

不同种植年限苜蓿叶片光合生理生态特性的研究

金凤霞¹, 麻冬梅¹, 武东波², 刘昊焱¹, 杨鹏鹏¹, 许兴¹

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏农业综合开发办公室, 宁夏银川 750021)

摘要:以 2~6 a 生苜蓿为研究对象, 研究了不同种植年限苜蓿光合生理生态特性的季节性变化。结果表明: 不同种植年限苜蓿的叶片光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、叶面温度(TL)随着季节的推移总体呈下降趋势, 胞间 CO₂ 浓度(Ci)、光合有效辐射(PAR)变化趋势相反; 随种植年限的增加, 叶片 Pn 和 Tr 总体呈递增趋势, 而 Gs 和 Ci 的变化规律不明显, 且 5 a 生和 6 a 生苜蓿 Pn、Tr、Gs 均最高, Ci 最低, 其生产能力较强; 各生理生态因子间存在一定的相关性, 且相关关系各异, 相关程度也不同。

关键词:苜蓿; 生长年限; 光合速率; 蒸腾速率; 环境因子

中图分类号:S 551+.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)22-0070-04

随着生态环境的恶化及我国农业结构的不断调整和推进, 牧草的作用已经越来越被广大农民所重视和接受, 大力发展牧草产业已经逐步成为农业综合效益提高的重要途径。苜蓿(*Medicago sativa* L.) 是世界上栽培面积最广泛、最主要的豆科牧草之一, 具有适应性广、产草量高、品质好、营养丰富、并含有未知促生长因子、抗

旱、耐盐碱、固氮改土、保持水土、改善生态环境等特点, 经济效益高, 生态效益和社会效益均较好^[1]。近年来国内研究者从苜蓿品种的光合能力、肥水管理对光合特性、逆境对光合能力、刈割方式、生育时期^[2-9]等方面对苜蓿的生产能力进行了研究, 而有关不同种植年限苜蓿光合生理生态特性季节性变化的研究报道较少。该研究对肥力水平及栽培管理措施基本一致的 2~6 a 生苜蓿光合生理生态特性进行了研究, 以期揭示不同种植年限苜蓿光合生理生态特性的季节性变化规律及其机理, 为苜蓿的栽培管理及提高苜蓿光合生产能力提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苜蓿品种分别为“8925MF”(2006~2008 年)和“金皇后”(2009~2010 年), 试验田分别以 2006 年、2007 年、

第一作者简介:金凤霞(1989-), 女, 宁夏同心人, 硕士研究生, 研究方向为作物栽培与耕作学。E-mail: 544698578@qq.com.

责任作者:许兴(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 现主要从事作物栽培生理与分子生物学及生态农业研究工作。E-mail: xuxingscience@126.com.

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2011BAC07B03); 宁夏农发办资助项目(NTKJ-2012-12; NTKJ-2013-09(1))。

收稿日期:2013-06-24

Effect of Different Nutritious Solution on Growth Indicators and Morphological Index of *Kalanchoe blossfeldiana*

SHI Lei, DAI Hong-jun

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking drought-enduring and undesired water logging of red multi-petalled *Kalanchoe blossfeldiana* as experimental material, using the single factor randomized block design, the suitable concentration of nutrient solution was studied, in order to improve fertilizer utilization efficiency, and the growth characteristics was analyzed, which provided a strong theoretical basis for hydroponics succulent plant in daily life. The results showed that *Kalanchoe blossfeldiana* could root in water without exogenous hormones; it grew well and achieved ornamental value in 1/2, 1/4 concentration of nutrient treatment.

Key words: *Kalanchoe blossfeldiana*; hydroponics; growth indicators; morphological index

2008年、2009年及2010年种植的苜蓿地为研究对象,即分别为种植6、5、4、3、2 a的苜蓿地,且其肥力水平及栽培管理措施基本一致。

1.2 试验方法

试验于2012年8~10月在宁夏贺兰山农牧场九队进行。选择晴天利用LI-6400便携式光合系统测定仪(美国LICOR公司)对苜蓿植株活体叶片的光合速率(P_n , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(T_r , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$)等生理因子以及光合有效辐射(PAR)、叶面温度(Tl)环境因子等光合生理生态指标进行测定,并计算瞬时光能利用效率($\text{SUE} = P_n/\text{PAR}$)和瞬时水分利用效率($\text{WUE} = P_n/E$)^[10]。测定时随机选取最上部完全展开的健康完整叶片,每次测9片,求其平均值。

