

# 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

闫瑞瑞<sup>1,2</sup>, 卫智军<sup>2\*</sup>, 运向军<sup>2</sup>, 褚文彬<sup>2</sup>, 乌仁其其格<sup>3</sup>, 辛晓平<sup>1</sup>

(1. 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 3. 呼伦贝尔学院生命科学与化学学院, 内蒙古 海拉尔 021008)

**摘要:**以内蒙古苏尼特右旗短花针茅荒漠草原为研究对象,通过划区轮牧与自由放牧的比较试验,研究3种主要植物种短花针茅、无芒隐子草和碱韭光合特性日变化对不同放牧制度的响应。结果表明,1)短花针茅、无芒隐子草和碱韭光合速率、蒸腾速率和气孔导度均表现为双峰型,具有明显的“午休”现象。胞间CO<sub>2</sub>浓度表现为双谷型。2)在其他条件相同时,放牧方式的不同对主要植物种的净光合速率、蒸腾速率无影响,但对双峰值出现的时间有所影响。3)对照禁牧和划区轮牧较自由放牧提高荒漠草原疏丛型禾草无芒隐子草的气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度。

**关键词:**短花针茅;荒漠草原;植物种;放牧制度;光合日变化

**中图分类号:**S812.8;Q945.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2009)05-0160-08

\* 我国草地面积近 $4 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>,占全国陆地面积的40.7%<sup>[1]</sup>。但现在由于天然草地的不合理利用,用于放牧的天然草地不断退化,不仅使草群密度下降、草产量减少、种类品质变劣,而且草地退化使草原生态环境日趋恶化,已成为制约畜牧业及社会经济可持续发展的主要因素。引起草地发生如此退化的原因很多,但不合理的放牧制度是草地退化的重要原因之一。光合作用是植物最重要的生理过程,是评价植物第一生产力的标准之一,前人对牧草<sup>[2~9]</sup>的光合生理特性进行了较多研究,如张国芳等<sup>[2]</sup>观测4种僵麦草(*Elytrigia repens*)光合特性,结果表明净光合、蒸腾作用日变化均为双峰型,有明显的光合“午休”现象。刘弘<sup>[6]</sup>在研究4种蔷薇科植物的光合特性日变化中认为4种植物的净光合速率一天中的变化趋势都呈双峰曲线,但峰值出现的时间不一致。李薇和唐海萍<sup>[7]</sup>从狭果鹤虱(*Lappula semiglabra*)和四齿芥(*Tetracme quadricornis*)各指标的日变化情况发现,植物的净光合速率均呈双峰型,都没有发生严重“午休”现象,狭果鹤虱和四齿芥的蒸腾速率日变化均为单峰型。这些研究对其所涉及的生理生化过程有了较深刻的认识。植物的光合性能可以通过光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度等得到衡量。研究植物的光合特性,有利于了解植物对光能的利用效率,阐明植物光合的生态学特征。放牧啃食和践踏显著影响植物对光和水分的利用<sup>[10]</sup>。同时也影响牧草的生理活动和光合特性,从而影响了牧草的产量等。放牧对牧草光合的影响国内外研究也比较多<sup>[11~19]</sup>,如Chen等<sup>[16]</sup>报道放牧使羊草(*Leymus chinensis*)的光合速率显著降低,主要是环境胁迫使羊草叶片的气孔关闭所致。赵鸿等<sup>[17]</sup>认为禁牧区草地主要植物类群芨芨草(*Achnatherum splendens*)叶片的光合速率较高,有利于其生长和干物质的积累。在荒漠草原上自由放牧或者在一定地域上进行围栏放牧是我国牧区目前对草原的主要利用方式<sup>[20]</sup>。因此本试验研究不同放牧制度下植物的光合特性日变化,能够为荒漠草原主要植物种的光合特性研究积累基本资料,为放牧胁迫水平下植物光合特性变化以及天然草地合理利用提供依据,也进一步为研究植物群体光合作用奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于锡林郭勒苏尼特右旗朱日和镇附近,北纬42°16'26",东经112°47'16",海拔1100~1150 m。据试验区以东15 km的朱日和国家基准气象站2005—2007年气象资料表明,年平均气温6.3℃,年均降水量

\* 收稿日期:2008-12-17;改回日期:2009-01-13

基金项目:内蒙古草业研究院草业专项和国家科技支撑计划项目(2006BAC01A12)资助。

作者简介:闫瑞瑞(1979-),女,内蒙古丰镇人,博士后。E-mail:yanrui19790108@163.com

\* 通讯作者。E-mail:nmndwzj@163.com

119.64 mm, 年蒸发量 1 982.19 mm, 年日照时数 2 620.64 h, 降水量主要集中在 6—8 月, 这 3 个月的降水量占全年降水量的 60%, 该地区无霜期为 214 d, 一年平均大风日数为 63 d 左右。试验地波状起伏, 比较开阔, 土壤为淡栗钙土较贫瘠, 腐殖质层厚 5~10 cm, 发育不明显, 钙积层分布在 10~35 cm。试验区属短花针茅荒漠草原地带性植被。短花针茅(*Stipa breviflora*)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)和碱韭(*Allium polyrhizum*)为群落主要植物种, 其中短花针茅为建群种, 决定群落的结构与外貌, 并形成群落的景观特征, 无芒隐子草为亚建群种, 碱韭为优势种。主要伴生种还有糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*), 细叶葱(*Allium tenuissimum*), 银灰旋花(*Convolvulus ammannii*), 阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*), 木地肤(*Kochia prostrata*), 寸草苔(*Carex duriuscula*)等。一年生植物在雨量丰富的年份生长旺盛, 主要有栉叶蒿(*Neopallosia pectinata*), 猪毛菜(*Salsola collina*)等。

