

果林下6种牧草的光响应特性与地上生物量关系的研究

姚春艳,卢欣石,徐大伟,吴健
(北京林业大学草地资源与生态实验室,北京 100083)

摘要:在果林下间作菊苣、紫花苜蓿(新疆大叶)、紫花苜蓿(驯鹿)、红三叶、鸭茅、无芒雀麦,对6种牧草的产量和光响应特性进行测定分析,研究不同牧草在果林的生长状况。结果表明:6种牧草产量的高低依次为菊苣>驯鹿苜蓿>新疆大叶>鸭茅>红三叶>无芒雀麦。利用叶子飘新模型,对6种牧草的光响应曲线拟合表明菊苣、紫花苜蓿(新疆大叶)、紫花苜蓿(驯鹿)的光合能力较强,最大净光合速率均大于 $15 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。6种牧草的光补偿点的大小为鸭茅<菊苣<新疆大叶<驯鹿苜蓿<无芒雀麦<红三叶,光饱和点为驯鹿苜蓿>新疆大叶>无芒雀麦>鸭茅>红三叶>菊苣;6种牧草在光量子小于 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时Pn均值与第1茬鲜草产量存在显著相关关系。

关键词:紫花苜蓿;间作;叶子飘新模型

中图分类号:S-3

文献标志码:A

论文编号:2010-2931

Study on the Relations of Six Forage's Photo-response Characteristics and Aboveground Biomass under Orchard

Yao Chunyan, Lu Xinshi, Xu Dawei, Wu Jian

(Grassland Resources and Ecology Laboratory, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: *Cichorium intybus* L., *Medicago sativa* L. (Xinjiang big leaf), *Medicago sativa* L. (AC Caribou), *Trifolium pratense* L., *Dactylis glomerata* L and *Bromus inermis* Leyss. were intercropped in orchard. The yield and photo-response characteristics of six forage were studied to analyze their growth under fruit forest. The result showed that the yield of six forage were in the order of *Cichorium intybus* L. > *Medicago sativa* L. (AC Caribou) > *Medicago sativa* L. (Xinjiang big leaf) > *Dactylis glomerata* L. > *Trifolium pratense* L. > *Bromus inermis* Leyss. Light response curves in six forage simulated by YE Zi-piao new model showed that the maximum net photosynthetic rate of *Cichorium intybus* L., *Medicago sativa* L. (Xinjiang big leaf) and *Medicago sativa* L. (AC Caribou) were more than $15 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ with higher photosynthetic capability. Light compensation point of six forage varied in the following order: *Dactylis glomerata* L. < *Cichorium intybus* L. < *Medicago sativa* L. (Xinjiang big leaf) < *Medicago sativa* L. (AC Caribou) < *Bromus inermis* Leyss < *Trifolium pratense* L., light saturation point of that were in the order of *Medicago sativa* L. (AC Caribou) > *Medicago sativa* L. (Xinjiang big leaf) > *Bromus inermis* Leyss > *Dactylis glomerata* L. > *Trifolium pratense* L. > *Cichorium intybus* L.; The average Pn of six forage when the light intensity was less than $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ had significant correlations with the first-cut fresh biomass.

Key words: alfalfa; intercrop; YE Zi-piao new model

基金项目:国家十一五科技支撑项目“牧草育种技术研究及产业开发”(2008BADB3B);国家十一五科技支撑项目“优质抗逆专用草新品种选育”(2006BAD01A19)。

第一作者简介:姚春艳,女,1988年出生,江西宜春人,在读硕士,主要从事林草复合方面的研究。通信地址:100083北京市海淀区清华东路35号北京林业大学116信箱, Tel: 010-62337837, E-mail: yaochunyan88@163.com。

通讯作者:卢欣石,男,1947年出生,教授,主要从事草地资源与生态方面的研究。通信地址:100083北京市海淀区清华东路35号北京林业大学116信箱, Tel: 010-62337837, E-mail: luxinshi@bjfu.edu.cn。

