

不同放牧强度下羊草的光合特性日动态变化 ——以呼伦贝尔草甸草原为例

邓钰^{1,2}, 柳小妮¹, 辛晓平^{2*}, 闫瑞瑞², 王旭², 杨桂霞², 任正超¹

(1. 甘肃农业大学草业学院 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100081)

摘要:在连续放牧方式下,探索羊草的光合特性对不同放牧强度的响应,利用 Li-6400 便携式光合测定仪对呼伦贝尔羊草草原 1 个封育对照试验区和 5 个不同放牧强度试验区内羊草叶片的光合特性进行日变化测定,并与放牧强度(R)进行相关性分析。研究结果表明,8月16日和9月2日,6个试验区内羊草叶片净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)的日变化既有单峰曲线也有双峰曲线变化,而胞间 CO₂ 浓度(Ci)日变化呈 U 字型。围封内羊草的 Pn、Tr、Gs 均高于放牧区;且羊草的 Pn、Tr、Gs 均随着放牧强度的增大而下降,Ci 则升高;放牧强度越大,其降幅和增幅也越大。Pn、Tr、Gs 与 R 之间均呈显著的负相关关系($P < 0.05$),Ci 与 R 呈显著的正相关关系($P < 0.05$);而且 6 个放牧强度梯度下的 Pn、Tr、Gs 和 Ci 在 2 d 之间有极显著差异($P < 0.01$)。因此,放牧胁迫和水热条件对羊草的光合作用有抑制作用。

关键词:羊草;放牧强度;光合特性;日变化;呼伦贝尔草原

中图分类号:S812.8;S543⁺.9 文献标识码:A 文章编号:1004-5759(2012)03-0308-06

* 羊草(*Leymus chinensis*)是优良的天然草地植物,广泛分布于我国东北、内蒙古和西北地区;其中内蒙古羊草草原是中国北方重要的畜牧业基地以及绿色生态屏障。由于极端的气候变化以及放牧等不合理的人为利用,导致草原已经发生了不同程度的退化、沙化^[1],加剧了我国的草畜矛盾。随着放牧强度的增加,羊草草原的植被盖度和牧草地上生物量均有所下降^[2-4],严重影响了羊草草原的健康发展。然而李文龙等^[5]通过生态风险因子的分析,得出合理的管理措施会得到较佳效果。

光合作用是评价植物第一性生产力的标准之一^[6]。牧草冠层净光合速率的降幅与放牧强度直接相关^[7]。近几年,国内对放牧胁迫下牧草光合特性的研究主要有:1)禁牧和围封有利于牧草的生长和干物质的积累^[8,9];2)放牧制度对牧草的光合速率没有显著影响,但是峰值的出现受其影响^[10];3)放牧导致光合速率降低^[11,12]。国外研究表明,放牧强度不改变光合速率,但是能改变土壤呼吸速率^[13];也有研究表明,放牧后牧草叶片光合作用下降^[14]。目前有关羊草光合特性的研究虽然很多^[15-21],但在呼伦贝尔羊草草甸草原连续放牧方式(以牛作为放牧的唯一畜种)条件下,羊草对不同放牧强度的光合生理生态响应的研究还尚未有报道。

不同放牧强度对植物光合特性的影响研究,对理解放牧胁迫下植物光合特性变化以及天然草地合理利用具有重要的指导作用。本试验拟通过对不同放牧强度下羊草光合特性日变化的研究,分析羊草的光合特性与放牧强度关系,为羊草的光合生理伤害与恢复及放牧生态系统的 C 循环模拟与监测提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地选择在中国农业科学院呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站。试验区位于内蒙古呼伦贝尔市谢尔塔拉牧场场部东 3 km,属于大兴安岭西麓丘陵向蒙古高原的过渡区。地理位置为 49°32'~49°34' N, 119°94'~119°96' E,海拔 670~677 m。试验区属温带半干旱大陆性气候,年均温 -2~-1℃, >10℃ 年积温

