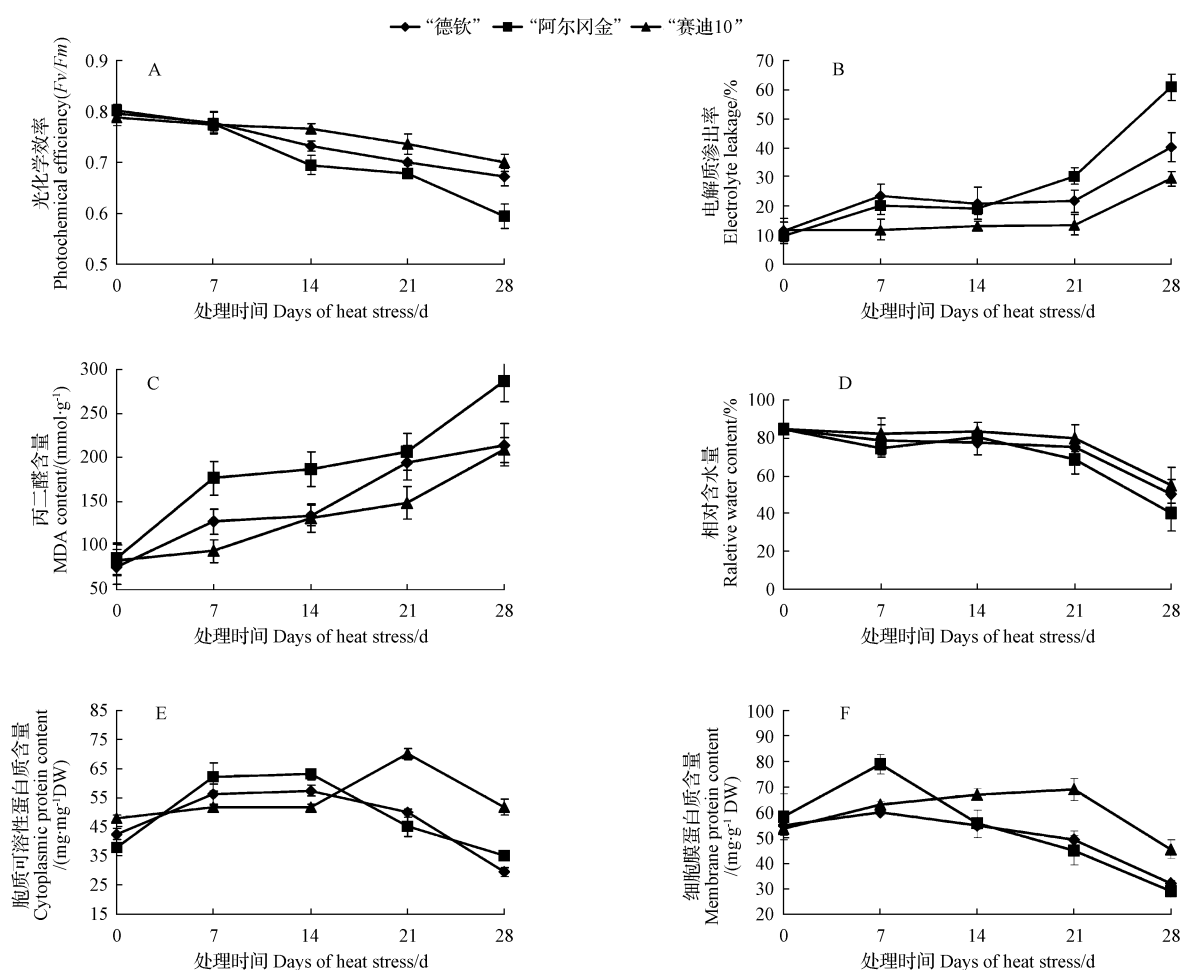
Table 1

General evaluation of heat tolerance on ‘Deqin’ during seedling period

评价指标 Evaluation indicator		“德钦”‘Deqin’	“阿尔冈金”‘Algonguin’	“赛迪 10”‘Sardi 10’
光化学效率	对照 0 d CK	0.80aA	0.80aA	0.79aA
Photochemical efficiency F_v/F_m	高温 28 d Heat stress	0.67bA	0.59cB	0.70aA
电解质渗出率	对照 0 d CK	11.39aA	9.55aA	11.78aA
Electrolyte leakage EL/%	高温 28 d Heat stress	40.33bB	60.86aA	29.42cC
丙二醛含量	对照 0 d CK	76.01bB	85.43aA	83.50aAB
MDA content/(mmol · g ⁻¹ DW)	高温 28 d Heat stress	214.18bB	286.58aA	208.48bB
相对含水量	对照 0 d CK	84.59aA	84.91aA	84.91aA
Relative water content RWC/%	高温 28 d Heat stress	50.54abA	40.41bA	55.01aA
胞质蛋白质含量	对照 0 d CK	42.53bB	37.75cC	47.77aA
Cytoplasmic protein content/(mg · g ⁻¹ DW)	高温 28 d Heat stress	29.45bB	35.20bB	51.73aA
细胞膜蛋白质含量	对照 0 d CK	54.72aA	58.22aA	53.43aA
Membrane protein content/(mg · g ⁻¹ DW)	高温 28 d Heat stress	32.20bB	29.03cB	45.57aA
综合评价得分 Score of general evaluation		0.47	0.06	1.00

注:同行中不同小写字母表示差异显著水平为 $P < 0.05$,不同大写字母表示差异显著水平为 $P < 0.01$ 。

Note: In the same line, these data with the different lowercase letters show significant difference ($P < 0.05$), the different capital letters show significant difference ($P < 0.01$).



