

丰林保护区地表森林死可燃物载量与环境因子的关系<sup>1)</sup>

吴志伟 贺红士 刘晓梅 邓华卫 贺伟 李晓娜 李淑华 宋国华 王全波

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳, 110016)

(黑龙江丰林国家级自然保护区)

**摘要** 依据1、10、100 h时滞可燃物分类标准,对丰林自然保护区不同红松林群落类型内的地表死可燃物载量进行了对比分析,并利用DCCA排序法对其与环境因子的关系进行了定量分析。结果表明:椴树红松林内地表死可燃物载量最高,枫桦红松林内地表死可燃物载量最低;DCCA排序揭示了该地区地表死可燃物载量分布与海拔、坡度、坡向、坡位、郁闭度、胸径、树高和枝下高8个地形和林分因子的关系,其中海拔、坡度、树高和枝下高是影响可燃物载量的主要因子。

**关键词** 森林可燃物载量;环境因子;DCCA;丰林自然保护区

**分类号** S762.1

**Relationship Between Loading of Dead Forest Fuels in Surface Soil and Environmental Factors in Fenglin Nature Reserve** / Wu Zhiwei, He Hongshi, Liu Xiaomei, Deng Huawei, He Wei, Li Xiaona (Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, P. R. China); Li Shuhua, Song Guohua, Wang Quanbo (Fenglin National Nature Reserve in Heilongjiang) // Journal of Northeast Forestry University. - 2011, 39(3). - 52 ~ 55

A survey was conducted to study the loading of dead forest fuels in surface soil in different *Pinus koraiensis* forests, and its relationship with environmental factors was analyzed by DCCA based on the classification standard of 1, 10 and 100 h time-lag. Results show that the dead fuel loading in surface soil in *Tilia amurensis*-*P. koraiensis* forest is the highest, and that in *Betula costata*-*P. koraiensis* forest is the lowest. The DCCA ordination reveals the correlations between dead forest fuel loading in surface soil and elevation, slope gradient, aspect, slope position, canopy closure, diameter at breast height, tree height and branch height. The main factors affecting the spatial pattern of dead fuel loading in surface soil are elevation, slope gradient, tree height and branch height.

**Keywords** Forest fuel loadings; Environmental factors; Detrended canonical correspondence analysis; Fenglin nature reserve

林火作为一个自然生态因子,对维持森林生态系统多样性和森林健康起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。影响林火发生的重要因素包括气象、地形和森林可燃物,其中森林可燃物是人类唯一能够掌控的林火因子,是林火燃烧的物质基础,构成林火行为的主体。它在林火发生预报、林火行为预报、灭火指挥、营林用火和生物防火方面都有重大的现实意义<sup>[2]</sup>。因此,森林可燃物,特别是森林可燃物载量成为林火生态研究的焦点之一。森林可燃物载量是植被与环境因子相互作用,共同发展的结果<sup>[3]</sup>。影响森林地表死可燃物载量的因子很多,比如森林群落的多样性和复杂性、地理环境的差异性、干扰(人为或自然)的严重性等,这些因子作用程度不一,且其间的相互作用关系也很复杂。国内现有的研究主要是利用多元回归的方法,建立可燃物载量与林分因子(郁闭度、树高、胸径和林龄等)和环境因子(海拔、坡度、坡位和坡向等)的回归方程,来预测可燃物载量<sup>[4-6]</sup>,而专门定量地解释影响因子对可燃物载量影响程度的研究不多见。数量生态学的排序能揭示植被—环境之间的生态关系,并给出相应的解释<sup>[7]</sup>,较好地表达植物群落的环境梯度和结构梯度,反映环境与结构的空变特点<sup>[8]</sup>。DCCA排序同时结合了物种因子和环境因子信息计算样方排序轴,排序结果能够直观地把环境因子、物

