

李金博,曾昭文. 兴安落叶松生理指标和光合特性对不同光环境的响应[J]. 江苏农业科学,2021,49(8):149-153.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.08.026

兴安落叶松生理指标和光合特性对不同光环境的响应

李金博, 曾昭文

(黑龙江省科学院自然与生态研究所,黑龙江哈尔滨 150040)

摘要:以北方大兴安岭地区主要植被兴安落叶松为试验材料,用黑色遮阴网的方法研究不同光环境下兴安落叶松叶片生理指标及光合特性的变化,并利用叶绿素荧光技术研究不同遮阴条件对兴安落叶松叶片 PS II 功能的影响。结果表明,随着遮阴程度的增加,兴安落叶松根系活力呈下降趋势,叶面积增长缓慢,且叶片数量下降幅度明显。兴安落叶松叶片地上生物量、地下生物量和胸径均随遮阴程度的增加呈下降趋势。在光照度为 70% 时,地上生物量比 10% 光环境下提高 193.6%。随着遮阴程度的增加,兴安落叶松叶片的净光合速率(P_n)呈显著降低趋势,叶片的气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)变化趋势与之相似。兴安落叶松叶片的光化学淬灭系数(q_p)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)和电子传递速率(ETR)随着遮阴程度的增加均呈降低趋势,在光照度为 70% 时,叶片的非光化学淬灭(NPQ)较 10% 光环境时降低了 26.65%,遮阴显著降低了兴安落叶松的光合能力。

关键词:兴安落叶松;不同光环境;叶绿素荧光;光系统 II

中图分类号: S791.222.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)08-0149-04

植物在不同光环境下的反应是复杂的,在不同遮阴程度下,植物个体可能以不同的策略来维持自身生长。强光或者弱光会降低植物的光化学效率,严重的胁迫可能会不可逆转地损害光合器官。近年来,国内外学者对不同植物光合生理方面的研究不断深入^[1-3],肯定不同光照度是影响植物生长及存活的重要限制因子^[4-6],通过测定光合和叶绿素荧光参数是能够描述植物在不同光照度胁迫下生理状态的重要指标。植物生长发育主要依靠其光合生理过程,而光照度更是直接影响植物的光合生理过程,但过程和机制十分复杂^[7-8],因此研究不同光照度对植物光合生理过程的影响是研究植物生理变化机制的基础。

大兴安岭是我国面积最大的森林分布区,其中针叶林是大兴安岭地区生态系统的重要组成部分,兴安落叶松林是我国大兴安岭森林生态系统研究的重点区域^[9-10]。兴安落叶松(*Larix gmelinii*)属于

松科落叶松属的一个品种,是大兴安岭林区最为重要的树种之一。兴安落叶松是强喜光树种,且有很高的经济价值,对维持生态平衡、涵养水源等方面具有极大的促进作用^[9]。国内的大量学者已开展对兴安落叶松群落温室气体排放和土壤微生物方面的研究^[10],那么在针对个体兴安落叶松生长过程中各外部环境因子对其生长有怎样的影响,尤其针对不同光环境下对其个体生长过程的影响研究较少。本试验通过分析不同遮阴程度下兴安落叶松的生理特性及光合能力,研究在不同光环境影响下兴安落叶松的生长情况,为兴安落叶松的栽培和生长管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 with 处理

试验于 2019 年 8 月在黑龙江呼中国家级自然保护区(122°42'14"~123°18'05" E,51°17'42"~51°56'31" N)进行,试验材料为兴安落叶松。利用遮阴网进行遮阴,用光强测定仪测定,设置光照度分别为 100%(CK)、70%、40%、10%,并且利用 Li-6400 光合测定系统(Licor 公司,美国)探头进行光照度的测定。

1.2 测定项目和方法

生长参数测定:选择各处理中生长相对一致(三年生)的兴安落叶松测量单株叶片数,测量兴安

收稿日期:2020-08-20

基金项目:黑龙江省科学院青年创新基金面上项目(编号: CXMS2019ZR01)。

作者简介:李金博(1990-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,研究实习员,主要从事森林土壤生态学研究。E-mail: 505662355@qq.com。