1.3 数据分析

数据采用Excel 2003和SAS软件处理,并进行方差分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限苜蓿光合有效辐射和叶面温度的季节性变化

光是光合作用的能量来源,也是影响光合速率的主要因素。温度则直接影响光合作用中各种酶的活性,从

而影响光合作用。叶面温度是由外界大气温度和植物自身的机能调解所达到的温度,叶面温度主要是通过作用于饱和蒸汽压亏缺(V_{pd}),从而影响 T_r 以至于 G_s ^[11]。由图1可以看出,随着季节的推移,温度逐渐降低,不同种植年限苜蓿的叶面温度也呈明显下降的趋势,其中3 a生苜蓿在8~10月的叶温均高于其它各年限的苜蓿;而光合有效辐射则随着季节的推移,呈先降低后增加的变化趋势,4 a生苜蓿的光合有效辐射在10月份最低,3 a生苜蓿的光合有效辐射则最高。

2.2 不同种植年限苜蓿光合速率、蒸腾速率、气孔导度及胞间 CO_2 浓度的季节性变化

由图1可以看出,随着季节的推移,环境的温度逐渐降低,叶片的 P_n 、 T_r 及 G_s 也均呈下降的变化趋势,而 C_i 则呈先降低后增大的变化趋势。其中6 a生苜蓿除10月份外,8~9月的 P_n 均大于其它各种种植年限的苜蓿,5 a生次之。由于 P_n 是衡量作物同化 CO_2 和合成有机产物能力的重要标准,可知5 a生和6 a生苜蓿的生产能力最强。此外5 a生苜蓿的 T_r 和 G_s 均高于其它各种种植年限的苜蓿,6 a生次之;而3 a生苜蓿的 C_i 最大,5 a生最小,由此可以看出 C_i 与 P_n 和 T_r 的变化趋势相反,即 C_i 高,则 P_n 和 T_r 低。

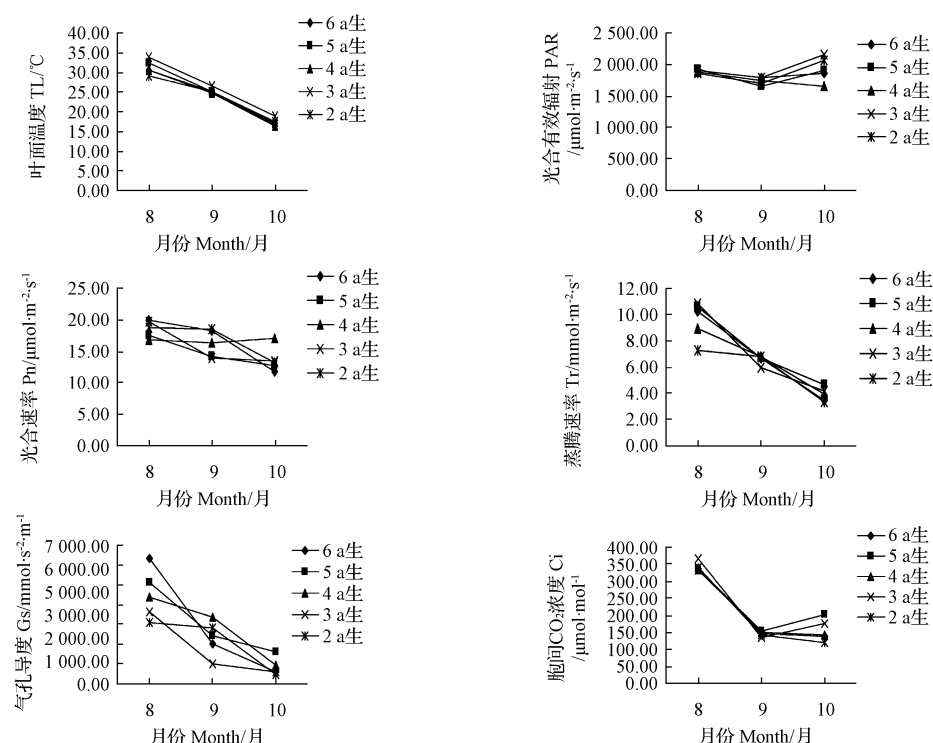


图1 叶片生理生态因子及环境因子的季节性变化

Fig. 1 Changes of leaf physiological and ecological factors and environment factors