## 1.2 试验设计

放牧试验于 1999 年开始, 每年(1999—2007 年)5 月 1 日放牧开始, 并开展了定量放牧观测, 11 月放牧终止。试验区为天然放牧场, 载畜量为 1.24 羊单位/hm<sup>2</sup>, 设划区轮牧(RG)、自由放牧(CG)和对照(CK)3 个试验处理。划区轮牧草地为 320 hm<sup>2</sup>, 又分为 8 个等面积的轮牧小区进行划区轮牧, 每个轮牧小区面积为 40 hm<sup>2</sup>; 自由放牧区草场面积为 338 hm<sup>2</sup>; 禁牧区 1 hm<sup>2</sup>, 1999 年禁牧。

## 1.3 研究方法

于 2007 年 8 月利用 LI-6400 便携式光合仪测定 3 种主要植物种短花针茅、无芒隐子草和碱韭的光合生理生态指标, 主要包括: 叶片的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等生理因子, 各处理每种草每项指标重复测量 5 次, 每次叶读取数据 3 次, 取 15 次结果的平均值。测定时间为 6:00—18:00, 每隔 2 h 测定 1 次。

## 1.4 试验数据处理方法

应用 Excel 2003 和 SAS 9.0 统计软件, 对试验所得数据进行分析比较, 设当  $P < 0.05$  时差异显著。

# 2 结果与分析

## 2.1 光合速率日变化

荒漠草原不同放牧制度下主要植物种短花针茅、无芒隐子草和碱韭的净光合速率(Pn)的日变化曲线均呈双峰型(图 1a, b, c), 在早晨, 由于光合有效辐射(PAR)和气温较低, 其光合速率并不高, 随着气温和光照的增强, 叶片可捕获的光能也逐渐增多, 因为光可以为光合作用提供同化力形成所需的能量, 活化光合作用关键的酶并促使气孔开放, 叶片的净光合速率随之逐渐增强。短花针茅在不同放牧制度下净光合速率第 1 个峰值均出现在 10:00—12:00 时段, 且短花针茅净光合速率划区轮牧区与对照区显著高于自由放牧区( $P < 0.05$ ), 在 12:00—14:00 出现下降趋势, 在 14:00—15:00 略有回升, 第 2 个峰值出现在 14:00—16:00 时段, 此时净光合速率呈现出划区轮牧区 > 对照区 > 自由放牧区的趋势, 但两放牧处理间无显著差异( $P > 0.05$ )。以后随着气温和光照的减弱, 光合速率呈下降趋势。

无芒隐子草在对照区净光合速率第 1 个峰值出现在 8:00—10:00 时段, 在划区轮牧区和自由放牧区第 1 个峰值出现时段向后推移了 2 h, 在 10:00—12:00 时段, 且两放牧处理净光合速率差异不大, 对照区在 10:00—12:00 时出现下降趋势, 划区轮牧区和自由放牧区在 12:00—14:00 出现下降趋势, 在 14:00—15:00 略有回升, 以至于第 2 个峰值均出现在 14:00—16:00 时段, 此时净光合速率划区轮牧区 > 对照区 > 自由放牧区。以后也是随着气温和光照的减弱, 光合速率呈下降趋势。碱韭在不同放牧制度下净光合速率第 1 个峰值出现在 10:00—12:00 时段, 不同处理间无显著差异( $P > 0.05$ ), 但呈现出划区轮牧区 > 对照区 > 自由放牧区的趋势; 不同处理净光合速率均在 12:00—14:00 出现下降趋势, 在 14:00—15:00 略有回升, 因此第 2 个峰值出现在 14:00—16:00 时段, 同样不同处理间无显著差异( $P > 0.05$ ), 但呈现出划区轮牧区 > 自由放牧区 > 对照区的趋势, 与短花针茅和无芒隐子草一样, 以后随着气温和光照的减弱, 光合速率也呈下降趋势。不同放牧制度 3 种植物叶片净光合速率分别在 10:00—12:00 或 12:00—14:00 时曲线呈下降的趋势, 因为随着 PAR 的进一步增强, 可能导致叶片吸收的光能出现过剩, 同时伴随着其他环境因子的较大变化, 如空气 CO<sub>2</sub> 浓度和空气湿度的下降、气孔阻力和暗呼吸速率的增加等, 其光合作用出现了较明显的光合“午休”现象。