* 收稿日期:2011-03-11;改回日期:2011-05-31

基金项目:国家 973 项目(2010CB833502),公益性行业(农业)科研专项(201003019,201003061,200903060),现代农业产业技术体系建设专项,国家自然科学基金(30960264)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(202-21)资助。

作者简介:邓钰(1986-),女,云南昭通人,在读硕士。E-mail:dengyu@st.gsau.edu.cn

* 通讯作者。E-mail:xinxp@sina.com

1 780~1 820℃,无霜期 95~110 d,年平均降水量 310~400 mm,主要集中在 5—8 月。地带性土壤为黑钙土或暗栗钙土。试验区植被类型为羊草+杂类草,主要物种有羊草、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)、日荫菅(*Carex pediformis*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、蓬子菜(*Galium verum*)、狭叶柴胡(*Bupleurum scorzonerifolium*)、线叶菊(*Filifolium sibiricum*)等,伴生种有斜茎黄芪(*Astragalus adsurgens*)、山野豌豆(*Vicia amoena*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)等。

1.2 试验设计与研究方法

在试验区选择 5 个放牧试验小区(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5)和 1 个对照(CK, R_0)封育试验小区,每一个试验小区面积为 hm^2 ,总面积达 30 hm^2 。试验于 2009 年 6 月 15 日开始,每年进行历时 4 个月的连续放牧试验。放牧强度(R)设计如下: 0, 0.23, 0.34, 0.46, 0.69, 0.92 牛单位/ hm^2 ,分别记作: $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$,其中,以 500 kg 肉牛为 1 个标准家畜肉牛单位(0.46 牛单位/ hm^2 为研究区合理载畜率)。

2010 年 8 月 16 日和 9 月 2 日(天气晴朗)6:00—18:00,每隔 2 h,利用 LI-6400 便携式光合测定仪对不同放牧强度水平下羊草叶片的光合生理生态指标进行测定;测定指标主要包括:净光合速率(net photosynthetic rate, Pn)、蒸腾速率(transpiration rate, Tr)、气孔导度(stomatal conductance, Gs)和胞间 CO_2 浓度(intercellular CO_2 concentration, Ci);每种指标重复测定 4 次,每次读取数据 5 次,取其平均值。

1.3 试验数据处理

利用 Excle 2007 对观测数据进行整理和统计分析,在数据预处理过程中,去掉极端值,先计算出每株叶片 5 次读数的平均值,再计算出同一个载畜率下,即同一个试验小区中,4 株不同羊草叶片光合特征参数值的平均值,取平均值作为该放牧强度下羊草叶片的 Pn、Tr、Gs 以及 Ci 值。使用 Excle2007 对数据进行统计分析与作图,绘制出羊草 Pn、Tr、Gs 以及 Ci 的日变化曲线。运用 Spss10.0 软件对连续放牧条件下羊草叶片的 Pn、Tr、Gs 以及 Ci 和 R 之间进行相关性(correlations)分析;以及对 2 d 之间的数据进行显著性差异分析(compare means)。

2 结果与分析

2.1 放牧样地环境因子的日变化

8 月 16 日和 9 月 2 日大气温度(air temperature, Ta)、光合有效辐射(photosynthetic active radiation, PAR)最大值出现在 14:00 和 12:00,分别为 31.77°C , $1\ 778.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 与 31.02°C , $1\ 686.52 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;最小值都出现在 6:00,分别为 18.43°C , $370.68 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 与 15.66°C , $226.84 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;大气相对湿度(relative humidity, RH)均在 12:00 最小,在 6:00 最大,分别为 63.02% , 40.76% 与 61.24% , 33.83% 。8 月 16 日和 9 月 2 日 Ta、PAR、RH 的日平均分别为 26.20°C , $1\ 027.67 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 49.53% ; 23.67°C , $833.53 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 44.24% ;表明 8 月 16 日的水热条件优于 9 月 2 日(图 1,图 2)。