通信作者:曾昭文,研究员,主要从事生态学研究。E-mail: zengzw64@163.com。

落叶松幼苗主干上倒数第 2~3 张完全展开叶的叶片长度和叶片宽度,并计算其叶片面积,公式为叶长×叶宽×0.634 5,其中 0.634 5 为叶面积指数;每个处理各收获长势均匀的 5 株待测植株,根系洗净,分别将根和地上部 105 ℃ 杀青 30 min、60 ℃ 烘干 30 h 至恒质量后称其干质量,即得到地下生物量和地上生物量,并计算总生物量(地下生物量+地上生物量),胸径测量采用软尺测量^[11]。

对兴安落叶松叶片叶绿素含量和叶绿素荧光参数的测定:叶绿素含量利用 CCM-200 型叶绿素仪(OPTI-SCIENCES,美国)测定,以叶绿素仪的读数 SPAD 值作为相对叶绿素含量。

光合气体交换参数的测定:选兴安落叶松新生枝条上倒数第 2 张完全展开叶,利用 Li-6800 光合测定系统(Licor 公司,美国)将光照度(PFD)设定为 8 000 lx,分别测定对照和不同光照度处理下兴安落叶松叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)等参数。光合气体交换参数测定时气路用空气缓冲瓶连接大气,大气 CO₂ 浓度约为 390~410 μL/L,每个处理测定 10 次重复。

叶绿素荧光参数的测定:将兴安落叶松新梢倒数第 3 张或第 4 张叶片利用暗适应夹进行 0.5 h 暗适应后采用便携式脉冲调制荧光仪 FMS-2(Hansatch 公司,英国)参照张治安等的方法^[12]测定初始荧光(F_0)、光系统 II(PS II)最大光化学效率(F_v/F_m)、电子传递速率(ETR)、光化学淬灭系数(q_p)、非光化学淬灭(NPQ)等,各处理均测定 3 次重复。

快相叶绿素荧光动力学曲线的测定:选择顶端第 2 张完全展开叶片,进行 30 min 暗适应后利用 Mini 调制式掌上叶绿素荧光仪(FluorPen FP 100 max,捷克)测定各暗适应后叶片的 OJIP 曲线。OJIP 曲线由 3 000 μmol/(m²·s)的脉冲红光诱导,相对荧光强度的记录从 10 μs 开始至 1 s 结束。其中 OJIP 曲线上 O、J、I、P 点分别为 0、2、30、1 000 ms 对应的时刻,L 和 K 点分别表示 0.15、0.30 ms 对应的时刻。

1.3 数据处理方法

运用 Excel 2003 和 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异。

2 结果与分析

2.1 不同光照度对兴安落叶松叶面积、根系活力和叶片数的影响

由表 1 可知,随着遮阴程度的增加,兴安落叶松叶面积均呈下降趋势。在遮阴处理时,兴安落叶松叶面积均显著低于对照,说明不同光照度对兴安落叶松叶面积的影响较大。在光照度为 40% 时,兴安落叶松根系活力与光照度为 10% 时差异不显著。在光照度为 70%、40% 和 10% 时,与对照相比兴安落叶松叶片数表现为显著下降,分别下降了 15.7%、37.2% 和 72.7%。

表 1 不同光照度对兴安落叶松叶片叶面积、根系活力和叶片数的影响

光照度	叶面积(cm ²)	根系活力 [mg/(g·h)]	叶片数 (张)
100% (CK)	4.54 ± 0.08a	0.28 ± 0.02a	121 ± 3.22a
70%	3.99 ± 0.18b	0.23 ± 0.04b	102 ± 2.33b
40%	2.54 ± 0.27c	0.09 ± 0.02c	76 ± 3.2c
10%	1.28 ± 0.13d	0.07 ± 0.03c	33 ± 2.25d

注:表中数据为均值±标准差,同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.2 不同光照度对兴安落叶松叶片地上生物量、地下生物量和胸径的影响

从表 2 可以看出,兴安落叶松叶片地上生物量随胁迫遮阴程度增加呈下降趋势。在光照度为 70% 时,兴安落叶松叶片地上生物量含量与对照处理差异显著。地下生物量表现出与地上生物量相同的趋势。兴安落叶松的胸径随着遮阴程度的增加呈现下降的趋势,与光照度为 70% 时相比,光照度为 10% 时降低了 66.5%。