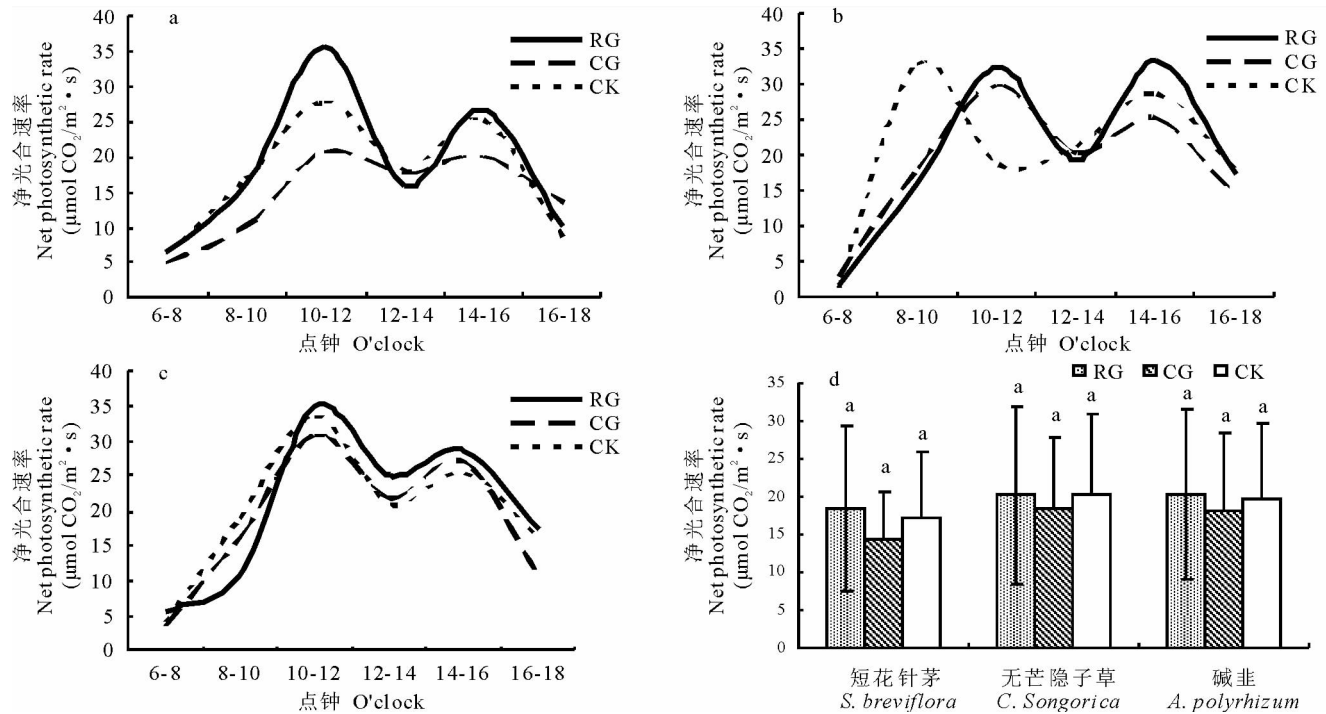


图 1 不同放牧制度主要植物种的净光合速率日变化及日平均净光合速率

Fig. 1 Diurnal variation of net photosynthetic rate and daily mean net photosynthetic rates of dominant plant species in different grazing systems

a: 短花针茅净光合速率日变化 Diurnal variation of net photosynthetic rate of *S. breviflora*; b: 无芒隐子草净光合速率日变化 Diurnal variation of net photosynthetic rate of *C. songorica*; c: 碱韭净光合速率日变化 Diurnal variation of net photosynthetic rate of *A. polyrhizum*; d: 主要植物种的日平均净光合速率 Daily mean net photosynthetic rates of dominant plant species. 不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). 下同 The same below

比较不同放牧制度 3 种主要植物在 6:00—18:00 的日平均净光合速率(图 1d), 经单因子方差分析表明短花针茅、无芒隐子草和碱韭在三处理之间无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

## 2.2 蒸腾速率的日变化

蒸腾作用的强弱是表明植物水分代谢的一个重要生理指标, 在一定程度上反映其调节水分损失的能力及适应干旱环境的方式<sup>[21, 22]</sup>。由于光合产物的生成需要水分以及通过水分运载的矿质养分的不断供应, 以至于一般光合作用速率高, 蒸腾速率也较高。

试验结果表明(图 2a, b, c), 荒漠草原不同放牧制度下主要植物种短花针茅、无芒隐子草和碱韭的蒸腾速率 (E) 的日变化曲线趋势也均呈双峰型, 不同放牧制度下短花针茅蒸腾速率在 10:00—12:00 时段达到第 1 个峰值, 且蒸腾速率划区轮牧区与对照区显著高于自由放牧区 ( $P < 0.05$ ), 在 12:00—14:00 出现下降趋势, 在 14:00—15:00 略有回升, 第 2 个峰值出现在 14:00—16:00 时段, 三处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。无芒隐子草对照区蒸腾速率在 8:00—10:00 时段达到第 1 个峰值, 划区轮牧区和自由放牧区第 1 个峰值出现时段向后推移了 2 h, 在 10:00—12:00 时段, 两放牧处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 对照区在 10:00—12:00 时出现下降趋势, 划区轮牧区和自由放牧区在 12:00—14:00 出现下降趋势, 在 14:00—15:00 略有回升, 以至于第 2 个峰值均出现在 14:00—16:00 时段, 此时蒸腾速率呈现出划区轮牧区  $>$  自由放牧区  $>$  对照区的趋势, 但三处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。碱韭在不同放牧制度下蒸腾速率第 1 个峰值出现在 10:00—12:00 时段, 不同处理间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 且呈现出对照区  $>$  划区轮牧区  $>$  自由放牧区的趋势; 不同处理蒸腾速率均在 12:00—14:00 出现下降趋势, 在 14:00—15:00 略有回升, 因此第 2 个峰值出现在 14:00—16:00 时段, 划区轮牧区与自由放牧区显著高于对照区 ( $P < 0.05$ ), 两放牧处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。荒漠草原不同放牧制度下 3 种主要植物种总的来说在