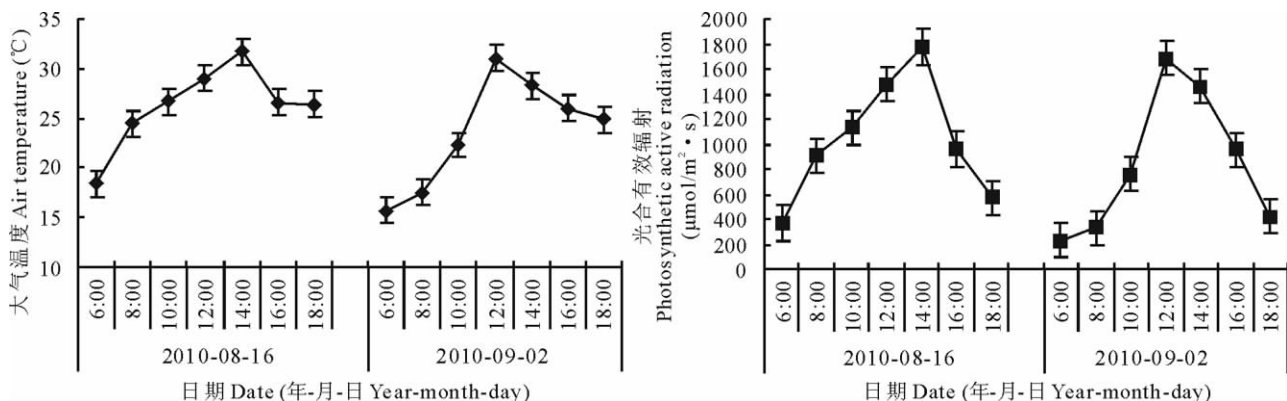


图 1 呼伦贝尔草甸草原大气温度和光合有效辐射的日变化

Fig. 1 Daily variation of air temperature and photosynthetic active radiation in Hulunber meadow steppe

2.2 不同放牧强度下羊草光合作用日变化

在 8 月 16 日和 9 月 2 日,不同放牧强度下羊草叶片的“峰”曲线;而羊草叶片的 C_i 日变化呈“U”字型。其中 P_n 、 T_r 速下降,12:00 或 14:00 时处于低谷,出现明显的“午休”现象,但低于第 1 峰值,之后下降。而 P_n 、 T_r 和 G_s 的“单峰”,日羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 的峰值却高于 9 月 2 日。

8 月 16 日和 9 月 2 日羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 日均最大值都出现在 R_0 , 分别为 $23.10 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $4.74 \text{ mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $0.29 \text{ mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; $19.45 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $3.65 \text{ mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $0.24 \text{ mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 而 C_i 最大值出现在 R_5 , 分别为 $372.35 \mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$, 411.80

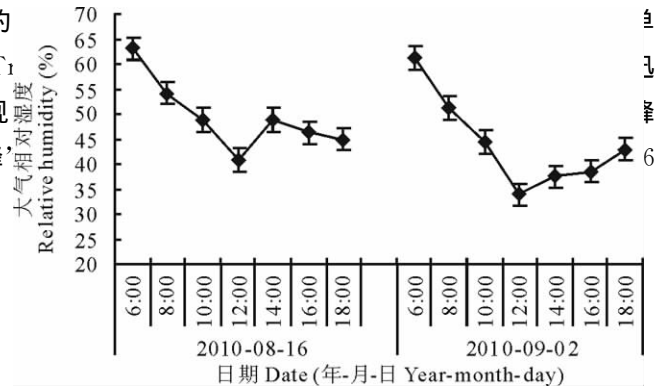


图 2 呼伦贝尔草原相对湿度的日变化
Fig. 2 Daily variation of relative humidity in Hulunber meadow steppe