种、样方同时表达在排序轴的坐标平面上,已经成为20世纪90年代以来植被梯度分析和环境解释的趋势性方法。小兴安岭丰林国家级自然保护区内自然资源丰富、植被群落类型复杂多样,是我国目前保存下来最为典型和完整的原生阔叶红松混交林分布区之一,也是中国和亚洲东北部很具代表性的温带原始红松针阔叶混交林区。但是,长期以来由于受外界干扰(人为的或自然的)较少,单纯依赖自然演替、更新,保护区龄组老化日趋严峻,林内地表死可燃物载量高,极易引发森林火灾。故此,本研究在丰林国家级自然保护区阔叶红松林内设置样方,对阔叶红松林主要群落类型内可燃物载量进行比较,并探讨不同时滞森林地表死可燃物载量与影响因子的关系,为制定科学合理的森林可燃物管理措施提供理论参考。

## 1 研究区概况

丰林国家级自然保护区(128°58′~129°15′E, 48°02′~48°12′N)位于小兴安岭南坡中段北缘,黑龙江省伊春市五营区五营林业局境内,总面积18 165.4 hm<sup>2</sup>,森林覆被率为95%。丰林保护区地形平缓,属低山丘陵地形,海拔285~688 m。全区以中部低山所占面积最多,其中海拔300~450 m地段的面积占全区的65%以上。境内主要河流有汤旺河、丰林河、平原河等大小河流9条,以及季节性流水的小溪,纵贯全区,构成一个完整的水系。受东亚海洋气流及西伯利亚寒流的双重影响,具有大陆性及季风气候相结合的特点。年平均温度在-0.5℃,极端最高气温为34.9℃,极端最低气温为-44.5℃。年平均降水量640.5 mm。保护区内土壤主要是发育在阔叶红松林下的地带性暗棕色森林土,成土母质以花岗岩和片麻岩的风化物为主。保护区内植被类型多样,属长

1) 中国科学院知识创新工程重大项目资助(KZCX2-YW-444);“973”课题(2009CB421101)。

第一作者简介:吴志伟,男,1982年1月生,中国科学院沈阳应用生态研究所,中国科学院研究生院,博士研究生。

通信作者:贺红士,中国科学院沈阳应用生态研究所,研究员。E-mail: heh@missouri.edu。

收稿日期:2010年10月9日。

责任编辑:程红。

白山植物区系小兴安岭亚区,地带性植被为温带针阔叶混交林,是我国目前原始天然红松林生态系统保存最完整,面积最大的天然林集中分布区。针叶树种有红松(*Pinus koraiensis*)、臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、云杉(*Picea* spp.)、兴安落叶松(*Larix gmelinii*)等;阔叶树有椴树(*Tilia* spp.)、枫桦(*Betula costata*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、榆树(*Ulmus* spp.)、色木槭(*Acer mono*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)等。

2 研究方法

野外调查:2010年7月份在丰林自然保护区选择不同立地条件下的柞树红松林、椴树红松林、枫桦红松林和云冷杉红松林调查森林地表死可燃物。设置20m×20m样地26块。记录样地的地理位置、海拔、坡位、坡度和坡向等立地条件,同时记录林分郁闭度、林木胸径、树高和枝下高等林分条件。可燃物载量的测定是在一条对角线上于7、14、21m处各设1块1m×1m的小样方,收集不同时间滞的地表死可燃物,野外称量其湿质量。可燃物分类标准<sup>[9]</sup>:1h时滞可燃物为D(直径)≤0.64cm的小枝、树叶以及杂草;10h时滞可燃物为0.64cm<D≤2.54cm枝条;100h时滞可燃物为2.54cm<D≤7.62cm的粗枝。

内业处理:将野外取回的样品放入烘箱内,在105℃下连续烘干24h至绝干质量,用电子称称量,计算样方内不同时间滞可燃物的含水率。可燃物含水率=(可燃物湿质量-可燃物干质量)/可燃物干质量×100%。根据样方内不同时间滞可燃物的含水率,推算出样方内各类型可燃物干质量。