10:00—12:00 时段达到第 1 高峰,此后慢慢降低,均在 12:00—14:00 间蒸腾速率出现低谷,与光合速率趋势一致,出现“午休”现象。这是因为与蒸腾速率受叶片气孔调节有关,上午随着光合有效辐射的增强,叶温升高,相对湿度降低,蒸腾加剧,叶片内水分暂时亏缺,叶面大气蒸气压亏缺加大,以致呼吸气孔出现部分关闭(气孔导度下降),从而导致正午蒸腾速率的降低,之后随着 PAR 和温度的减弱,蒸腾也逐渐恢复,以致于达到第 2 高峰。

同样比较不同放牧制度 3 种主要植物在 6:00—18:00 的日平均蒸腾速率(图 2d),经单因子方差分析表明短花针茅、无芒隐子草和碱韭在三处理之间无显著性差异( $P>0.05$ )。

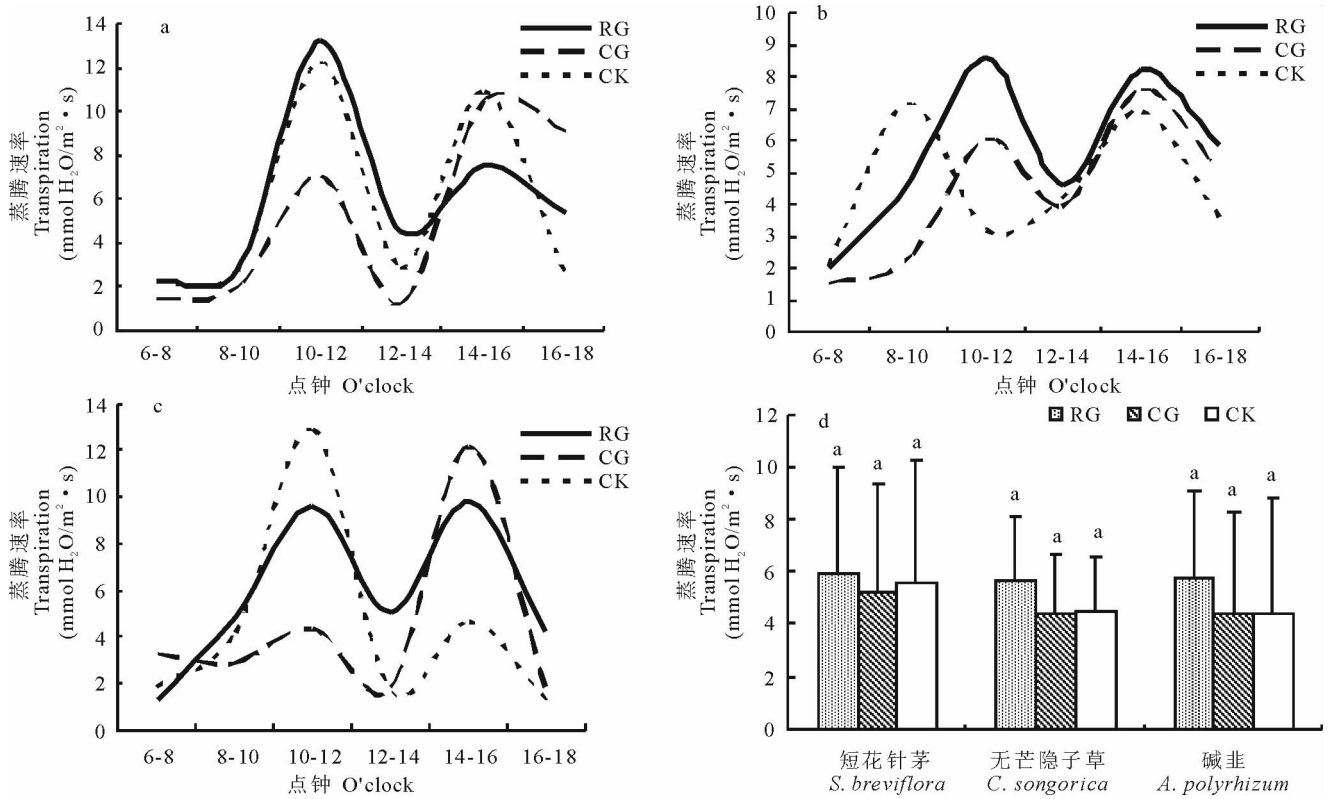


图 2 不同放牧制度主要植物种的蒸腾速率日变化及日平均蒸腾速率

Fig. 2 Diurnal variation of transpiration and daily mean transpiration of dominant plant species in different grazing systems

a:短花针茅净蒸腾速率日变化 Diurnal variation of transpiration of *S. breviflora*; b:无芒隐子草净蒸腾速率日变化 Diurnal variation of transpiration of *C. songorica*; c:碱韭净蒸腾速率日变化 Diurnal variation of transpiration of *A. polyrhizum*; d:主要植物种的日平均蒸腾速率 Daily mean transpiration of dominant plant species