2.3 不同种植年限苜蓿光合特征参数的差异分析

由表 1 可知,不同种植年限苜蓿的叶片 P_n 、 T_r 和 G_s 随着季节的推移总体呈下降的变化趋势, C_i 则呈先降低后增加的变化趋势;随着种植年限的增加,叶片 P_n 和 T_r 总体呈递增的变化趋势,而 G_s 和 C_i 的变化规律不明显。此外, G_s 和 P_n 在 8 月份均为 5 a 生苜蓿的值

最大,分别为 $5\ 254\ \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $23.82\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而 9 月份和 10 月份 G_s 和 T_r 均为 4 a 生和 5 a 生最大,分别为 $3\ 631\ \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1\ 738\ \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $6.83\ \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $4.67\ \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明 G_s 与叶片 P_n 和 T_r 的变化规律相似,即呈正相关。

表 1 不同种植年限苜蓿不同时期光合特征参数的比较

Table 1 Comparison of photosynthetic characteristic parameters of different planting years alfalfa in different periods

种植年限 Planting years/a	光合速率 $P_n/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			蒸腾速率 $T_r/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			气孔导度 $G_s/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			胞间 CO_2 浓度 $C_i/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$		
	8 月	9 月	10 月	8 月	9 月	10 月	8 月	9 月	10 月	8 月	9 月	10 月
6	20.86± 1.47Bb	18.27± 0.87Aa	13.24± 1.04Bb	10.26± 0.26Ab	6.68± 0.22ABa	3.40± 0.54Cc	4 147± 1 688.19ABa	2 031± 142.82BCcd	412± 235.03Bb	337± 2.64BCc	144.5± 1.05Bc	144± 7.48Cc
	23.82± 0.49Aa	15.53± 3.26ABab	13.06± 1.07Bb	10.76± 0.57Aab	6.70± 0.36ABa	4.67± 0.18Aa	5 254± 525.51Aa	3 178± 845.35ABab	1 738± 619.43Aa	332± 9.40Ccd	150± 6.63Bb	202± 2.25Aa
5	18.46± 2.86Bc	16.03± 2.52ABab	18.31± 1.83Aa	8.92± 0.64Bc	6.83± 0.20Aa	4.01± 0.25Bb	1 815± 674.04Bb	3 631± 675.59Aa	890± 38.76Bb	326± 8.08Cd	163.83± 3.31Aa	138± 4.60Cc
	19.43± 1.80Bbc	14.14± 2.68Bb	14.18± 1.44Bb	11.01± 0.58Aa	6.18± 0.64Bb	4.21± 0.09ABa	5 050± 790.55Aa	1 187± 502.36Cd	651± 2.65Bb	359± 8.09Aa	137± 0.63Cd	176± 8.19Bb
4	19.20± 1.38Bbc	17.60± 0.97ABa	12.63± 0.74Bb	7.09± 0.66cd	6.78± 0.13ABa	3.19± 0.27Cc	3 939± 710.45ABa	2 470± 307.51ABCbc	386± 45.71Bb	346± 5.38Bb	144.5± 1.64Bc	119± 1.33Dd

注:同一列数值后的不同大小写字母代表同一测定指标分别在 0.01 和 0.05 水平上显著。

Note: Different uppercase and lowercase letters in the same column value representing the same measurement indicators in 0.01 and 0.05 level significantly.