注:垂直线代表 SE 值。

Note: Vertical bars on each point means SE values.

图1 高温胁迫下3个紫花苜蓿品种 F_v/F_m (A)、电解质渗出率(B)、丙二醛含量(C)、相对含水量(D)、胞质可溶性蛋白质(E)和细胞膜蛋白质(F)的变化

Fig.1 Variation in photochemical efficiency(measured as F_v/F_m ,A),electrolyte leakage(B),MDA content(C),relative water content(D), cytoplasmic protein(E) and membrane protein(F) of three cultivars during heat stress

2.4 高温胁迫下紫花苜蓿苗期的相对含水量(RWC)

图1D、表1表明,在高温胁迫第7天,3个品种的RWC均下降,但“阿尔冈金”降幅最大,达12.25%，“德钦”和“赛迪10”仅分别下降7.15%和3.08%。高温胁迫第28天,“阿尔冈金”的RWC降幅最大,达52.41%,其RWC仅为40.41%,显著低于“赛迪10”($P<0.05$);此时“赛迪10”的RWC降幅最小,为35.21%。“德钦”的RWC降幅居中,为40.25%。

2.5 高温胁迫下紫花苜蓿苗期胞质蛋白质的定量分析

从图1E和表1可以看出,高温胁迫0d,“阿尔冈金”胞质蛋白质含量最低,而“赛迪10”最高,“德钦”居中,分别为37.75、47.77、42.53 mg/g DW 。在高温处理的第7天3个品种的胞质蛋白质含量均有升高,其中“阿尔冈金”升高的最快,与对照相比增加65%，“德钦”和“赛迪10”分别增加32%和8%。高温胁迫第21天,“赛迪10”的胞质蛋白质含量增加了46%;此时“德钦”

和“阿尔冈金”则表现出下降。在高温胁迫第28天,“德钦”和“阿尔冈金”分别降低30.75%和6.75%,但“赛迪10”则升高8.29%。

2.6 高温胁迫下紫花苜蓿苗期细胞膜蛋白质的定量分析

由图1F和表1可知,在高温处理的0d,3个品种的细胞膜蛋白质含量无显著差异。在高温胁迫的第7天,3个品种的细胞膜蛋白质含量均增加,“德钦”、“阿尔冈金”和“赛迪10”分别增加了9.65%、35.68%和17.91%。高温胁迫第7天,“德钦”和“阿尔冈金”的细胞膜蛋白质含量均降低,但是“赛迪10”的细胞膜蛋白质含量略有升高。高温胁迫末期,3个品种的细胞膜蛋白质含量均降低,“德钦”、“阿尔冈金”和“赛迪10”的降幅分别为41.15%、50.14%和14.71%。