### 2.3 气孔导度的日变化

气孔导度是既能反映植物蒸腾耗水的多少,又能反映植物抗旱性能的重要指标,它代表植物气孔张开的程度,其大小受光照、温度、湿度、叶片光合有效辐射等多种因素控制。不同放牧制度下主要植物种短花针茅、无芒隐子草和碱韭的气孔导度具有相同的趋势,均为双峰型曲线(图 3a, b, c)。3 种主要植物第 1 个高峰均出现在 10:00—12:00 时段,且不同放牧制度下 3 种主要植物气孔导度均呈现出划区轮牧区与对照区显著高于自由放牧区( $P<0.05$ ),第 2 个高峰出现在 14:00—16:00 时段,短花针茅和无芒隐子草划区轮牧区与对照区显著高于自由放牧区( $P<0.05$ ),碱韭三处理间无显著差异( $P>0.05$ )。将不同放牧制度下短花针茅和碱韭气孔导度曲线图与其相对应光合速率曲线相对照可以发现,气孔导度与光合速率的峰值和谷底出现的时间相同,表明净光合速率与气孔张开程度的变化呈平行变化趋势。光合速率对气孔导度有反馈调节作用,在有利于叶片的光合时,气孔导度增大;不利于光合时,气孔导度减小。将气孔导度曲线与蒸腾速率曲线进行对照可以看出,气孔的活动状态很大程度上由蒸腾速率决定,气孔导度与蒸腾速率也具有相似的变化规律。无芒隐子草(对照区除外)关于气孔导

度与净光合速率的关系同短花针茅、碱韭相一致,气孔导度与蒸腾速率的关系同短花针茅、碱韭有所差异。

经单因子方差分析(图 3d),短花针茅和碱韭气孔导度在三处理之间无显著性差异( $P>0.05$ ),无芒隐子草对照区和划区轮牧区显著高于自由放牧区( $P<0.05$ )。试验结果表明,划区轮牧和禁牧较自由放牧提高密丛型禾草无芒隐子草的气孔导度。