2.4 不同种植年限苜蓿叶片光合速率与生理生态因子的相关性分析

由表 2 可知,不同种植年限苜蓿叶片光合速率同各生理生态因子有一定的相关性,且相关关系各异,相关

程度也不同。各种种植年限苜蓿叶片的 P_n 与 WUE 均呈负相关,其中 6 a 生苜蓿叶片的 P_n 与叶温呈极显著正相关,2 a 生显著正相关;3 a 生和 2 a 生苜蓿叶片的 P_n 与 PAR 呈负相关,且 3 a 生呈显著负相关。

表 2 不同种植年限苜蓿叶片光合速率与生理生态因子的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of different planting years alfalfa leaf photosynthetic rate and physiological and ecological factors

种植年限 Planting years/a	蒸腾速率 T_r $/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 G_s $/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度 C_i $/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	瞬时水分利用效率 $WUE/\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$	瞬时光能利用效率 $SUE/\%$	光合有效辐射 PAR $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	叶温 TL $/^\circ\text{C}$
6	0.966	0.972	0.737	-0.995	0.985	0.004	0.994 * *
5	0.993	0.991	0.894	-0.753	0.977	0.498	0.942
4	0.490	0.650	0.838	-0.185	0.448	0.662	0.459
3	0.969	0.998	0.987	-0.782	0.929	-0.177 *	0.854
2	0.990	0.976	0.762	-0.960	0.965	-0.682	0.991 *

注: * 显著相关($P < 0.05$); * * 极显著相关($P < 0.01$)。下同。

Note: * significant at $P < 0.05$; * * very significant at $P < 0.01$. The same below.

2.5 不同种植年限苜蓿的蒸腾速率与生理生态因子的相关性分析

由表 3 可以看出,各种种植年限苜蓿叶片的 T_r 与 WUE 均呈负相关,其中 6 a 生呈极显著负相关,4 a 生呈显著负相关;除 4 a 生苜蓿叶片 T_r 与 SUE 呈负相关外,

与其它各年限均呈正相关;2 a 生和 3 a 生苜蓿叶片 T_r 与 PAR 呈负相关,而 4~6 a 生则呈正相关,且 4 a 生呈极显著正相关; T_r 除与 TL 3 a 生显著正相关外,与其它各种种植年限无显著相关性。

表 3 不同种植年限苜蓿叶片蒸腾速率与生理生态因子的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of different planting years alfalfa leaf transpiration rate and physiological and ecological factors

种植年限 Planting years/a	叶片光合速率 P_n $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 G_s $/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度 C_i $/\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$	瞬时水分利用效率 $WUE/\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$	瞬时光能利用效率 $SUE/\%$	光合有效辐射 PAR $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	叶温 $TL/^\circ\text{C}$
6	0.966	1.000	0.887	-0.986 * *	0.907	0.262	0.989
5	0.993	1.000	0.834	-0.826	0.996	0.391	0.975
4	0.490	0.981	0.886	-0.948 *	-0.560	0.978 * *	0.999
3	0.969	0.983	0.916	-0.912	0.992	-0.415	0.956 *
2	0.990	0.937 *	0.665	-0.989	0.992	-0.776	0.962

3 结论与讨论

植物的光合作用除受自身生物学特性(作物种类、品种、叶龄)的影响和制约外,光强和温度等环境因子也是影响光合作用的重要方面,且各因子间并不是独立的,而是相互作用相互影响。TL 通过作用于饱和蒸气压亏缺(V_{pdl}),从而影响 Tr 以至于 Gs;光合作用是由 PAR、TL 和 C_i 等生态因子决定的,并且和 Gs 之间相互影响,此外 Gs 影响蒸腾作用和热量平衡^[12]。该试验通过对不同种植年限苜蓿各生理生态因子的季节性变化分析可得,随着季节的推移,各种种植年限苜蓿的 P_n、Tr、Gs 及叶片温度均呈下降的变化趋势,而光合有效辐射和 C_i 呈先增加后降低的变化趋势,且 5 a 生和 6 a 生苜蓿的 P_n、Tr、Gs 均高于其它各种种植年限的苜蓿,C_i 2 a 最高,5 a 生最低,可以看出 5 a 生苜蓿和 6 a 生苜蓿的生产能力较强,且 C_i 与 Tr、Tr 及 Gs 呈负相关,这与许振柱等^[13]以禾本科羊草为研究对象得出的结论相同。