表 2 不同光照度对兴安落叶松叶片地上生物量、地下生物量和胸径的影响

光照度	地上生物量 (g)	地下生物量 (g)	胸径 (cm)
100% (CK)	3.90 ± 0.22a	51.28 ± 1.24a	6.50 ± 0.81a
70%	3.23 ± 0.31b	38.87 ± 0.99b	5.76 ± 0.55b
40%	2.20 ± 0.25c	28.87 ± 3.50c	3.33 ± 0.32c
10%	1.10 ± 0.10d	26.56 ± 1.02c	1.93 ± 0.58d

2.3 不同光照度对兴安落叶松叶片叶绿素荧光动力学曲线的影响

由图 1 可以看出,不同光照度下兴安落叶松叶片叶绿素动力学曲线差异显著。在光照度为 40%

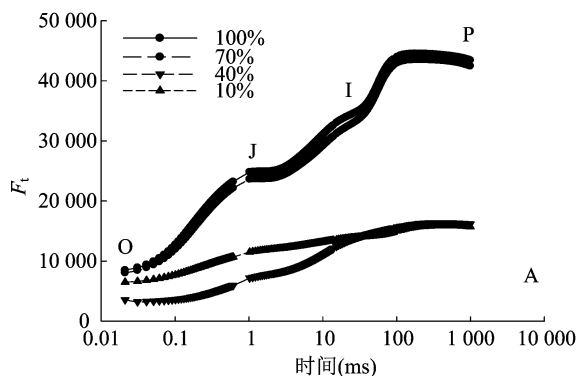


图1 不同光照度下兴安落叶松叶片荧光动力学曲线

时,与对照相比差异明显,当光照度处理为 70% 和 100% 时兴安落叶松叶片叶绿素动力学曲线相似。

2.4 不同光照度对兴安落叶松叶片光合气体交换参数的影响

由图 2 可见,随着光照度的减弱,兴安落叶松叶片的净光合速率(P_n)均呈明显下降趋势,在光照度为 70% 和 40% 时,兴安落叶松叶片 P_n 分别显著低于对照 15.46% 和 56.29%。兴安落叶松叶片的气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)变化趋势与 P_n 相似,在光照度为 10% 时,兴安落叶松叶片的 G_s 和 T_r 均急剧降低。

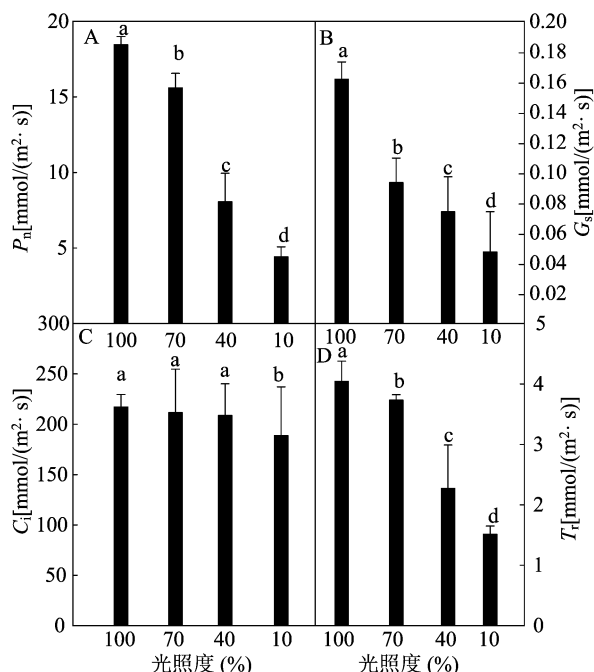
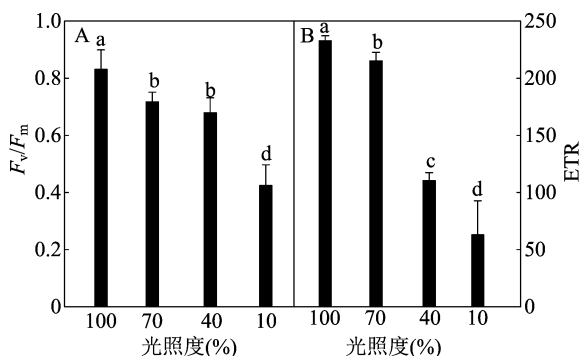