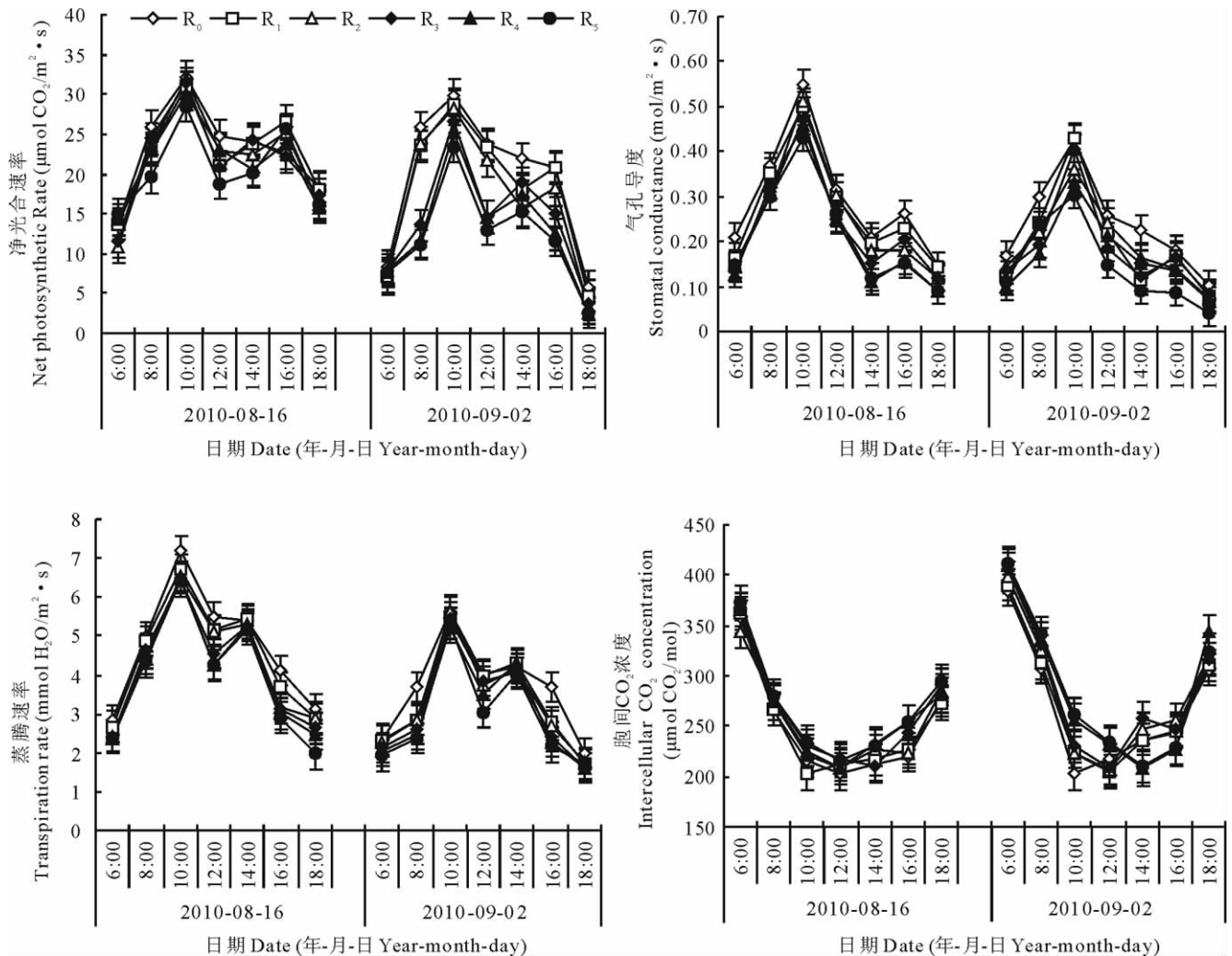


图 3 不同放牧强度下羊草的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度日变化

Fig. 3 Daily variation of *L. chinensis* of net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration under different grazing intensities

$\mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$, 最小值出现在 R_0 , 分别 $202.33, 202.99 \mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$ 。其中不同放牧强度下羊草叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 的日平均值变化模式均为 $R_0 > R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > R_5$, 而 C_i 为 $R_0 < R_1 < R_2 < R_3 < R_4 < R_5$ 。说明了羊草叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 三者均随着 R 的增大而逐渐下降, C_i 却随着 R 的增大而增大。 R_0 试验区羊草的 P_n 等光合指标日均