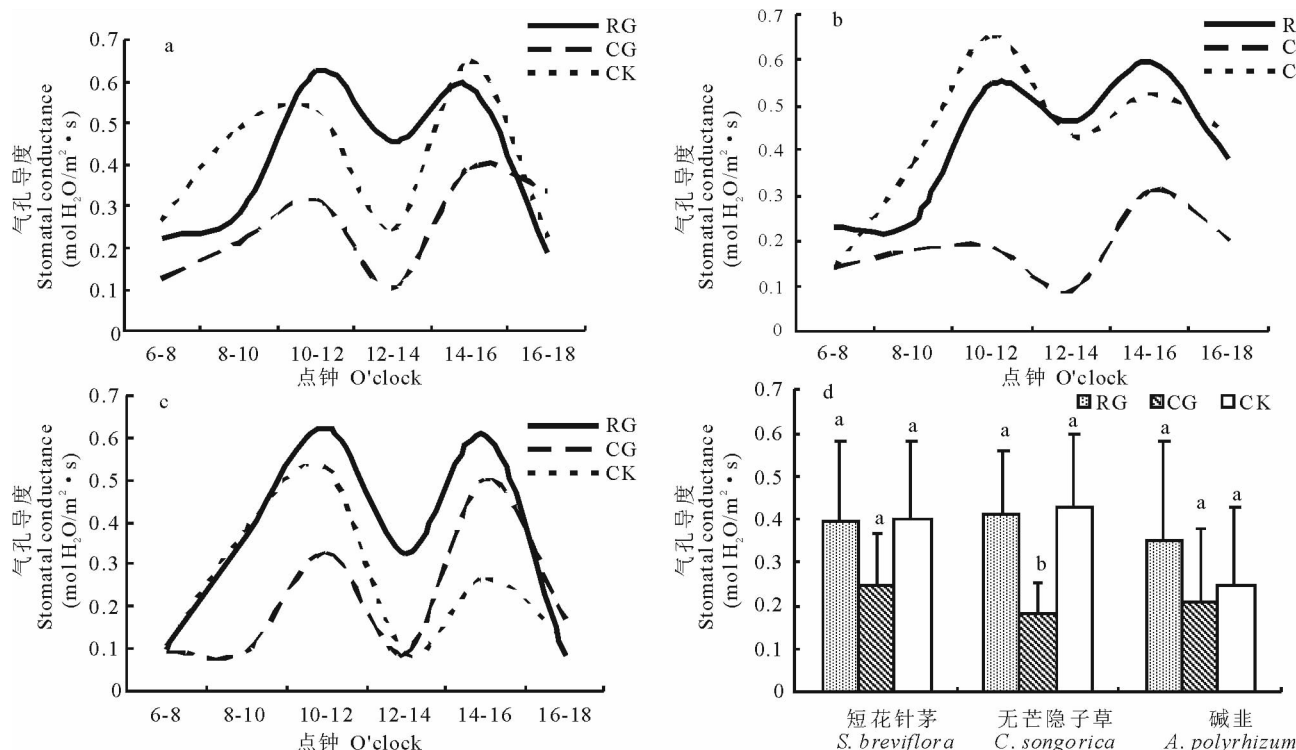


图 3 不同放牧制度主要植物种的气孔导度日变化及日平均气孔导度

Fig. 3 Diurnal variation of stomatal conductance and daily mean stomatal conductance of dominant plant species in different grazing systems

a:短花针茅净气孔导度日变化 Diurnal variation of stomatal conductance of *S. breviflora*; b:无芒隐子草净气孔导度日变化 Diurnal variation of stomatal conductance of *C. songorica*; c:碱韭净气孔导度日变化 Diurnal variation of stomatal conductance of *A. polyrhizum*; d:主要植物种的日平均气孔导度 Daily mean stomatal conductance of dominant plant species

### 2.4 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化

不同放牧制度下 3 种主要植物种胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)的日变化基本上与净光合速率相反,因为当净光合速率较大时,固定的 CO<sub>2</sub> 较多,引起胞间 CO<sub>2</sub> 浓度降低(图 4a, b, c)。不同放牧制度下 3 种主要植物种胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化均呈单峰双谷型曲线,而且(除碱韭划区轮牧区)均出现早中晚高而一天其他时间低这一明显趋势。短花针茅胞间 CO<sub>2</sub> 浓度单峰对照区出现在 10:00—12:00 时段,而划区轮牧区和自由放牧区出现时段向后推移了 2 h,在 12:00—14:00 时段,且划区轮牧区高于自由放牧区。无芒隐子草胞间 CO<sub>2</sub> 浓度单峰对照区和自由放牧区出现在 10:00—12:00 时段,且对照区高于自由放牧区。而划区轮牧区出现时段向后推移了 2 h,在 12:00—14:00 时段。碱韭不同放牧制度下峰值均出现在 12:00—14:00 时段,且呈划区轮牧区>自由放牧区>对照区的趋势。