分析方法:采用DCCA方法分析地表死可燃物载量与环境因子的关系。DCCA排序需要植被和环境因子2个数据矩阵<sup>[8]</sup>。植被数据矩阵为P×N维的森林可燃物载量矩阵,其中P为4种红松林群落类型,即:柞树红松林、椴树红松林、枫桦红松林和云冷杉红松林,N为样地数,共26块。影响因子共8个,其中地形因子4个(海拔、坡度、坡位和坡向),林分因子4个(郁闭度、胸径、树高和枝下高)。DCCA排序采用CANOCO 4.5软件分析并进行检验,排序的具体过程参见文献[10]。根据DCCA排序的需要和野外调查数据情况,环境因子海拔、坡度、胸径、树高、郁闭度和枝下高以具体实测数据为准。坡向和坡位则进行数字转换。坡向数字转换规则为:1表示北坡;2表示东北坡;3表示西北坡;4表示东坡;5表示西坡;6表示东南坡;7表示西南坡;8表示南坡,数字越大表示越向阳。坡位数字转换规则为:1表示下坡;2表示中坡;3表示上坡,数字越大表示坡位越高。利用SPSS 13.0对不同群落类型内不同时间滞可燃物载量进行差异性检验;利用“Monte Carlo permutation test”来检验DCCA排序轴特征值的显著性,置换次数为499。

3 结果与分析

3.1 丰林保护区不同红松群落类型可燃物载量

从表1可以看出,红松林1h时滞可燃物载量为2842.77~3781.77 kg·hm<sup>-2</sup>,云冷杉红松林最低,椴树红松林最高,各群落类型间差异显著(p=0.02);10h时滞可燃物载量为455.37~813.24 kg·hm<sup>-2</sup>,各群落类型间差异性不显著(p=0.57);100h时滞可燃物载量为176.35~720.42 kg·hm<sup>-2</sup>,各群落类型间差异性不显著(p=0.60)。对比不同红松林群落类

型内总可燃物载量,各类型间差异性亦不显著(p=0.29),该研究结果表明在景观尺度上,丰林自然保护区不同红松林群落类型对地表死可燃物载量的影响不显著。

表1 不同红松群落地表死可燃物载量 kg·hm<sup>-2</sup>

林型	1h	10h	100h	总计
柞树红松林	3091.57±118.30	771.47±252.19	380.83±193.62	4243.87±522.47
椴树红松林	3781.77±208.87	813.24±135.80	716.30±283.17	5311.31±178.62
枫桦红松林	3293.15±263.94	455.37±214.15	176.35±115.68	3924.87±418.25
云冷杉红松林	2842.77±216.79	733.05±137.11	720.42±352.15	4296.25±606.15

3.2 可燃物载量与环境因子的关系

3.2.1 1h时滞可燃物载量与环境因子的关系

利用DCCA对1h时滞可燃物载量与环境因子的关系进行分析,得到4个排序轴的结果(表2)。由表2可以看出,所有的排序轴是显著的(p=0.010),第1排序轴解释了1h时滞可燃物载量与环境因子之间关系的42.2%,载量与环境因子的相关系数为0.795,第2排序轴解释了1h时滞可燃物载量与环境因子之间关系的37.2%,载量与环境因子的相关系数为0.753,第1和第2排序轴共同解释了79.4%的1h时滞可燃物载量与环境之间的关系。可见,DCCA排序结果良好,所以采用第1、2轴数据做DCCA二维排序图(图1)。图中箭头表示的是影响因子,箭头所处的象限表明环境因子与排序轴的正负相关性,箭头的长度表示环境因子与排序轴相关性的大小。

表2 1h时滞地表死可燃物载量的DCCA排序结果

项目	排序轴1	排序轴2	排序轴3	排序轴4
特征根	0.633	0.353	0.172	0.232
载量—环境关系	0.795	0.753	0.578	0
载量—环境变化关系的累积比例	42.200	79.400	0	0