收稿日期:2010-10-13, **修回日期:**2010-12-03。

0 引言

林草复合系统(Silvipastoral system),是农林复合系统的一个分支,泛指由森林和草地有机结合形成的多层次人工植被,是有目的地把多年生木本植物与草本植物用于同一土地经营单位并采取时空分布或短期相间的经营方式,可使复合生态系统在不同组合之间存在着生态学和经济上统一的相互作用^[1-2]。林草复合系统因其在改善农业生态环境、提高自然资源利用率、增加农民收入、为畜牧业提供优质饲草,推动农业结构战略性调整等方面的重要作用而越来越受到人们的关注^[3-11]。

林草复合系统中木本植物组分和草本植物组分之间的相互作用有促进作用和竞争作用,复合系统的生产力是系统组分间促进和竞争共同作用的结果。因此,结合林木的生长特性,合理选择优良牧草替代杂草,使促进作用达到最大,而使竞争作用减到最小,是林草复合系统经营成功与否的关键^[12]。研究通过在北京郊苹果林种植不同牧草的品种比较试验,探讨其光合作用、生物量的变化情况,筛选出适宜在苹果林下生长的优良牧草品种,为京郊果园间作牧草品种及该林草复合模式的大面积推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于北京市昌平区水榭乡苹果园(40°44' N、116°35' E),春季干旱多风,夏季多雨,冬季寒冷干燥。年均气温11~18℃,全年≥0℃积温4500℃,≥10℃积温4200℃。无霜期80~203天。年均降水量631mm,6—8月份降水量占全年的76%,该区季风气候,冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风,春秋为南北风转换季节。

1.2 试验材料

豆科:紫花苜蓿(新疆大叶)(*Medicago sativa* L.)、紫花苜蓿(驯鹿)(*Medicago sativa* L.)红三叶(*Trifolium pratense* L.)禾本科:鸭茅(*Dactylis glomerata* L.)、无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss.)菊科:菊苣(*Cichorium intybus* L.)

草种均来源于中国农科院,苹果林的树龄为16年。

1.3 试验设计

2009年8月下旬采用树行间播种方式,撒播。每个小区面积为5m×2m,南北走向,采用随机区组排列,每个重复设6个处理,3次重复。

1.4 主要测定指标与方法

1.4.1 株高 牧草第2年返青后,在各小区内选定生长

一致、具有代表性的植株若干,采用定株测量法随机选取20株,分别于各生育时期测定植株自然高度,取平均值。

1.4.2 鲜、干草产量 于2010年6月27日在各小区选取面积(1m×1m)的刈割样方,齐地刈割,测鲜草重,然后在105℃烘箱中杀青5min后,于85℃烘干至恒重,测干物质量。

1.4.3 光响应曲线的测定 用LI-6400便携式光合系统分析仪测定6种牧草健康植株生长良好、中等成熟度的向阳叶片的光合速率,测定时间选择在上午9:00—12:00时。在自然CO₂浓度条件下(约375 μmol CO₂/(m²·s)),用仪器配备的红、蓝人工光源(LI-6400-02BLED),设定光合有效辐射强度(PAR)由高到低依次为1800、1500、1200、1000、800、600、400、200、100、80、50、20、0 μmol/(m²·s),被测叶片在每个光强下适应3~5min后测定,每种牧草重复测定5片叶片。测定时间:2010年6月25日至27日(第1次刈割前)。利用叶子飘光响应新模型^[13-14]进行光响应曲线的拟合:

$$Pn(I)=a \frac{1-\beta I}{1+\gamma I} (I-I_p) \dots\dots\dots (1)$$

式中:α、β、γ、为3个与光强无关的系数;I_p为植物的光补偿点。

1.5 数据分析

运用叶子飘光响应新模型所编制的光合计算程序软件进行光响应曲线的拟合及参数计算,其他数据均采用Excel软件处理。

2 结果与分析

2.1 间作条件下牧草株高的动态变化

株高是反映牧草产量潜力高低的一个重要指标之一,植株高矮直接影响牧草的草产量。4月初,牧草开始返青,其中紫花苜蓿比其他牧草提前1周返青(4月3日),长势较好。到4月底,新疆大叶与驯鹿紫花苜蓿的植株高度明显大于其他牧草,分别达到20.3cm和18.9cm,依次是菊苣>鸭茅>苇状羊茅>无芒雀麦>红三叶。菊苣在6月初开始抽薹,在抽薹期间出现一个较短的高生长时期,然后进入菊苣开花期,由于抽薹长度带来植株的生长,到6月底,菊苣已明显高于其他牧草植株高度,为138.3cm。而2种紫花苜蓿始终保持较高的生长速率,从返青开始,一直处于优势地位,6月初,紫花苜蓿进入开花期,生长缓慢,除菊苣外,仍高于其他几种牧草。禾本科牧草返青时间较晚,生长速率较低,6月初进入抽穗期,出现生长高峰,到6月底,鸭茅和无芒雀麦的株高已接近紫花苜蓿,为68.3cm和63.4cm。而红三叶与禾本科一样,总体生长速度较