经单因子方差分析(图 4d),短花针茅、无芒隐子草和碱韭胞间 CO<sub>2</sub> 浓度对三处理之间的响应与气孔导度相一致。

### 3 讨论与结论

光合作用是植物生长的重要决定因素,植物光合作用的运转状况决定着植物的生存与繁殖,决定着植被的健

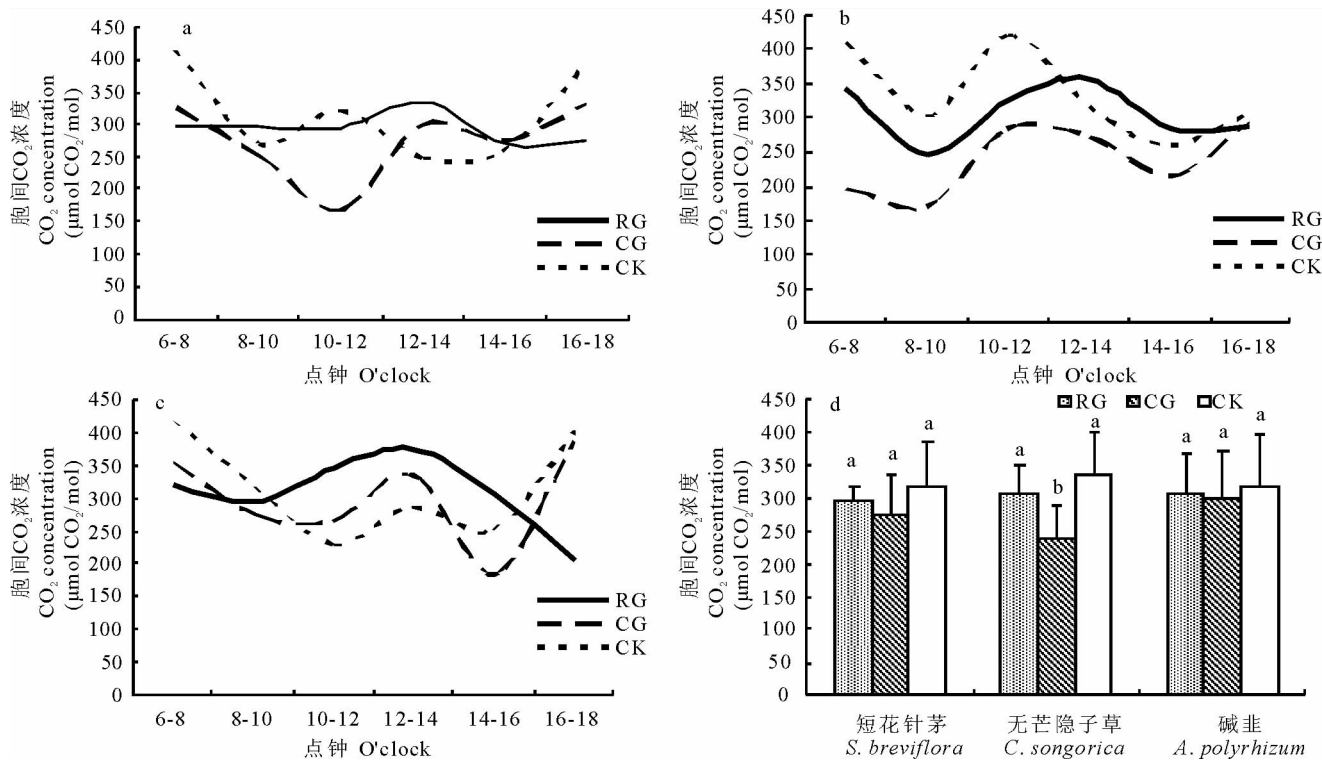


图 4 不同放牧制度主要植物种的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化及日平均胞间 CO<sub>2</sub> 浓度

Fig. 4 Diurnal variation of CO<sub>2</sub> concentration and daily mean CO<sub>2</sub> concentration of dominant plant species in different grazing systems

a: 短花针茅净胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化 Diurnal variation of CO<sub>2</sub> concentration of *S. breviflora*; b: 无芒隐子草胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化 Diurnal variation of CO<sub>2</sub> concentration of *C. songorica*; c: 碱韭胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化 Diurnal variation of CO<sub>2</sub> concentration of *A. polyrhizum*; d: 主要植物种的日平均胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 Daily mean CO<sub>2</sub> concentration of dominant plant species

康状况,同时也决定着生态系统的初级生产力。大量研究表明,在自然条件下,植物光合、蒸腾日变化一般呈单峰曲线或双峰曲线变化。植物在干旱环境下或水分胁迫时,光合生理日变化呈双峰曲线,具有明显的光合午休现象<sup>[23,24]</sup>,而在土壤水分较好条件下或人为灌水的情况下光合、蒸腾可呈单峰曲线变化<sup>[25~27]</sup>。由于不同的地理位置,不同的生长时期,可造成光、温、湿等环境因子的不同组合,可能出现 2 种变化曲线的转化。本研究认为在当地晴天情况下,植物光合速率、蒸腾速率和气孔导度均表现为双峰型,并且具有明显的“午休”现象。植物胞间 CO<sub>2</sub> 浓度表现为双峰谷型。在其他条件相同时,放牧方式的不同对主要植物种的净光合速率、蒸腾速率无影响,对疏丛型禾草无芒隐子草气孔导度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度有影响,但对光合特性日变化双峰值出现的时间有所影响。气孔导度对环境因子的变化十分敏感,凡是影响植物光合作用和叶片水分状况的各种因素都有可能对气孔导度造成影响<sup>[9]</sup>。本试验将不同放牧制度下短花针茅和碱韭气孔导度曲线图与其相对应光合速率曲线相对照可以发现,气孔导度与光合速率的峰值和谷底出现的时间相同,表明净光合速率与气孔张开程度的变化呈平行变化趋势。这与孟函宁等<sup>[28]</sup>、许大全和沈允刚<sup>[29]</sup>试验结果一致,光合速率对气孔导度有反馈调节作用,在有利于叶片的光合时气孔导度增大;不利于光合时,气孔导度减小。C<sub>i</sub> 浓度是外界 CO<sub>2</sub> 气体进入叶肉细胞过程中所受各种驱动力和阻力以及叶片内部光合作用和呼吸作用的最终平衡结果<sup>[30]</sup>。不同放牧制度下 3 种主要植物种胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化出现早中晚高,而一天其他时间低这一明显趋势。与迟丽华和宋凤斌<sup>[31]</sup>研究松嫩平原虎尾草(*Chloris virgata*)和稗草(*Echinochloa crusgalli*)光合特性,发现虎尾草和稗草的 C<sub>i</sub> 浓度都是早上最高、中午降到最低点、傍晚又升高的特点有所差异。对于这一结论尚待进一步研究探讨。