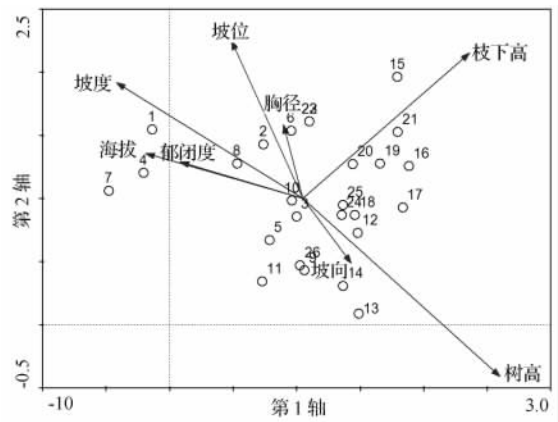


图1 1h时滞地表死可燃物载量的DCCA排序图

从图1可以看出,第1排序轴与树高、枝下高呈较显著地正相关,与坡度和海拔呈较显著地负相关,沿第1排序轴,1h时滞可燃物载量呈现向高的枝下高、树高和低海拔、坡度方向大的综合梯度上分布,基本反映了树高等林分条件和海拔等地形条件因子的变异。第2排序轴与坡位、胸径呈较显著地正相关,与坡向呈较显著地负相关,沿第2排序轴1h可燃物载量呈现向高坡位、胸径大的综合梯度上分布。

根据DCCA排序结果,1h可燃物载量与海拔、坡度呈较显著地负相关,与坡位、坡向的相关性不明显,表明丰林自然保护区1h可燃物载量高海拔地区比低海拔地区低,陡坡的载量低于平缓坡地区,这是因为高海拔、陡坡地区林内温度更

低,土壤相对干燥,林内的杂草和细小灌木更少<sup>[3]</sup>。1 h 可燃物载量与树高、枝下高呈较显著地正相关,与郁闭度、胸径的相关性较弱,表明随着树高、枝下高的增高,林内可燃物载量越大。

### 3.2.2 10 h 时滞可燃物载量与环境因子的关系

利用 DCCA 对 10 h 时滞可燃物载量与环境因子的关系作了分析,得到 4 个排序轴的结果(表 3)。由表 3 可以看出,所有的排序轴是显著的( $p = 0.008$ ),第 1 排序轴解释了 10 h 时滞可燃物载量与环境因子之间关系的 42.8%,载量与环境因子的相关系数为 0.802,第 2 排序轴解释了 10 h 时滞可燃物载量与环境因子之间关系的 41.7%,载量与环境因子的相关系数为 0.792,第 1 和第 2 排序轴共同解释了 84.5% 的 10 h 时滞可燃物载量与环境之间的关系。DCCA 排序结果良好,所以采用第 1、2 轴数据做 DCCA 二维排序图(图 2)。

表 3 10 h 时滞地表死可燃物载量的 DCCA 排序结果

项目	排序轴 1	排序轴 2	排序轴 3	排序轴 4
特征根	0.643	0.457	0.109	0.369
载量—环境关系	0.802	0.792	0.500	0
载量—环境变化关系的累积比例	42.800	84.500	0	0

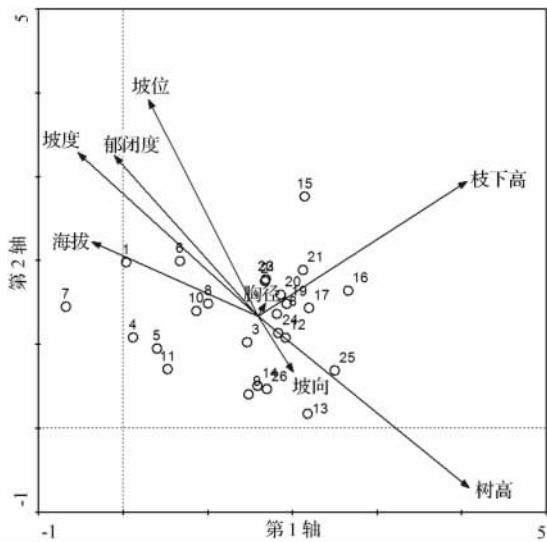


图 2 10 h 时滞地表死可燃物载量的 DCCA 排序图

从图 2 可以看出,与 1 h 时滞可燃物载量类似,第 1 排序轴与树高、枝下高呈较显著正相关,与坡度、海拔呈较显著负相关,沿第 1 排序轴 10 h 时滞可燃物载量呈现向高的枝下高、树高和低海拔、坡度方向大的综合梯度上分布。第 2 排序轴与坡位、郁闭度呈较显著正相关,沿第 2 排序轴 10 h 时滞可燃物载量呈现向高坡位、高郁闭度大的综合梯度上分布。相比 1 h 时滞可燃物载量,10 h 时滞可燃物载量与坡位、郁闭度表现为较显著正相关,这是因为 10 h 时滞可燃物主要来源为树枝,相对来说上坡位受风等干扰更为严重,更多的树枝能从树冠层凋落下来;郁闭度越大的林分,树枝丫多,凋落的树枝也更多。