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。光是光合作用的能量来源和影响光合碳循环中光调节酶活性的重要因素,所以,光强是影响光合速率的基本因子。温度直接影响光合作用中的一系列酶化学反应,从而影响光合速率的变化^[14]。该试验通过对不同种植年限苜蓿的 P_n、Tr、Gs、C_i 等光合生理指标进行比较分析可得,P_n 和 Tr 随着种植年限的延长呈递增的变化趋势,C_i 和 Gs 变化规律不明显,此外 P_n 和 Tr 与 WUE 均呈负相关,且 6 a 生苜蓿的 Tr 与 WUE 呈极显著负相关,与 Gs、C_i、SUE、TI 均呈正相关,与 4~6 a 生苜蓿 PAR 呈正相关,而与 2~

3 a 生苜蓿的 PAR 呈负相关。表明不同种植年限苜蓿叶片各生理生态因子间有一定的相关性,且相关关系各异,相关程度也不同。

参考文献

- [1] 王建丽,张永亮,朱占林,等. 杂花苜蓿叶片光合生理生态特性[J]. 草业学报,2006,14(2):138-141.
- [2] 王刚,孙广玉. 不同紫花苜蓿品种光合能力的比较[J]. 东北林业大学学报,2007,35(4):19-21.
- [3] 温洋,金继运. 施磷对紫花苜蓿光合特性以及生长的影响[J]. 中国土壤与肥料,2007(6):34-37.
- [4] 邢月华,谢甫锦,汪仁,等. 钾肥对苜蓿光合特性和品质的影响[J]. 草业科学,2005,22(12):40-43.
- [5] 南志标,李春杰,王彦荣,等. 苜蓿褐斑病对牧草质量光合速率的影响及田间抗病性[J]. 草业学报,2001,10(1):26-34.
- [6] 侯振安,李品芳,龚元石. 盐渍条件下苜蓿和羊草生长与营养吸收的比较研究[J]. 草业学报,2000,9(4):68-73.
- [7] 卢存福,贾桂英. 低温胁迫下光对苜蓿光合作用的影响[J]. 中国草地,1994(5):15-18.
- [8] 赵金梅,周禾,郭继承,等. 不同水分胁迫对紫花苜蓿分枝期光合性能的影响[J]. 中国草地学报,2007,29(2):41-44.
- [9] 杨恒山,曹敏建,郑庆福,等. 刈割次数对紫花苜蓿草产量、品质及根的影响[J]. 作物杂志,2004(2):33-34.
- [10] 郭志华,张旭东,黄玲玲. 落叶阔叶树种蒙古栎对林缘不同光环境光能和水分的利用[J]. 生态学报,2006,26(4):1047-1056.
- [11] 李生彬,刘金祥. 湛江地区紫花苜蓿的光合生理初步研究[J]. 湖北农业科学,2010,49(2):397-400.
- [12] 于强,王天铎. C₃ 植物光合作用日变化的模拟[J]. 大气科学,1998,22(6):865-880.
- [13] 许振柱,周广胜,李晖. 羊草叶片气体交换参数对温度和土壤水分的响应[J]. 植物生态学报,2004,28(3):300-304.
- [14] 周蝉,郭晓云,王仁忠,等. 松嫩草地虎尾草光合与蒸腾作用的研究[J]. 草业学报,2001,10(1):42-47.

Study on Ecophysiological Characteristics of Leaf Photosynthesis of Different Planting Years Alfalfa

JIN Feng-xia¹, MA Dong-mei¹, WU Dong-bo², LIU Hao-yan¹, YANG Peng-peng¹, XU Xing¹

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Ningxia Agricultural Comprehensive Development Office, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking 2~6 years alfalfa as test material, the seasonal changes of photosynthetic ecophysiological characteristics of different planting years alfalfa were studied. The results showed that, leaf photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (Gs), leaf temperature (TL) of different planting years alfalfa showed a overall downward trend with seasons, the changes of intercellular CO₂ concentration (C_i) and photosynthetic active radiation (PAR) were opposite. Along with the increase of planting age, the overall changes of leaf P_n and Tr were increasing, and the Gs and C_i variation were not obvious, 5-year-old and 6-year-old alfalfa P_n, Tr, Gs were the highest, C_i was the lowest, and the production ability was stronger. There was a certain correlation between the physiological and ecological factors, and different correlation, correlation degree were also different.

Key words: alfalfa; planting years; photosynthetic rate; transpiration rate; environmental factors