值最高,说明未受放牧干扰环境下羊草的生长最佳。与 R_0 相比较, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 R_5 试验小区里羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s ,在 8 月 16 日和 9 月 2 日,最小降幅出现在 R_1 分别为 2.72%、5.27%、8.55%和 7.21%、8.33%、9.56%,最大降幅出现在 R_5 ,分别为 11.13%、17.24%、27.08%和 38.11%、19.67%、38.90%; C_i 在 R_1 增长幅度最小,分别为 0.67%和 1.28%,在 R_5 增长幅度最大,分别为 7.54%和 5.95%。表明 R 越大,羊草叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 三者的降幅也越大,而 C_i 的增幅也越大;8 月 16 日羊草的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 高于 9 月 2 日,且羊草 P_n 、 T_r 、 G_s 的降幅均低于 9 月 2 日。

2.3 羊草叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 和 R 之间的相关性和显著性分析

P_n 、 T_r 、 G_s 和 R 呈极显著负相关关系($P < 0.01$)(表 1); C_i 与 R 呈显著的正相关关系($P < 0.05$); P_n 、 T_r 、 G_s 三者之间呈极显著的正相关关系;而 P_n 、 T_r 、 G_s 与 C_i 均呈极显著的负相关关系。8 月 16 日和 9 月 2 日的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 之间差异均极显著。说明气候条件的差异(温度、大气湿度以及光合有效辐射等,图 1)对羊草的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 有极大影响。

表 1 不同放牧强度下羊草的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 之间的相关系数
Table 1 Correlation coefficients between *L. chinensis* P_n , T_r , G_s , C_i

日期 Date (月-日 Month-day)	项目 Item	R	P_n	T_r	G_s
08-16	P_n	-0.977**			
	T_r	-0.959**	0.970**		
	G_s	-0.965**	0.952**	0.990**	
	C_i	0.958**	-0.953**	-0.948**	-0.968**
09-02	P_n	-0.973**			
	T_r	-0.975**	0.967**		
	G_s	-0.964**	0.941**	0.994**	
	C_i	0.910*	-0.953**	-0.936**	-0.928**

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

3 结论与讨论

在连续放牧方式下,羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 对不同放牧强度的响应的日动态趋势,既有“单峰”曲线变化,也有“双峰”曲线变化; C_i 则呈“U”字型变化,与前人^[1,16,17,19-22]的研究结果基本一致。羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 的变化模式类似,均为 $R_0 > R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > R_5$, C_i 却相反;且 R 越大,其降幅或升幅也越大;其中 8 月 16 日降幅低于 9 月 2 日,且羊草的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 均显著高于 9 月 2 日的值。

羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 在 R_0 出现单峰曲线,并且最大值均出现在 R_0 ;该现象可能是由于中午光照虽强,但由于 R_0 未放牧区域里植株密度较大、植株叶片互相有遮掩、土壤水分含量高及相对湿度大,致使午间叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 不会急剧下降;也可能是光强未达到光饱和点(对此需进行放牧胁迫下羊草的光响应曲线试验研究),故羊草 P_n 保持不变,未出现低谷^[20];同时说明了未受到放牧胁迫的羊草,其光合能力比放牧胁迫下的强。然而不同放牧梯度下,羊草 P_n 、 T_r 、 G_s 在峰值大小方面也存在显著差异;可能的原因与 9 月 2 日降幅大,以及 8 月 16 日和 9 月 2 日羊草的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 存在显著性差异($P < 0.01$)类似;都是放牧胁迫和水热条件(图 1)共同作用,使牧草的光合作用和生长受到不同程度抑制的结果。

羊草叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 对 R 的响应与放牧后牧草的光合作用能力下降的研究结论一致^[7,11,12,14];其中 9 月 2 日的 T_r 对 R 的响应更为敏感,这与王玉辉和周广胜^[1]及宋炳煜^[23]的“ T_r 是受环境因子限制最显著的光合生理特性”结果一致;而放牧区的 C_i 高于未放牧区,与赵威^[11]和 Zhao 等^[12]的结论一致;可能由于放牧后,植物 CO_2 的利用率降低,胞间 CO_2 浓度(C_i)升高。