2.7 3个品种耐热性综合评价

为消除由于各品种内在因素引起的差异,用高温处理第28天,3个品种的光化学效率、相对电导率、丙二

醛、相对含水量、细胞质蛋白质含量和细胞膜蛋白质含量与对照(高温处理 0 d)对应指标的比值及相对值作为综合评价各品种耐热性强弱的指标。供试的 3 个紫花苜蓿品种苗期的耐热性顺序为:“赛迪 10”(1.00) > “德钦”(0.47) > “阿尔冈金”(0.06)。

3 讨论

3.1 紫花苜蓿耐热的表现

植物的光系统II(PSII)是高度热敏感的部位,高温胁迫会导致 PSII 功能降低甚至完全丧失^[3-4]。叶绿素荧光参数(用光化学效率表示,Photochemical efficiency, F_v/F_m)是评判叶绿体 PSII 最大光能转化效率的指标,是标明环境胁迫程度的指标和探针。该试验中,高温胁迫下“阿尔冈金”的光化学效率比其它 2 个品种下降更快,“赛迪 10”下降最慢,“德钦”的降幅居中,高温胁迫对“阿尔冈金”的伤害最大。

相对含水量(RWC)是细胞持水能力高低的一个重要指标、是反映植物水分状况的重要参数,耐热性高的品种细胞持水能力更强^[27]。胡永红等^[28]研究表明,高温胁迫下,越耐热的植物品种其细胞中的 RWC 越高。高温胁迫下早熟禾^[29]与匍匐剪股颖^[30]耐热性的增强,均与其叶片内维持较高的含水量有关。在高温胁迫第 28 天,“阿尔冈金”的 RWC 仅为 40.41%,在 3 个品种中最低($P < 0.05$),叶片相对较强的持水能力可能是紫花苜蓿抗高温的原因之一。

在高温条件下,保持细胞膜的相对完整性是植物抗高温的重要原因,MDA 含量和 EL 是衡量细胞膜过氧化程度和细胞膜透性的重要指标。MARTINEAN 等^[31]认为,叶片 EL 的大小是衡量植物在遭受温度胁迫时受害程度的生理指标之一。高温胁迫下,“阿尔冈金”的相对电导率比其它 2 个品种上升更快耐热性较差,“赛迪 10”上升最慢、耐热性最强,“德钦”介于二者之间。MDA 是膜脂氧化的主要产物,其大小可以衡量植物的耐热性。高温胁迫下耐热型小麦膜质过氧化的程度低于热敏型小麦^[32]。高温胁迫对不抗高温的菠菜品种膜稳定性的破坏程度大于抗高温品种^[33]。该试验中,高温胁迫下紫花苜蓿叶片组织中积累 MDA,与袁媛等^[34]和刘奕清等^[35]的研究结果相似。EL 值的显著上升证实了高温胁迫对热敏型“阿尔冈金”叶片细胞膜结构的损害程度大于其余 2 个品种。随着高温胁迫时间延长,耐热型“赛迪 10”的 EL 受高温的影响小于其它 2 个品种,叶片中 MDA 含量也是最低的,“德钦”的 MDA 含量介于二者之间。在抵御温度逆境胁迫过程中起重要作用的是热稳定蛋白质含量和可溶性蛋白质总量,耐热植物在高温下能保持较高的蛋白质合成速率和较低的蛋白质降解速率^[36]。高温胁迫下可溶性蛋白质含量与小麦的耐热性密切相关,耐热品种在高温下蛋白质的降解较慢^[37]。热激后最耐热品种的可溶性蛋白质的含量是最

高的^[24]。此外,与胞质蛋白质相比,高温胁迫对细胞膜蛋白质影响更大。该试验结果表明,高温胁迫第 28 天,与对照相比热敏感品种“阿尔冈金”的膜蛋白质含量下降最快,降幅达 50.14%,耐热品种“赛迪 10”降幅仅为 14.71%,“德钦”介于二者之间。因此高温胁迫下,保持相对较高的细胞膜完整性、对膜蛋白质的保护机制可能是“德钦”紫花苜蓿抗高温的原因之一。

3.2 “德钦”耐热性综合评价

高温处理下 3 个品种间耐热性差异很大,“赛迪 10”得分较高,大于 0.8,属于耐热性强的品种^[26];“德钦”得分 0.47,介于 0.8~0.4,耐热性中等;“阿尔冈金”得分较低,小于 0.4,为耐热性弱的品种。