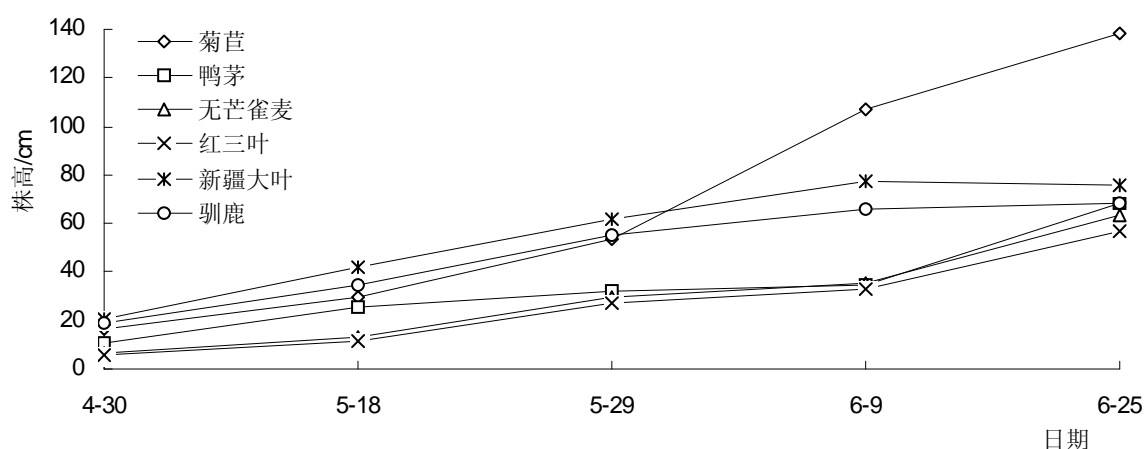


图1 间作条件下6种牧草的株高变化

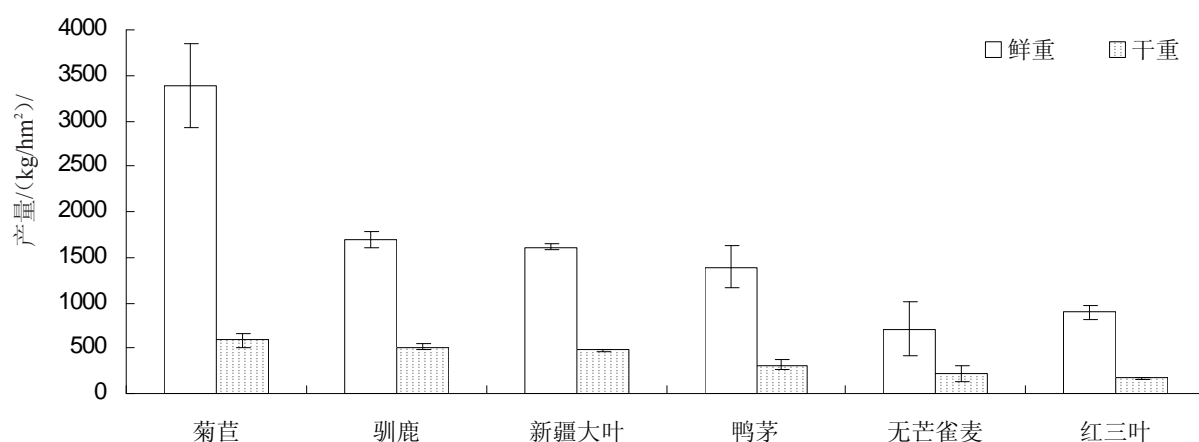


图2 6种牧草的鲜/干草产量

缓,进入开花期(6月初),生长速度增大,到6月底植株高度为57 cm,苇状羊茅株高最低,为36.4 cm。

2.2 间作条件下牧草的产量分析

结果表明(表1、图2):间作条件下6种牧草的鲜草产量以菊苣最高33856.7 kg/hm²,次高为驯鹿紫花苜蓿,为16983.3 kg/hm²,新疆大叶紫花苜蓿与驯鹿紫花苜蓿的鲜草产量差异非常小,为16430.0 kg/hm²,其中菊苣与其他牧草差异极显著,各牧草第1茬的鲜草产量与株高基本线性相关。菊苣、新疆大叶紫花苜蓿、驯鹿紫花苜蓿的干草产量差异极不显著,分别为

5856.4 kg/hm²、4814.9 kg/hm²、5215.5 kg/hm²,都极显著高于禾本科的无芒雀麦(2126.3 kg/hm²)和鸭茅(3122.9 kg/hm²);红三叶干草产量最低,为1673.2 kg/hm²。菊苣的含水量也最高,鲜/干比值达到5.8,其次为红三叶,鲜/干比值为5.4,紫花苜蓿与无芒雀麦比值最小,均为3.3。

2.3 间作条件下牧草的光响应

植物在光补偿点时不能积累干物质。因此,光补偿点的高低作为判断植物在低光照强度条件下能否生长的标志,光补偿点越小,表明植物利用弱光的能力越

表1 6种牧草第1茬的鲜/干草产量

| 草种 | kg/hm ² | | 鲜/干 |
|-------------------------------------|--------------------|-------------|-----|
| | 鲜重 | 干重 | |
| 菊苣(<i>Cichorium intybus</i> L.) | 33856.7 Aa | 5856.4 Aa | 5.8 |
| 无芒雀麦(<i>Bromus inermis</i> Leyss.) | 7060.0 Cc | 2126.3 BCbc | 3.3 |
| 鸭茅(<i>Dactylis glomerata</i> L.) | 13886.7 BCb | 3122.9 Bb | 4.4 |
| 红三叶(<i>Trifolium pratense</i> L.) | 8976.7 Cc | 1673.2 Cc | 5.4 |
| 新疆大叶苜蓿(<i>Medicago sativa</i> L.) | 16430.0 Bb | 4814.9 Aa | 3.4 |
| 驯鹿苜蓿(<i>Medicago sativa</i> L.) | 16983.3 Bb | 5215.5 Aa | 3.3 |

强,植物的耐荫程度越强。由表2可以看出,6种牧草的光补偿点的大小为鸭茅<菊苣<新疆大叶苜蓿<驯鹿苜蓿<无芒雀麦<红三叶,光饱和点为驯鹿苜蓿>新疆大叶苜蓿>无芒雀麦>鸭茅>红三叶>菊苣。红三叶的光补偿点最高,其次是无芒雀麦,2种紫花苜蓿与菊苣的光补偿点相对较低,为20~30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 之间,鸭茅最低,说明后4者对果林下弱光的适应性较好,耐荫性较强,在弱光下仍能固定一定的 CO_2 。从拟合的结果可知,2种紫花苜蓿、鸭茅、无芒雀麦均具有较高的光饱和点,其中除无芒雀麦外,其余3者还具有较低的光补偿

点,而菊苣的光饱和点最低,为1225 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。菊苣与无芒雀麦的表观量子效率高于其他4种牧草,说明这2种牧草对光的反应较为敏感,光能利用率较后4者强。植物的净光合速率在一定程度上反映了植物的遗传特性和对生境的适应能力,2种紫花苜蓿与菊苣的最大净光合速率均达到15 $\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 以上,光合能力较强,因此3者的产量较高;鸭茅与红三叶净光合速率也较高,但均低于前3者;无芒雀麦的光合能力最弱。