针对不同放牧强度处理水平下, R_0 试验区内羊草植株不仅外观上生长茂盛,叶片宽大,而且其叶片的 P_n 、

Tr、Gs、Ci 等光合生理生态指标值均显示最佳。与封育对照区的 R_0 相比,轻度放牧条件下羊草的 P_n 未出现升高现象,这与前人的研究结果“低放牧强度(即适度放牧)提高牧草的光合和再生能力”^[3,22,24-27] 有差异。

原因之一可能是由于本试验的放牧环境是于 2009 年开始,至今才 2 年,所以羊草叶片光合生理生态特征变化还不太明显;也可能是有光合补偿生长,但是它的补偿速率低于放牧家畜的采食速率;对于此,可以从原保忠等^[28] 提出的“不论是轻度还是中度放牧,补偿生长是建立在消耗相当数量物质储备的代价之上”得到解释;对于此差异,还需对试验区域进行长期(放牧时间序列上)的试验监测。

本试验得出,不同的放牧强度通过对羊草的冠层、土壤理化性质、生长和生存环境不同程度的影响,使羊草的 P_n 、Tr、Gs 和 Ci 等随之发生变化;羊草的 P_n 、Tr 和 Gs 均随着 R 的增大而降低,而 Ci 却随着 R 的增大而增大;且放牧强度越大,光合作用能力所受抑制越强烈;同时在水热较差的条件下(如 9 月 2 日),羊草叶片光合特性的放牧效应更加显著。目前,放牧强度对牧草光合作用的响应结果尚存争议,对此,还需进行大量的研究。

参考文献:

- [1] 王玉辉,周广胜. 松嫩草地羊草叶片光合作用生理生态特征分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 75-79.
- [2] 王玉辉,何兴元,周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 45-49.
- [3] 王艳芬,汪诗平. 不同放牧率对内蒙古典型草原牧草地上现存量和净初级生产力及品质的影响[J]. 草业学报, 1999, 8(1): 15-20.
- [4] 金晓明,韩国栋. 放牧对草甸草原植物群落结构及多样性的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(04): 7-10.
- [5] 李文龙,苏敏,李自珍. 甘南高寒草地放牧系统生态风险的 AHP 决策分析及管理对策[J]. 草业学报, 2010, 19(3): 22-28.
- [6] 潘瑞焱. 植物生理学(第五版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 13-94.
- [7] 侯扶江. 放牧对牧草光合作用、呼吸作用和氮、碳吸收与转运的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 938-942.
- [8] 赵鸿,王润元,郭锐,等. 禁牧对安西荒漠化草原芨芨草光合生理生态特征的影响[J]. 干旱气象, 2007, 25(1): 63-66.
- [9] 董晓玉,付华,李旭东,等. 放牧与围封对黄土高原典型草原植物生物量及其碳氮磷贮量的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(2): 175-182.
- [10] 闫瑞瑞,卫智军,运向军,等. 放牧制度对短花针茅荒漠草原主要植物种光合特性日变化影响的研究[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 160-167.
- [11] 赵威. 羊草对过度放牧和刈割的生理生态响应[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [12] Zhao W, Chen S P, Han X G, *et al.* Effects of long-term grazing on the morphological and functional traits of *Leymus chinensis* in the semiarid grassland of Inner Mongolia, China[J]. Ecological Research, 2009, 24(1): 99-108.
- [13] LeCain R, Morgan A, Schuman E, *et al.* Carbon exchange and species composition of grazed pastures and exclosures in the shortgrass steppe of Colorado[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 2002, 93: 421-435.
- [14] Braga G J, Pedreira C G S, Herling V R, *et al.* Herbage allowance effects on leaf photosynthesis and canopy light interception in palisade grass pastures under rotational stocking[J]. Tropical Grasslands, 2008, 42: 214-223.
- [15] 杜占池,杨宗贵. 羊草和大针茅光合作用午间降低与生态因子关系的研究[J]. 自然资源学报, 1990, 5(2): 177-187.
- [16] 闫秀峰,孙国荣,李敬兰,等. 羊草和星星草光合蒸腾日变化的比较研究[J]. 植物研究, 1994, 14(3): 287-291.
- [17] 黄立华,梁正伟,马红媛. 苏打盐碱胁迫对羊草光合蒸腾速率及水分利用效率的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 25-30.
- [18] 陈效速,周萌,郑婷,等. 呼伦贝尔草原羊草(*Leymus chinensis*)光合速率的季节变化——以鄂温克旗牧业气象试验站为例[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2003-2011.
- [19] 王德利,王正文,张喜军. 羊草两个趋异类型的光合生理生态特性比较的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 837-843.
- [20] 李林芝,张德罡,辛晓平,等. 呼伦贝尔草甸草原不同土壤水分强度下羊草的光合特性[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5271-5278.
- [21] 王平,周道玮. 野大麦、羊草的光合和蒸腾作用特性比较及利用方式的研究[J]. 中国草地, 2004, 26(3): 8-12.
- [22] 杜占池,杨宗贵,崔骁勇. 草原植物光合生理生态研究[J]. 中国草地, 1999, (3): 20-27.
- [23] 宋炳煜. 几个主要地面因子对草原群落蒸发的影响[J]. 植物生态学报, 1996, 21(6): 495-503.
- [24] Chen S P, Bai Y F, Lin G H, *et al.* Effects of grazing on photosynthetic characteristics of major steppe species in the Xilin