## 参考文献:

- [1] 陈佐忠,汪诗平,王艳芬,等. 中国典型草原生态系统[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [2] 张国芳,王北洪,孟林,等. 四种偃麦草光合特性日变化分析[J]. 草地学报,2005,13(4):344-348.
- [3] 赵则海,曹建国,王文杰,等. 不同生长年限栽培甘草与野生甘草光合特性对比研究[J]. 草业学报,2005,14(3):111-116.
- [4] 刘闯,胡庭兴,李强,等. 巨桉林草间作模式中牧草光合生理生态适应性研究[J]. 草业学报,2008,17(1):58-65.
- [5] 胡守林,万素梅,贾志宽,等. 黄土高原半湿润区不同生长年限苜蓿叶片光合性能研究[J]. 草业学报,2008,17(5):60-67.
- [6] 刘弘. 在四种蔷薇科植物的光合特性日变化[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2005,33(4):56-58.
- [7] 李薇,唐海萍. 准噶尔盆地荒漠区短命植物光合蒸腾特性及影响因素研究[J]. 西北植物学报,2006,26(12):2517-2522.
- [8] 张学权,胡庭兴,叶充,等. 模拟林(竹)一草种植模式遮荫对扁穗牛鞭草的光合速率、生长的影响及其经济效益分析[J]. 草业学报,2006,15(2):54-59.
- [9] 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):75-79.
- [10] Coughenour M B A. Mechanistic simulation analysis of water use, leaf angles, and grazing in East African graminoids[J]. Ecological Modelling, 1984, 26: 203-230.
- [11] Parsons A J, Penning P D. The effects of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and average rate of growth in a rotationally grazed ward[J]. Grass and Forage Science, 1988, 44: 16-38.
- [12] King J, Sim E M, Grant S A. Photosynthetic potential of balance of grazed ryegrass pasture[J]. Grass and Forage Science, 1984, 40: 81-92.
- [13] Woledge J. The effect of wage and shade on the photosynthesis of white clover leaves[J]. Annals of Botany, 1986, 58: 268-273.
- [14] Weis E, Berry J A. Plants and high temperature stress[A]. In: Long S P, Woodward F I. Plants and Temperature[C]. Symposia of the Society for Experimental Biology, 1988, 42: 329-346.
- [15] 汪诗平,王艳芬,陈佐忠. 放牧生态系统管理[M]. 北京:科学出版社,2003. 221-227.
- [16] Chen S P, Bai Y F, Zhang L X, *et al.* Comparing physiological responses of two dominant grass species to nitrogen addition in Xilin River Basin of China[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 53: 65-75.
- [17] 赵鸿,王润元,郭妮,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,(1):63-66.
- [18] Gonzalez-Rodriguez A M, Martin-Olivera A, Morales D, *et al.* Physiological responses of tagasaste to a progressive drought in its native environment on the Canary Islands[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 53: 195-204.
- [19] Singer F J, Schoenecker K A. Do ungulates accelerate or decelerate nitrogen cycling[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 181: 189-204.
- [20] 王德利,吕新龙,罗卫东. 不同放牧密度对草原植被特征的影响分析[J]. 草业学报,1996,5(3):28-33.
- [21] 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.
- [22] 黄顶,李子忠,樊奋成. 日光辐射对老芒麦再生草光合特性的影响[J]. 草地学报,2003,11(4):338-342.
- [23] 江天然,张立新,毕玉蓉,等. 水分胁迫对梭梭叶片气体交换特征的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2001,37(6):57-62.
- [24] 高清竹,杨吉力,乌力吉,等. 库布齐沙地油蒿光合作用特性与环境因子的关系[J]. 中国沙漠,1999,19(3):276-279.
- [25] 马全林,王继和,纪永福,等. 固沙树种梭梭在不同水分梯度下的光合生理特征[J]. 西北植物学报,2003,23(12):2120-2126.
- [26] 赵明,郭志中,李爱德,等. 渗漏型蒸渗仪对梭梭和柠条蒸腾蒸发的研究[J]. 西北植物学报,1997,17(3):305-314.
- [27] 阮成江,李代琼. 黄土丘陵区沙棘林几个水分生理生态特征研究[J]. 林业科学研究,2002,15(1):47-53.
- [28] 孟函宁,刘明国,刘青柏,等. 阜新地区不同沙棘品种光合及蒸腾特性的研究[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(3):345-348.
- [29] 许大全,沈允刚. 光合作用的限制因素:植物生理与分子生物学[M]. 北京:科学出版社,1998. 262-276.
- [30] Berry J A, Downton W J S. Photosynthesis (Vol II): Development, Carbon Metabolism and Plant Productivity[M]. New York: Academic Press, 1982.
- [31] 迟丽华,宋凤斌. 松嫩平原虎尾草和稗草光合特性的研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2007,23(2):196-199.

**Effects of the grazing systems on diurnal variation of photosynthetic characteristic of major plant species of desert steppe**

YAN Rui-rui<sup>1,2</sup>, WEI Zhi-jun<sup>2</sup>, YUN Xiang-jun<sup>2</sup>, CHU Wen-bin<sup>2</sup>, Wuren-qiqige<sup>3</sup>, XIN Xiao-ping<sup>1</sup>

(1. Hulunber Grassland Ecosystem Research Station, Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China; 3. Life Science and Chemistry School at Hulunbuir College, Hailar 021008, China )

**Abstract:** A comparison of rotational grazing and continuous grazing was conducted on *Stipa breviflora* desert steppe in the Sunit Right Banner of Inner Mongolia. The study on response of diurnal variation of photosynthetic characteristic of major plant species in different grazing system showed: 1) Double-peaks on the curves of diurnal changes of photosynthetic rates, transpiration rates and stomatal conductance of *S. breviflora*, *Cleistogenes songorica* and *Allium polyrhizum*, and there was a distinct phenomenon of “noon break”. There was a double-valley on the curves of diurnal changes of internal CO<sub>2</sub> concentration. 2) The different grazing regimes had no effect on the net photosynthetic rate or transpiration of the main plant species, but doubled the peak time in other the same conditions. 3) Rotational grazing and banning grazing increased stomatal conductance and internal CO<sub>2</sub> concentration of *C. songorica*.

**Key words:** *Stipa breviflora*; desert steppe; plant species; grazing system; diurnal variation of photosynthetic characteristic