3.3 “德钦”为特异耐热性品种

紫花苜蓿的秋眠性是进行种植规划的重要指标^[38],已有研究表明,秋眠级越高的紫花苜蓿品种越耐热^[39]。但“德钦”为低秋眠级(1.2)云南野生栽培品种,其耐热性强于低秋眠级“阿尔冈金”,为中等耐热品种。“德钦”的耐热性,可能与其野外生境有关,“德钦”主要分布于澜沧江、金沙江流域海拔 2 000~3 000 m 的干热河谷和森林边缘^[17],但其特异耐热性的分子机理尚不清楚,仍需进一步研究。

参考文献

- [1] BERRY J, BJÖRKMAN O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants[J]. Annual Review Plant Physiology, 1980, 31: 491-543.
- [2] MURAKAMI Y, TSUYAMA M, KOBAYASHI Y, et al. Triennial fatty acids and plant tolerance of high temperature[J]. Science, 2000, 287(5452): 476-479.
- [3] WISE R R, OLSON A J, SCHRADER S M. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature[J]. Plant, Cell and Environment, 2004, 27(6): 717-724.
- [4] 李宁毅, 韩晓芳, 宋妍. 高温胁迫下不同浓度烯效唑对百花草幼苗光合作和叶绿素荧光参数的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(1): 5-10.
- [5] PENFIELD S. Temperature perception and signal transduction in plants[J]. New Phytologist, 2008, 179(3): 615-628.
- [6] DIMASCIO J, DANNEBERGER K. Heat shock protein synthesis in turfgrass[J]. USGA Green Section Record, 1990, 7: 13-15.
- [7] AL-KHATIB K, PAULSEN G M. Mode of high temperature injury to wheat during grain development[J]. Physiologia Plantarum, 1984, 61(3): 363-368.
- [8] UEDA T, SEO S, OHASHI Y, et al. Circadian and senescence-enhanced expression of a tobacco cysteine protease gene[J]. Plant Molecular Biology, 2000, 44(5): 649-657.
- [9] AHN Y J, CLAUSSEN K, ZIMMERMAN J L. Genotypic differences in the heat-shock response and thermotolerance in four potato cultivars[J]. Plant Science, 2004, 166(4): 901-911.
- [10] MAHMOOD T, SAFDER W, ABBASI B H, et al. An overview on the small heat shock proteins[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(7): 927-949.
- [11] LOPONEN J, MIKOLA M, KATINA M, et al. Degradation of HMW glutenins during wheat sourdough fermentations[J]. Cereal Chemistry, 2004,