图2 不同光照度对兴安落叶松叶片光合气体交换参数的影响

2.5 不同光照度对兴安落叶松叶片 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)和电子传递速率(ETR)的影响

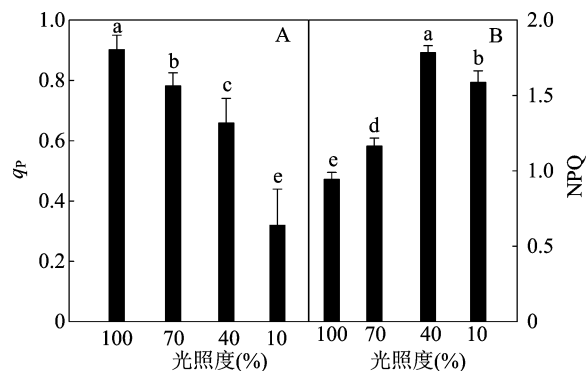
由图 3 可以看出,兴安落叶松叶片的 F_v/F_m 和

ETR 随着光照度的减弱均呈降低趋势,且 ETR 的降低幅度大于 F_v/F_m 。在光照度为 40% 时,兴安落叶松叶片 F_v/F_m 与光照度为 70% 时差异不显著,但随着遮阴程度的增加,光照度为 10% 时兴安落叶松叶片的 F_v/F_m 和 ETR 均呈显著降低趋势,与对照相比分别低于 48.94% 和 72.98%。

图3 不同光照度对兴安落叶松叶片 F_v/F_m (A)和 ETR(B)的影响

2.6 不同光照度对兴安落叶松叶片光化学淬灭系数(q_p)、非光化学淬灭(NPQ)的影响

由图 4 - A 可以看出,随着光照度的减弱,兴安落叶松叶片的 q_p 呈显著降低趋势,在光照度为 70% 时,兴安落叶松叶片的 q_p 较对照显著降低 13.32%。由图 4 - B 可以看出,兴安落叶松叶片的 NPQ 随着光照度的减弱整体呈增加趋势,在光照度为 40% 时,兴安落叶松叶片的 NPQ 较对照显著升高 47.06%。

图4 不同光照度处理对兴安落叶松叶片 q_p (A)、NPQ(B)的影响

3 讨论与结论

植物幼苗由于受到不同光强的影响,叶片的生长会受到较大的影响,从而进一步影响植物的生长,植物的叶面积和根系活力可以反映植物应对外界环境的表现^[13-14]。本试验中,在光照度为 70% 和 40% 时,兴安落叶松的叶面积显著低于对照,说明遮阴对兴安落叶松叶面积的影响较大。叶片数

作为重要的生长指标,在植物生产生长中有着至关重要的作用。在光照度为 70% 时,兴安落叶松能维持较高的叶面积、根系活力和叶片数,而光照度为 40% 和 10% 时,叶面积、根系活力、叶片数、地上生物量、地下生物量和胸径下降幅度均较大,遮阴对兴安落叶松的生长产生极大的影响。

光合作用是植物有机物质积累、生长发育的基础,受植物本身生理特性和环境因素的共同影响,植物光合能力的高低是反映植物生长能力的重要指标^[12]。本试验中,随着遮阴程度的增加,兴安落叶松叶片的 G_s 和 T_r 均呈显著降低趋势,即在遮阴作用下植物叶片同化能力的降低除了有气孔限制因素外,非气孔因素也会限制叶片的光合作用^[15]。本研究结果表明,随着遮阴程度的增加,兴安落叶松叶片 P_n 均呈显著降低趋势,并且伴随着 G_s 和 T_r 的降低,遮阴处理导致兴安落叶松叶片光合碳同化能力降低的原因直接与气孔导度降低有关,这与前人的研究结果^[16-18]一致。但随着遮阴程度的增加, P_n 的降低幅度明显大于 G_s 和 T_r ,特别是在光照度为 40% 和 10% 时,兴安落叶松叶片的 P_n 仍随着遮阴程度的增加呈线性降低趋势,并且 G_s 和 T_r 变化趋势较为一致。这说明在光照度为 40% 和 10% 时,兴安落叶松叶片的 P_n 主要受气孔因素的限制。