从光合-光响应曲线(图3)可知,6种牧草的Pn起初

表2 6种牧草的光响应曲线参数

| 草种 | α | Pmax/ ($\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) | Rd/ ($\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) | Lcp/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) | Lsp/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) | R^2 |
|-------------------------------------|----------|---|---|---|---|--------|
| 鸭茅(<i>Dactylis glomerata</i> L.) | 0.057 | 14.827 | 0.980 | 17.93 | 1555 | 0.9990 |
| 无芒雀麦(<i>Bromus inermis</i> Leyss.) | 0.085 | 12.195 | 2.626 | 36.12 | 1604 | 0.9901 |
| 红三叶(<i>Trifolium pratense</i> L.) | 0.057 | 13.746 | 2.183 | 41.59 | 1340 | 0.9994 |
| 菊苣(<i>Cichorium intybus</i> L.) | 0.068 | 15.998 | 1.367 | 21.01 | 1225 | 0.9994 |
| 新疆大叶苜蓿(<i>Medicago sativa</i> L.) | 0.058 | 16.391 | 1.147 | 20.75 | 1629 | 0.9954 |
| 驯鹿苜蓿(<i>Medicago sativa</i> L.) | 0.052 | 15.610 | 1.344 | 27.21 | 1676 | 0.9984 |

注: α :表观量子效率;Pmax:最大净光合速率;Rd:暗呼吸速率;Lcp:光补偿点;Lsp:光饱和点; R^2 :相关系数。

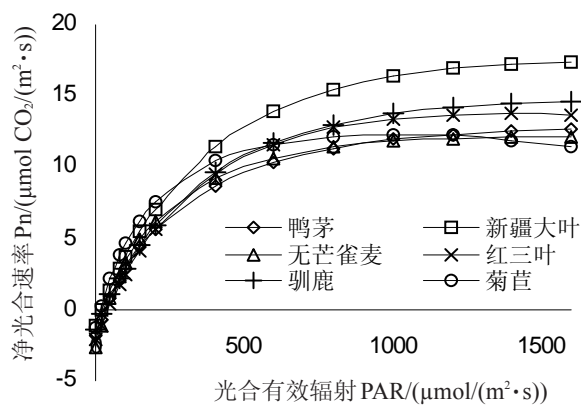


图3 6种牧草的光响应拟合曲线

随着PAR的增大逐渐增大,且幅度较大而后逐渐变缓,达到一定数值(即光饱和点)后,Pn不再随PAR的增加而增大,呈下降趋势。光量子在小于400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,菊苣的Pn值大于其它牧草,随着光量子的增加,菊苣的Pn变缓后逐渐下降;由此说明菊苣利用弱光的能力强于其他5种牧草,在林草复合模式中具有较强的优势。2种紫花苜蓿随着光量子的增加,Pn逐渐增强,在不同的光强下始终保持较高的Pn,对光的适应力较强,而鸭茅、无芒雀麦和红三叶的Pn相对较低,在不同光强下波动较小。

3 结论与讨论

(1)植物叶片的光合作用是植物物质生产的基础,光合速率的高低决定了光合能力的强弱,是植物生物产量形成的关键^[15-16]。在林草复合系统中,由于树冠的遮荫,造成林下微生境如光照强度等环境因子的改变,必然对牧草的生长产生重要影响。在果林下6种牧草产量的高低依次为菊苣>驯鹿苜蓿>新疆大叶苜蓿>鸭茅>红三叶>无芒雀麦,在光量子在小于400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,六者Pn均值为菊苣>新疆大叶苜蓿>驯鹿苜蓿>鸭茅>红三叶>无芒雀麦。就相关性分析,6种牧草在光量子小于400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,Pn均值与第1茬鲜草产量存在显著相关关系($P<0.05$),相关系数为0.917,说明低光强下牧草的Pn在一定程度上决定果林下牧草的第1茬的产草量。

(2)光饱和点和光补偿点是植物的2个重要的光合生理指标^[17]。一般光饱和点和光补偿点均较低是典型的耐荫植物,能充分地利用弱光进行光合作用;光补偿点较低而光饱和点较高的植物对环境适应性很强;光补偿点较高而光饱和点较低的植物对光照的适应范围相对较窄;光饱和点和光补偿点都较高的是典型阳性植物^[18]。紫花苜蓿具有较高的光饱和点和低的光补偿点,对环境的适应性很强,其在低郁闭度果林下可获得较高的光合速率,除菊苣外,2种紫花苜蓿的牧草产