### 3.2.3 100 h 时滞可燃物载量与环境因子的关系

利用 DCCA 对 100 h 时滞可燃物载量与环境因子的关系作了分析,得到 4 个排序轴的结果(表 4)。由表 4 可以看出,所有的排序轴是显著的( $p = 0.008$ ),第 1 排序轴解释了 100 h 时滞可燃物载量与环境因子之间关系的 53.4%,载量与环境

因子的相关系数为 0.955,第 2 排序轴解释了 100 h 时滞可燃物载量与环境因子之间关系的 46.6%,载量与环境因子的相关系数为 0.898,第 1 和第 2 排序轴共同解释了 100% 的 100 h 时滞可燃物载量与环境之间的关系。DCCA 排序结果亦良好,所以采用第 1、2 轴数据做 DCCA 二维排序图(图 3)。

表 4 100 h 时滞地表死可燃物载量的 DCCA 排序结果

项目	排序轴 1	排序轴 2	排序轴 3	排序轴 4
特征根	0.912	0.605	0.126	0.096
载量—环境关系	0.955	0.898	0	0
载量—环境变化关系的累积比例	53.400	100.000	0	0

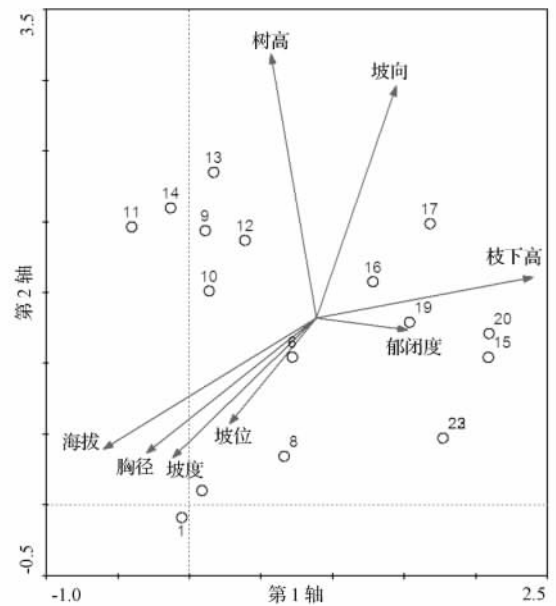


图 3 100 h 时滞地表死可燃物载量的 DCCA 排序图

从图 3 可以看出,第 1 排序轴与郁闭度、枝下高呈较显著正相关,与坡度、海拔呈较显著负相关,沿第 1 排序轴 100 h 可燃物载量呈现向高的枝下高、郁闭度和低海拔、坡度方向大的综合梯度上分布。第 2 排序轴与树高、坡向呈较显著正相关,沿第 2 排序轴 100 h 可燃物载量呈现向阳坡、高树高的综合梯度上分布。根据 DCCA 排序结果,相比其他时滞可燃物载量,100 h 时滞地表死可燃物载量与坡向表现出明显地正相关,即阳坡的 100 h 时滞载量高,阴坡的低。这是因为阳坡光照条件充足,林内湿度小,乔木冠幅大,树木的自然稀疏现象明显,所以林内的粗大木条更多。

## 4 结论与讨论

不同红松林群落类型内,1 h 可燃物载量差异显著,10、100 h 和总地表死可燃物载量差异均不显著,其中,椴树红松林内的 1 h 时滞死可燃物载量最高。1 h 时滞可燃物载量一定程度上可以代表燃烧的难易程度,地表总可燃物载量可以代表燃烧释放的能量大小<sup>[11]</sup>。本研究表明椴树红松林有最高 1 h 时滞和总可燃物载量,这是因为椴树红松林主要分布于山体阳坡或半阳坡,林内草本、灌木发达,林内环境干燥,起火的可能性较高。因此,根据该研究结果应该加强对椴树红松林内可燃物的监测,采取有效的可燃物处理措施(如计划火烧、机械去除等)来降低林火发生的概率,确保保护区森林