遮阴处理下光合作用受到抑制^[19-21],由于涉及 PS II 反应中心的生化过程受到干扰,导致电子的产生和利用之间的不平衡,从而导致电子传输率的降低。利用叶绿素荧光技术分析不同程度遮阴处理下兴安落叶松叶片光合指标对不同遮阴程度的响应。结果表明,不同遮阴下兴安落叶松叶片叶绿素动力学曲线差异显著。在光照度为 40% 和 10% 时,与对照处理(100%)差异显著。随着遮阴程度加大,兴安落叶松叶片的 F_v/F_m 、ETR 和 q_p 均显著降低,说明在遮阴处理下,叶片光合碳同化能力降低是导致兴安落叶松 PS II 功能降低的原因,其主要过程包括 PS II 反应中心光化学活性的降低和电子传递的受阻等。

综上所述,遮阴不仅会导致兴安落叶松根系活力下降,叶面积增长缓慢和叶片数量降低,而且还会导致兴安落叶松地上生物量和地下生物量降低,并会明显抑制兴安落叶松叶片的净光合速率和 PS II 光化学活性,从而导致兴安落叶松叶片光能吸收和利用能力的改变。

参考文献:

- [1] Gosling S N, Arnell N W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity[J]. Climatic Change, 2016, 134 (3): 371 - 385.
- [2] Ravi I, Uma S, Vaganan M M, et al. Phenotyping bananas for drought resistance[J]. Frontiers in Physiology, 2013, 4(9): 1 - 9.
- [3] Nichols S N, Hofmann R W, Williams W M. Physiological drought resistance and accumulation of leaf phenolics in white clover interspecific hybrids[J]. Environmental and Experimental Botany, 2015, 119: 40 - 47.
- [4] Liu Y, Li S Q, Chen F, et al. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(5): 769 - 775.
- [5] Cheng D D, Zhang Z S, Sun X B, et al. Photoinhibition and photoinhibition-like damage to the photosynthetic apparatus in tobacco leaves induced by *Pseudomonas syringae* pv. Tabaci under light and dark conditions[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16(1): 29.
- [6] Hu Y B, Sun G Y, Wang X C. Induction characteristics and response of photosynthetic quantum conversion to changes in irradiance in mulberry plants[J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(8): 959 - 968.
- [7] Mitsuya S, Takeoka Y, Miyake H. Effects of Sodium chloride on foliar ultrastructure of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) plantlets grown under light and dark conditions *in vitro*[J]. Journal of Plant Physiology, 2000, 157(6): 661 - 667.
- [8] Skotnica J, Matoušková M, Naus J, et al. Thermoluminescence and fluorescence study of changes in Photosystem II photochemistry in desiccating barley leaves[J]. Photosynthesis Research, 2000, 65 (1): 29 - 40.
- [9] Efeoglu B, Ekmekci Y, Cicek N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery[J]. South African Journal of Botany, 2009, 75(1): 34 - 42.
- [10] 王 飞. 兴安落叶松天然林碳密度与碳平衡研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013: 103 - 104.
- [11] 白英辰, 陈 晶, 康峰峰, 等. 模拟氮沉降下不同凋落物处理对太岳山华北落叶松林土壤呼吸的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(4): 92 - 99.
- [12] 张治安, 张美善, 蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 138 - 145.
- [13] 骆建霞, 史燕山, 吕 松, 等. 3 种木本地被植物耐盐性的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(12): 121 - 124, 129.
- [14] Dias M C, Brüggemann W. Water-use efficiency in *Flaveria* species under drought-stress conditions[J]. Photosynthetica, 2010, 48(3): 469 - 473.
- [15] Sofo A, Dichio B, Montanaro G, et al. Photosynthetic performance and light response of two olive cultivars under different water and light regimes[J]. Photosynthetica, 2009, 47(4): 602 - 608.
- [16] 李海波, 陈温福, 李全英. 盐胁迫下水稻叶片光合参数对光强的

高 昆,石义妃. 干旱胁迫对粉葛幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(8):153-157.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.08.027

干旱胁迫对粉葛幼苗生长及生理特性的影响

高 昆^{1,2}, 石义妃¹

(1. 山西大同大学生命科学学院, 山西大同 037009; 2. 山西大同大学设施农业技术研发中心, 山西大同 037009)