量明显高于红三叶、鸭茅、无芒雀麦。曾艳琼^[19]对甘肃临夏县花椒林间种豆科牧草的研究也表明,紫花苜蓿在高郁闭度的花椒林下生长良好,产量较高,作为经济林下的一种经济性牧草,紫花苜蓿是经济林下的首选牧草。

(3)菊苣具有较低的光饱和点和光补偿点,可充分利用果林下较弱的光能,转化成有机物与养分,获得高的鲜、干草产量,在高郁闭度林分下能生长良好,是高郁闭度果林下的最佳选择。但其鲜/干比值较高,植株含水量较大,是一种高耗水耗肥的植物。赵风华等^[20]对北京地区不同水分条件下菊苣的光合和蒸腾特性研究表明,土壤水分不足能明显降低菊苣叶片的净光合速率和蒸腾速率,加剧或提前菊苣“光午休”现象的发生。禾本科牧草的营养价值要低于豆科牧草。在研究中,鸭茅产量较高,光补偿点低,耐荫性强,也是一种适宜在林下间种的优良禾本科牧草。红三叶与无芒雀麦在北京地区越冬率较差,返青后生长缓慢,覆盖度小,且光补偿点较高,光合能力较弱,牧草产量低,因此不适合作为饲草在果林下种植。

参考文献

- [1] 谢京湘,于汝元,胡涌.农林复合生态系统研究概述[J].北京林业大学学报,1988,10(1):104-108.
- [2] 裘福庚,方嘉兴.农林复合系统及其实践[J].林业科学研究,1996,9(6):318-322.
- [3] 庞爱权.中国农林复合系统的经济评价[J].自然资源学报,1997,12(2):176-182.
- [4] 杨修.农林复合经营在农村可持续发展中的地位和作用[J].农村生态环境,1996,12(1):37-41.
- [5] 刘玉西.川中丘陵高效林草复合系统的建立与效益研究[J].四川林业科技,1995,16(3):63-68.
- [6] 罗天琼,龙忠富,莫木田,等.梨园秋冬季种草及利用试验[J].草业科学,2001,18(5):11-15.
- [7] 毛凯,蒲朝龙,任伯文,等.桉柏混交幼林间种草木樨生态经济效益分析[J].草业科学,1995,12(1):49-50.
- [8] 孙祥.关于林草间作的研究[J].林业科技通讯,1985,(1):20-23.
- [9] 王建江,杨永辉.太行山干旱区林草复合生态系统效益分析[J].生态农业研究,1996,4(1):62-64.
- [10] 王兴祥,张斌,王明珠,等.低丘红壤复合农林系统光能竞争与生产力——以花生南酸枣间作为例[J].生态学杂志,2002,21(4):1-5.
- [11] 王振军.庄浪县林草复合经营典型模式的生态经济效益分析[D].兰州:甘肃农业大学,2006.
- [12] 李会科,赵政阳,张广军.果园生草的理论与实践——以黄土高原南部苹果园生草实践为例[J].草业科学,2005,22(8):32-37.
- [13] 叶子飘.光响应模型在超级杂交稻组合—II 优明86中的应用[J].生态学杂志,2007,26(8):1323-1326.
- [14] 叶子飘,高峻.低光强时丹参叶片的光合速率与光强的关系[J].井冈山学院学报:自然科学版,2007,28(8):47-50.
- [15] 许大全.光合速率、光合效率与作物产量[J].生物学通报,1999,8:8-10.
- [16] 许大全.光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J].植物生理学通讯,1990,6:5-10.
- [17] 巨关升,武菊英.观赏狼尾草光合特性的研究[J].核农学报,2005,19(6):451-455.
- [18] 冷平生,杨晓红,胡悦,等.5种园林树木的光合和蒸腾特性的研究[J].北京农学院学报,2000,15(4):13-18.
- [19] 曾艳琼.临夏县“花椒林+豆科牧草”复合体系结构与效益分析[D].北京林业大学,2008.
- [20] 赵风华,孟林.北京地区不同水分条件下菊苣的光合与蒸腾特性研究[J].中国草地,2004,26(4):37-45.