景观可持续发展<sup>[12]</sup>。

应用 DCCA 排序方法分析了丰林自然保护区地表死可燃物载量与环境因子的关系,结果表明:影响该地区地表死可燃物载量的因子较多,其中海拔、坡度等地形因子和树高、枝下高等林分因子是地表死可燃物载量的首要控制因子,二者的共同作用决定了该地区的可燃物载量分布格局。海拔和坡度作为影响地表死可燃物载量分布的主要地形因子,它们共同影响了林分内的水分、温度、光照等物质能量的再分配,主要反映了中尺度环境因子对死可燃物载量分布格局的影响。一般而言,高海拔地区,立地条件相对差,林内温度低,土壤相对干燥,林内生物多样性要比低海拔地区低,地表死可燃物则少;陡坡地区一般物种多样性亦低,林内草本和灌木不发达,而且受坡度影响大部分地表死可燃物在水流、风等的作用下容易往缓坡转移并汇集,从而死可燃物载量低。林分因子主要反映了微气候环境对地表死可燃物载量的影响。研究表明,树高和枝下高是控制地表死可燃物载量的首要林分因子,一般认为随着树高和枝下高的增加,树干枝丫多,冠幅大,林下的灌木和草本更为发达,因而地表的死可燃物载量高<sup>[3,13]</sup>。

笔者尝试把 DCCA 排序技术应用到可燃物载量与环境因子的多元定量分析方面,研究结果具有明确的生态意义,可以用于指导丰林保护区的可燃物管理。但是,地表死可燃物载量是诸多环境因子共同作用的结果,笔者只考虑了地形、林分中的 8 个因子对可燃物载量的影响,显然影响地表死可燃物载量的因素还有很多,如土壤因子、气象因子等;同时,可燃物载量具有很强的空间变异性,但本研究样地数量有限,采样点分布较为集中,所以获取更多均匀分布的样点是今后研究中

需要进一步考虑的问题。

## 参 考 文 献

- [1] Taylor A H, Skinner C N. Fire history and landscape dynamics in a late-successional reserve, Klamath Mountains, California, USA [J]. *Forest Ecology and Management*, 1998, 111(2): 285 - 301.
- [2] 胡海清,张喆,吴学伟. 基于遥感的塔河林业局森林可燃物类型划分[J]. *东北林业大学学报*, 2007, 35(7): 20 - 21, 26.
- [3] 陈宏伟,常禹,胡远满,等. 大兴安岭呼中林区森林死可燃物载量及其影响因子[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 50 - 55.
- [4] 胡海清,魏云敏. 利用 TM 遥感影像和林分因子估测森林可燃物载量[J]. *东北林业大学学报*, 2007, 35(6): 18 - 20.
- [5] 金森. 遥感估测森林可燃物载量的研究进展[J]. *林业科学*, 2006, 42(12): 63 - 67.
- [6] 贺红士,常禹,胡远满,等. 森林可燃物及其管理的研究进展与展望[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(6): 741 - 752.
- [7] 冯云,马克明,张育新,等. 辽东栎林不同层植物海拔梯度分布的 DCCA 分析[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(3): 568 - 573.
- [8] 邱扬,张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用[J]. *生态学报*, 2000, 20(2): 199 - 206.
- [9] Reich R M, Lundquist J E, Bravo V A. Spatial models for estimating fuel loads in the Black Hills, South Dakota, USA [J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2004, 13: 119 - 129.
- [10] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [11] 单延龙,关山,廖光焯. 长白山林区主要可燃物类型地表可燃物载量分析[J]. *东北林业大学学报*, 2006, 34(6): 35 - 36.
- [12] Finney M A. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior [J]. *Forest Science*, 2001, 47(2): 219 - 228.
- [13] 周志权. 辽东 3 种主要林地地被可燃物载量的研究[J]. *东北林业大学学报*, 2000, 28(1): 32 - 34.
- [9] 王健,包满珠. 三色堇主要观赏数量性状的遗传效应研究[J]. *园艺学报*, 2007, 34(2): 449 - 454.
- [10] 杜晓华,刘会超,刘孟刚,等. 33 个三色堇品种遗传差异的初步分析[J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(4): 78 - 82.
- [11] 郝建军,康宗利,于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [12] 尹利德. 三个李品种幼树光合特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- [13] 陈根云,俞冠路,陈悦,等. 光合作用对光和二氧化碳响应的观测方法探讨[J]. *植物生理与分子生物学报*, 2006, 32(6): 691 - 696.
- [14] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species [J]. *Planta*, 1980, 149: 78 - 90.
- [15] 刘宇峰,萧浪涛,童建华,等. 非直角双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用[J]. *农业基础科学*, 2005, 21(8): 76 - 79.
- [16] 付为国,李萍萍,卞新民,等. 镇江北固山湿地芦苇光合日变化的研究[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(3): 496 - 501.
- [17] 钱莲文,张新时,杨智杰,等. 几种光合作用光响应典型模型比较研究[J]. *武汉植物学研究*, 2009, 27(2): 197 - 203.
- [18] Walker D A. Automated measurement of leaf photosynthetic O<sub>2</sub> evolution as a function of photon flux density [J]. *Phil Trans R Soc Lond B*, 1989, 323: 313 - 326.
- [19] 睦晓雷,毛胜利,王立浩,等. 辣椒幼苗叶片解剖特征及光合特性对弱光的响应[J]. *园艺学报*, 2009, 36(2): 195 - 208.
- [20] 叶子飘,于强. 一个光合作用光响应新模型与传统模型比较[J]. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(6): 771 - 775.
- [21] Boardman N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants [J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1977, 28: 355 - 377.