摘要:以粉葛为材料,分别用5%、10%、15%、20%、30%等5个不同浓度的PEG-6000来模拟干旱胁迫,研究其耐旱性,为粉葛在干旱区的种植提供依据。结果表明,随着PEG-6000浓度的增加,粉葛幼苗形态有明显变化,叶面积总体呈下降趋势,浓度越高,叶片下垂、皱缩越严重,有的甚至脱落,植株死亡,说明高浓度会显著抑制粉葛生长。粉葛幼苗叶片中的叶绿素、MDA、可溶性糖、可溶性蛋白含量及相对电导率均随PEG-6000浓度的升高呈现持续上升的趋势。

关键词:粉葛;PEG-6000;叶绿素;MDA;可溶性糖;可溶性蛋白;相对电导率;干旱胁迫

中图分类号:S567.23+9.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)08-0153-05

大量研究表明,在当今气候变化中,由缺水造成的干旱胁迫所导致的农作物减产十分严重^[1]。而我国大约1/3的陆地面积是干旱和半干旱的^[2],且在世界范围内,干旱区域的范围有逐年扩大的趋势^[3]。开发抗旱品种、提高旱地的利用率是目前解决我国土地资源紧缺的重要途径,作为旱粮作物资源的葛属植物具有较大的开发潜力。

葛[*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi]属于豆科(Leguminosae)葛属(*Pueraria*)多年生藤本植物,叶互生,菱状卵圆形,块根,紫色荚果,全株披黄褐色粗毛^[4]。葛生长于荒坡、沙地、陡壁,分布广泛,适应力强,耐热、耐旱、耐贫瘠^[5]。葛根系发达,且密生根瘤菌,能保持水土,改良土壤。葛被国家卫生部认定为药食同源性植物,素有“亚洲人参”之称^[5],葛的根、茎、叶、花等部位含有丰富的营养成分,如蛋白质、脂肪、粗纤维、各种矿质元素和维生素

素,粗加工食品如葛根口香糖、炸葛根片和深加工食品如菜肴佐料、葛根淀粉等^[6],是深受人们喜爱的天然绿色食品。葛的块根肥厚,入药后为葛根,葛根来源主要有野葛和粉葛^[7]。葛根有很重要的药用价值,其中的异黄酮类物质对预防和治疗偏头痛、高血压、冠心病、糖尿病、癌症等有特殊功效^[8-9],在抗衰老、抗氧化、增强免疫力等方面效果十分明显^[8]。葛根素是葛根的特有成分,对心脑血管疾病有很好的防治作用^[10],同时葛根素及其衍生物在抗炎、抗痛风方面也有很好的效果^[11]。葛还是良好的饲用植物,对多数牲畜都具有适口性^[4]。

我国拥有丰富的葛属植物种质资源,其中粉葛[*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi var. *thomsonii* (Benth.) Vaniot der Maesen]的开发应用较广,是我国葛粉和中药材的主要来源^[6]。近年来,国内外对葛属植物的营养成分和食品开发研究较多,而且其药用价值也受到广泛关注,特别是2020年在新冠肺炎早期治疗中,葛根汤颗粒发挥了非常重要的作用。目前,对粉葛的研究多集中在其有效成分如总黄酮、多糖的分析上,如黄再强等的研究^[12]以及王

收稿日期:2020-07-26

基金项目:山西省大同市科技项目(编号:2018174)。

作者简介:高 昆(1970—),女,山西大同人,硕士,副教授,研究方向为药用植物生理生态学。E-mail:gaokunnew@aliyun.com。

响应[J]. 应用生态学报,2006,17(9):1588-1592.

[17] Fernandez M D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*[J]. *Photosynthetica*,2006,44(1):32-38.

[18] Chaves M M, Flexas J, Pinheiro C. Photosynthesis under drought and salt stress; regulation mechanisms from whole plant to cell[J]. *Annals of Botany*,2009,103(4):551-560.

[19] Yan K, Chen P, Shao H, et al. Responses of photosynthesis and

photosystem II to higher temperature and salt stress in sorghum[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*,2012,198(3):218-226.

[20] Liu N Y, Ko S S, Yeh K C, et al. Isolation and characterization of tomato Hsa32 encoding a novel heat-shock protein[J]. *Plant Science*,2006,170(5):976-985.

[21] Zlatev Z. Drought-induced changes in Chlorophyll fluorescence of young wheat plants [J]. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*,2009,23(S1):437-441.