- 81(1):87-93.
- [12] GULEN H,ERIS A. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants[J]. Plant Science,2004,166(3):739-774.
- [13] KOCHHAR S,KOCHHAR V K. Expression of antioxidant enzymes and heat shock proteins in relation to combined stress of cadmium and heat in *Vigna mungo* seedlings[J]. Plant Science,2005,168(4):921-929.
- [14] ROUSCH J M,BINGHAM S E,SOMMERFELD M R. Protein expression during heat stress in thermo-intolerant and thermo-tolerant diatoms[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,2004,306(5):231-243.
- [15] 周人纲,樊志和,李晓芝,等. 高温锻炼对小麦细胞膜热稳定性的影响[J]. 华北农学报,1993,8(3):33-37.
- [16] 吴国胜,曹婉虹,王永健,等. 细胞膜热稳定性及保护酶和大白菜耐热性的关系[J]. 园艺学报,1995,22(4):353-358.
- [17] 毕玉芬,车伟光,顾垒. 德钦地区野生紫花苜蓿群落多样性特征及其来源分析[J]. 草地学报,2007,15(4):306-311.
- [18] 赵雁,毕玉芬,车伟光,等. 高温胁迫下紫花苜蓿品种胞质蛋白质变化的比较[J]. 中国草地学报,2013,35(4):13-18.
- [19] WARNER M E,FITT W K,SCHMIDT G W. The effects of elevated temperature on the photosynthetic efficiency of zooxanthellae in hospite from four different species of reef coral;a novel approach[J]. Plant,Cell and Environment,1996,19(3):291-299.
- [20] DACOSTA M,WANG Z L,HUANG B R. Physiological adaptation of kentucky bluegrass to localized soil drying[J]. Crop Science,2004,44(4):1307-1314.
- [21] HEATH R L,PACKER L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics,1968,125:189-198.
- [22] BARRS H D,WEATHERLEY P E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves[J]. Australian Journal of Biological Sciences,1962,15(3):413-428.
- [23] SHIMONI Y,BLECHEL A E,ANDERSON O D. A recombinant protein of two high molecular weight glutenins alters gluten polymer formation in transgenic wheat[J]. The Journal of Biological Chemistry,1997,272:15488-15495.
- [24] HE Y L,HUANG B R. Protein changes during heat stress in three Kentucky bluegrass cultivars differing in heat tolerance[J]. Crop Science,2007,47(6):2513-2520.
- [25] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities protein using the principle of protein-dye binding[J]. Analyt Biochemistry,1976,72:248-254.
- [26] 张鹤山,刘洋,蔡化,等. 温度胁迫下黑麦种子萌发特征及耐热性研究[J]. 湖北农业科学,2009,48(1):135-138.
- [27] LEVITT J. Responses of plants to environmental stresses[C]//Mudd J B,Kozlowski T T. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses. New York:Academic Press,1980.
- [28] 胡永红,蒋昌华,秦俊,等. 高温对月季部分形态、生理指标的影响研究[J]. 种子,2007,26(10):71-73.
- [29] JIANG Y W,HUANG B R. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation[J]. Crop Science,2001,41:436.
- [30] LEHMAN V G,ENGELKE M C. Heritability of creeping bentgrass shoot water content under soil dehydration and elevated temperature[J]. Crop Science,1993,33:1061-1066.
- [31] MARTINEAN J R,SPECHT J E. Temperature tolerance in soybean[J]. Crop Science,1979,19:75-81.
- [32] SAIRAM R K,TYAGI A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants[J]. Current Science,2004,86(3):407-421.
- [33] 李敏,王维华,王然,等. 高温胁迫对菠菜叶片保护酶活性和膜透性的影响[J]. 园艺学报,2004(1):99-100.
- [34] 袁媛,唐东芹,史益敏. 小苍兰幼苗对高温胁迫的生理响应[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2011,29(5):30-36.
- [35] 刘奕清,陈泽雄,杨婉晴. 高温和干旱胁迫对巨尾桉幼苗生理特征的影响[J]. 园艺学报,2008,35(5):761-764.
- [36] 叶陈亮,柯玉陈,陈伟. 大白菜耐热性的生理研究-叶片水分和蛋白质代谢与耐热性[J]. 福建农业大学学报,1996(25):490-493.
- [37] 周人纲,樊志和,李晓芝. 热锻炼对小麦叶片细胞膜及有关酶活性的影响[J]. 作物学报,1995,21(5):568-572.
- [38] 卢欣石,申玉龙. 苜蓿秋眠性的研究与利用[J]. 国外畜牧业-草原与牧草,1991(4):1-4.
- [39] 卢欣石,王铁梅. 中国苜蓿 92 个地方品种资源秋眠性评定[C]//第二届中国苜蓿发展大会. 北京:中国草业学会,2003.

Thermotolerance Comprehensive Evaluation of *Medicago sativa* L. 'Deqin' on Seedling Stage

ZHAO Yan¹, CHE Weiguang¹, BI Yufen²

(1. College of Landscape and Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201; 2. College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract: To investigate the thermotolerance of 'Deqin' (low fall dormancy rate, 1.2) on seedling stage, this experiment was carried out with three alfalfa cultivars, 'Algonquin' (low fall dormancy rate, 2), 'Sardi 10' (high fall dormancy rate, 9) and 'Deqin', by comparing the changes of F_v/F_m , EL, MDA, RWC, cytoplasmic protein and membrane protein among their leaves under heat stress (35°C/30°C, day/night). The experiment results showed that the thermotolerance rank of these three cultivars was 'Sardi 10' (1.00) > 'Deqin' (0.47) > 'Algonquin' (0.06). 'Sardi 10' was thermotolerant, 'Algonquin' was thermosensitive and 'Deqin' was mediate. The specific heat tolerance reason of 'Deqin' might be related to its maintaining the membrane integrity, holding water in leaves and protecting membrane protein.

Keywords: *Medicago sativa* L. 'Deqin'; fall dormancy rate; seedling stage; thermotolerance; comprehensive evaluation