(上接 40 页)一定条件下,植物对 CO<sub>2</sub> 的利用能力与 Rubisco 的活性有关,羧化效率(C<sub>E</sub>)是 Rubisco 活性的重要参数<sup>[1]</sup>。研究显示,4 个三色堇品种的羧化效率(C<sub>E</sub>)存在明显差异,说明 4 个品种在净光合速率上的差异与固定 CO<sub>2</sub> 的 Rubisco 酶活性相关。08 - H<sub>2</sub> 的 CO<sub>2</sub> 补偿点(C<sub>CP</sub>)最低、羧化效率(C<sub>E</sub>)最高,显示 08 - H<sub>2</sub> 的 Rubisco 在 CO<sub>2</sub> 摩尔分数低的水平下具有较高的羧化活性,CO<sub>2</sub> 摩尔分数一般不会成为其栽培的限制因子。而对于 C<sub>CP</sub> 较高的 ZMY<sub>2</sub> - 1,则可通过提高或改善 CO<sub>2</sub> 摩尔分数的措施增强植物的光合作用。

## 参 考 文 献

- [1] Taiz L, Zeiger E. 植物生理学[M]. 4 版. 宋纯鹏,王学路,译. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 王慧俐. 进口与国产三色堇品种适应性的比较[J]. *安徽农业科学*, 2005, 33(11): 2037, 2069.
- [3] 詹瑞琪. 三色堇新品系列种植指南[J]. *中国花卉园艺*, 2008(18): 40 - 41.
- [4] 刘会超,杜晓华,姚连芳. 荷兰 5 个三色堇品种在华北地区的引种试验[J]. *中国园林*, 2010(4): 42 - 44.
- [5] 王晓磊,胡宝忠. 三色堇(*Viola tricolor* L.)生物学特性及栽培管理[J]. *东北农业大学学报*, 2008, 39(6): 132 - 135.
- [6] 张扬城,杨文英. 三色堇的生物学特性特征及栽培技术要点[J]. *福建农业科技*, 2006(5): 49.
- [7] 张帆. 三色堇夏季育苗技术[J]. *中国花卉园艺*, 2008(6): 30 - 32.
- [8] Yoshioka Y, Iwata H, Hase N, et al. Genetic combining ability of petal shape in garden pansy (*Viola × wittrockiana* Gams) based on image analysis [J]. *Euphytica*, 2006, 151(3): 311 - 319.