- River Basin, Inner Mongolia, China[J]. *Photosynthetica*, 2005, 43(4): 559-565.
- [25] Nowak R S, Caldwell M M. A test of compensatory photosynthesis in the field: implications for herbivory tolerance[J]. *Oecologia*, 1984, 62: 322-329.
- [26] 马红彬, 余治家. 放牧草地植物补偿效应的研究进展[J]. *农业科学研究*, 2006, 27(1): 63-66.
- [27] Oosterheld M, McNaughton S J. Effects of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing[J]. *Oecologia*, 1991, 85: 305-313.
- [28] 原保忠, 王静, 赵松岭. 植物受动物采食后的补偿作用——影响补偿作用的因素[J]. *生态学杂志*, 1997, 16(6): 41-45.

Diurnal dynamics of photosynthetic characteristics of *Leymus chinensis* under different grazing intensities taking the Hulunber meadow steppe as an example

DENG Yu^{1,2}, LIU Xiao-ni¹, XIN Xiao-ping², YAN Rui-rui², WANG Xu²,
YANG Gui-Xia², REN Zheng-Chao¹

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecology System, Gansu Agricultural University, Ministry of Education, Lanzhou 730070, China; 2. Hulunber Grassland Ecosystem Research Station, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To explore the response of photosynthetic characteristics of *Leymus chinensis* to different grazing intensities under continuous grazing, the diurnal dynamics of photosynthetic characteristics in five grazing plots and one enclosing plot were measured using Li-6400 Portable Photosynthesis System. The correlations between the traits of parameters and grazing intensities (R) were analyzed. Daily variation of net photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr), and stomatal conductance (Gs) appeared as a single peak curve and a double-peak curve in all plots on 16th August and 2nd September respectively, but intercellular CO₂ concentration (Ci) showed a U shape trend. In the enclosed plot, Pn, Tr, and Gs were higher than those in the grazed plots. In addition, Pn, Tr, and Gs decreased with an increase in grazing intensity, but Ci increased. It is suggested that the variation range is greater under higher grazing intensities. There were significant negative correlations between Pn, Tr, Gs and R but Ci was significantly positively correlated with R. There were significant differences in Pn, Tr, Gs and Ci among 6 grazing intensities on the two dates. Hence, herding intensity and hydro-thermal conditions can inhibit photosynthesis by *L. chinensis*.

Key words: *Leymus chinensis*; grazing intensity; photosynthetic characteristics; diurnal dynamics; Hulunber grassland